

# Ingeniería y Tecnología

Facultad de Ingeniería  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla





**MIÉRCOLES**  
**13 ABRIL**  
**2016**

**UNIDAD DE**  
**SEMINARIOS**  
**CU BUAP**

ENTRADA CON  
PAGO EN ESPECIE

Ponencias • Mesas de discusión • Empresarios • Networking



Grupo Estudiantil Empresando

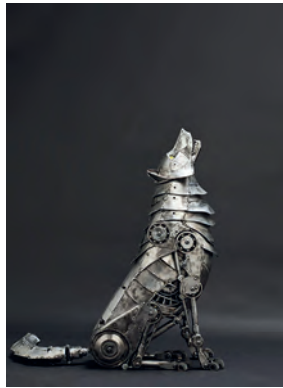
[www.empresando.ingeniobuap.com](http://www.empresando.ingeniobuap.com)



# Ingeniería y Tecnología

Facultad de Ingeniería  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

OCTUBRE 2015-MARZO 2016,  
AÑO 11, NO. 23



## IMAGEN EN PORTADA

METAL MECHANICAL ROBOTIC WOLF HOWLING  
FULLY ARTICULATED ANIMAL SCULPTURE

## AUTOR:

ANDREW CHASE  
© CHASE STUDIO  
ANDREWCHASE.COM

## DIRECTORIO

### BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

MTRO. JOSÉ ALFONSO ESPARZA ORTÍZ  
RECTOR

DR. RENÉ VALDIVIEZO SANDOVAL  
SECRETARIO GENERAL

M.C.E. MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ REYES  
VICERRECTORA DE DOCENCIA

### FACULTAD DE INGENIERÍA

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO  
DIRECTOR

M.I. ANA ELENA POSADA SÁNCHEZ  
SECRETARIA ACADÉMICA

M.I. FERNANDO D. LAZCANO HERNÁNDEZ  
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

DR. GABRIEL JIMÉNEZ SUÁREZ  
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS  
DE POSGRADO Y DIRECTOR DE LA REVISTA

### REVISTA "INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP"

DR. FILIBERTO CANDIA GARCÍA  
EDITOR RESPONSABLE

LDF. INGRID LÓPEZ GUAJARDO  
DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN

### CONSEJO EDITORIAL

DRA. MARÍA MAURA MARGARITA TEUTLI LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

DR. ALEJANDRO BAUTISTA HERNÁNDEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

DR. MARTÍN SALAZAR VILLANUEVA  
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

DRA. PATRICIA MARTÍNEZ VARA  
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

DRA. SANTA TOXQUI LÓPEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA BUAP

MTRA. GELSOMINA GUADALUPE QUE CANDIA  
JEFA DEL ÁREA DE EVALUACIÓN  
INSTITUCIONAL, UADY

## ÍNDICE

- 3 Determinación de clima para la Sierra Norte de Puebla. Una primera etapa para evaluar el impacto del cambio climático en la región**  
José Luis González Guevara, Boris Isauro Hernández Comi, José Jorge Tenorio Martínez, Fernando Daniel Lazcano Hernández, Yleana Claudia Martínez Mirón, José Castillo Román
- 13 Optimización de mecanismos de control de obra para toma de decisiones del gerente de proyecto en la ejecución de proyectos de construcción**  
Merari Luna Cervantes, Fernando Daniel Lazcano Hernández, Salvador García Rodríguez; Carlos Bustos Mota, Pablo Marín Chaparro, Francisco Martín Alonso Ruiz
- 25 Diseño sísmico basado en confiabilidad usando el concepto de capacidad de deformación equivalente**  
Juan Antonio Cruz Maliachi, Eduardo Ismael Hernández, José Joaquín Daniel Lozano Mercado
- 35 Modelo en Simulink de un generador eólico de imanes permanentes**  
José Carlos Zepeda Medina, J.A. Yáñez Ramos, J. Flores Méndez, Juan C. Escamilla
- 45 Análisis de la eficiencia térmica de un calentador solar utilizado el software NX**  
Filiberto Candia García, Estefani Merlo Zechinelli, José Hernández Escalera

# EDITORIAL

El desarrollo de la ingeniería y tecnología a nivel internacional avanza rápidamente gracias a las bases fuertes que existen y se desarrollan en las universidades, centros de investigación a nivel internacional. Es decir, el fomento y evolución de la ciencia básica es fundamental para predecir e implementar cualquier posible aplicación tecnológica que ayude al bienestar de la humanidad en general. Sin embargo este fenómeno aparentemente solo está enfocado en los países que funcionan como potencias mundiales y corresponden a los altamente industrializados. Por otro lado, la riqueza que generan las patentes se aloja en ellos, y el consumo de recursos naturales y contaminación se queda en los países maquiladores a cambio de dar trabajo a los pueblos en desarrollo.

En un intento de surgir como potencia emergente, el CONACYT ha redoblado sus esfuerzos con la creación de centros de investigación aplicada, vinculados con la industria para incidir directamente en las empresas mexicanas, y tratar, a través de los medios al alcance, de proyectar e implementar los conocimientos e investigación en desarrollos tecnológicos propios, que fomenten ese gran cambio que se necesita en el país para estar en ese nivel deseado.

Por lo tanto, es fundamental la difusión de los logros que hasta ahora se han obtenido, desde el nivel local hasta nacional. La revista Ingeniería y Tecnología apoya esta gestión semestralmente y es un foro para los investigadores y gente afín para construir un peldaño más en ese puente entre la ciencia y tecnología.

En síntesis, los artículos publicados en el número corriente aportan conocimiento en temas relevantes como ingeniería: civil, geofísica, mecánica y eléctrica. Esperamos con ahínco cubrir las expectativas de los lectores para que posteriormente ustedes colaboren con una aportación a este medio de difusión que se edita en la Facultad de Ingeniería.

Atentamente

El Editor

---

**INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**, Año 11, No. 23, Octubre 2015 - Marzo 2016, es una publicación semestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 sur 104, Col. Centro, C.P. 72000, Puebla Pue., y distribuida a través de la Facultad de Ingeniería, con domicilio en Blvd. Valsequillo esq. Av. San Claudio s/n, Edif. ING4 Ciudad Universitaria BUAP, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla Pue., Tel. (52) (222) 229 5500 ext. 7618, [www.ingenieria.buap.mx](http://www.ingenieria.buap.mx), Editor Responsable Dr. Filiberto Candia García, [posgrado.fi.buap@gmail.com](mailto:posgrado.fi.buap@gmail.com). Reserva de Derechos al uso exclusivo 04-2015-052612271800-102. ISSN: 2007-1876, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Con Número de Certificado de Licitud de Título y Licitud de Contenido: 14935, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en Talleres Gráficos. Intra Comunicación. Calle 14 Oriente No. 2803-A. Col: Humboldt. C.P. 72370 Puebla, Pue. Tel. 01(222) 296 3953, éste número se terminó de imprimir en Mayo de 2016 con un tiraje de 3000 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

**INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA** es una publicación semestral arbitrada de divulgación científica y tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, dirigida a profesionistas, profesores, investigadores y estudiantes de las diferentes áreas de ingeniería.



# Determinación de clima para la Sierra Norte de Puebla. Una primera etapa para evaluar el impacto del cambio climático en la región

José Luis González Guevara, Boris Isauro Hernández Comi,  
José Jorge Tenorio Martínez, Fernando Daniel Lazcano Hernández,  
Yleana Claudia Martínez Mirón, José Castillo Román

## RESUMEN

En este trabajo se determina la climatología para la sierra norte del estado de Puebla, a partir del análisis estadístico de datos del Observatorio Meteorológico, para el periodo comprendido entre los años 1981-2012, como una primera etapa para evaluar el impacto del cambio climático en la región. Para este propósito utilizamos la clasificación de climas de Whilhem Köppen. Los resultados establecen cinco climas básicos: *Am* (Clima monzónico), *Aw* (Clima de sabana tropical), *Cfa* (Clima templado húmedo sin estación seca, verano cálido), *Cfb* (Clima templado húmedo sin estación seca, verano suave), *Cwb* (Clima templado con estación invernal seca).

**Palabras clave:** Clima, Estado de Puebla, Clasificación de Köppen, Temperatura

## ABSTRACT

In this work determines the climatology for the sierra norte of Puebla State, from the statistical analysis of data from the meteorological observatory, for the period between the years 1981-2012, as a first stage for evaluating the impact of climate change in the region. For this purpose we used the Whilhem Köppen Climate Classification System. The results establish five main climates: *Am* (tropical monsoon), *Aw* (tropical wet and dry), *Cfa* (humid subtropical), *Cfb* (marine - mild winter), *Cwb* (temperate highland tropical climate with dry winters).

**Keywords:** Weather, Puebla State, Köppen Climate Classification System, Temperature

Recibido 19 de Octubre de 2015, aceptado 2 de Diciembre de 2015

José Luis GONZÁLEZ GUEVARA  
José CASTILLO ROMÁN  
Laboratorio de Geofísica Computacional  
Yleana Claudia MARTÍNEZ MIRÓN  
Laboratorio de Geofísica y Geología Aplicadas  
Colegio de Ingeniería Geofísica,  
Fernando Daniel LAZCANO HERNÁNDEZ  
Colegio de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; Avenida Sn. Claudio S/N, Col. Sn. Manuel., C. P. 72592. Puebla, Mx.  
Correo Electrónico: jose.gogu@gmail.com

Boris Isauro HERNÁNDEZ COMI  
José Jorge TENORIO MARTÍNEZ  
Centro Estatal de Previsión Meteorológica de la Comisión Nacional del Agua, Avenida México 68 No. 5020, colonia México 68, Puebla, Mx.

## 1 INTRODUCCIÓN

Ayllón (1996) define el clima, citando a Hann, como “el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio atmosférico de un lugar”. De igual manera, la misma autora cita a Köppen definiendo al clima como “el estado medio y proceso ordinario del tiempo de un lugar determinado”. El clima implica que, en el transcurso de muchos años, se realicen observaciones periódicas que son sometidas a un análisis estadístico y así poder calcular los valores medios, la meteorología estadística es la base de la climatología, Ayllón (1996).

Recientemente, con la proliferación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas de manejo de información espacial (Ramos et al, 2003), se han realizado estudios encaminados

a integrar los SIG para la generación de imágenes temáticas correspondientes a variables climatológicas.

Por otra parte, las estadísticas climatológicas también juegan un papel importante en los estudios de variación y cambio climático. Aunque en estos casos se requiere de series de datos suficientemente largas como para identificar tendencias en los patrones climáticos. Con datos climáticos de este tipo, se ha trabajado tanto a escala mundial, como regional, estatal y local.

El objetivo de este estudio es analizar los datos meteorológicos, durante el periodo comprendido entre 1981 - 2012, de la sierra norte del estado de Puebla, y establecer sus características climatológicas medias, según la clasificación de Köppen, como una primera etapa para determinar el impacto del cambio climático en esa importante y vulnerable región del estado de Puebla.

## 2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

Citando a Patrón Ibarra y Castillo Román (2014) “el eje volcánico transversal se origina por un sistema de fragmentación o fracturamiento de tipo ortogonal. En la parte central del eje, la disposición del relieve se debe, en un inicio, a la formación de una gran falla a finales del terciario y continúa en el cuaternario, formado un desnivel de 1000 m entre el altiplano del norte y la bolsa de Balsas del sur”. Este fallamiento, que se asocia al vulcanismo, origina algunos lagos durante el plioceno y pleistoceno, asimismo esta fractura termina condicionando la estructura del relieve, la hidrografía y las propias características climáticas, tanto al norte como al sur del eje volcánico y de esta forma es como se impidió el drenaje de la parte central hacia el pacífico, el vulcanismo se convierte en una presa natural (Patrón Ibarra, J. C. y Castillo Román, J., 2014).

## 3 METODOLOGÍA

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), dirección local Puebla, cuenta con una red de noventa y ocho estaciones climatológicas distribuidas en todo el territorio poblano, figura 1, y un Observatorio Meteorológico (OM), ubicado en la ciudad de Puebla (Tenorio Martínez, J. J., 2012).

En la sierra norte se tiene un total de treinta y tres estaciones climatológicas, para este estudio consideramos solo veintinueve, esto debido a que las cuatro estaciones faltantes son relativamente nuevas y

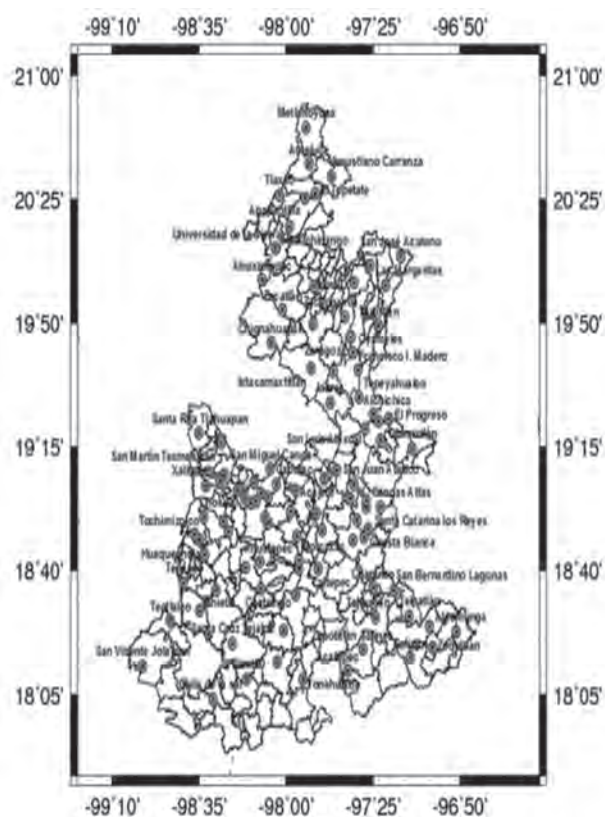


Figura 1. Distribución de las noventa y ocho estaciones meteorológicas en el estado de Puebla.

no cuentan con la cantidad de datos requeridos para este trabajo. La ubicación geográfica de estas estaciones se describe en la tabla 1 (Tenorio Martínez, J. J., 2012).

Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación pluvial total, días con precipitación mayor a 0.1 mm y días con helada, de veintinueve estaciones meteorológicas del tipo convencional, pertenecientes a la Red de Estaciones Climatológicas (REC) de la CONAGUA, Dirección Local Puebla, para la región de la sierra norte del estado. Con base en la información diaria se pudieron obtener los promedio mensuales de temperatura máxima, mínima, media, máxima maximum, mínima minimum, oscilación térmica, precipitación, precipitación máxima en veinticuatro horas, días con lluvia y días con helada.

Se integró una base de datos climatológicos diarios a partir de los registros compilados en el sistema CLICOM 3.1, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Debido a que la mayoría de las estaciones se encontraban capturadas en este sistema hasta el mes de diciembre de 2006, fue necesario completar esta información con captura de datos a

**Tabla 1.** Localización geográfica y altitudinal de las veintinueve estaciones meteorológicas en la Sierra Norte del estado de Puebla, consideradas para este estudio.

Clave	Estación	Municipio	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud msnm
21021	Tetela de Ocampo	Tetela de Ocampo	97° 48' 21"	19° 49' 46"	1725
21029	Temextla	Cuyoaco	97° 39' 58.8"	19° 36' 29.46"	2445
21032	Cuetzalan del Progreso	Cuetzalan del Progreso	97° 31' 35.8"	20° 0' 54.5"	1035
21038	El Progreso	Guadalupe Victoria	97° 17' 25.62"	19° 23' 34.81"	2440
21040	Guadalupe Buena Vista	Guadalupe Victoria	97° 21' 39.3"	19° 22' 28.8"	2355
21052	Alchichica	Tepeyahualco	97° 23' 41.76"	19° 24' 32.46"	2315
21059	Oyameles	Tlatlauquitepec	97° 32'	19° 41' 46.38"	2850
21067	Quimixtlán	Quimixtlán	97° 8' 5.2"	19° 15' 10.6"	2030
21077	San Luis Atexcal	Guadalupe Victoria	97° 27' 2.1"	19° 20' 36.66°	2410
21091	Teziutlán	Teziutlán	97° 21' 21"	19° 48' 54.6"	1950
21103	Zacapoaxtla	Zacapoaxtla	97° 35' 6.5"	19° 51' 35"	1840
21107	Zacatlán	Zacatlán	98° 0' 34.86"	19° 53' 32.1"	2059
21117	Guadalupe Victoria	Guadalupe Victoria	97° 20' 55.02"	19° 17' 21.06"	2430
21118	Huauhinango	Huauhinango	98° 3' 3"	20° 10' 35"	1472
21119	Libres	Libres	97° 41' 21.36"	19° 27' 55.62"	2400
21127	Xicotepec de Juárez	Xicotepec	97° 57' 25.5"	20° 16' 38.5"	1190
21129	Francisco I. Madero	Cuyoaco	97° 29' 47.1"	19° 36' 42.9"	2580
21137	Tepango de Rodríguez	Tepango de Rodríguez	97° 47' 39"	20° 0' 3.1"	1526
21140	Chignahuapan	Chignahuapan	98° 5' 28"	19° 44' 37"	2300
21142	Venustiano Carranza	Venustiano Carranza	97° 40' 9.24"	20° 30' 23.46"	135
21143	San José Acateno	Acateno	97° 12' 20.34"	20° 8' 2.1"	140
21147	Apapantilla	Jalpan	97° 51' 14.2"	20° 24' 35.8"	292
21201	Las Margaritas	Hueytamalco	97° 18' 27.48"	20° 0' 6.84"	500
21207	Zaragoza	Zaragoza	97° 32' 50"	19° 46' 1.2"	2290
21210	Ahuazotepec	Ahuazotepec	98° 8' 52.86"	20° 1' 58.2"	2216
21211	Ameluca	Pantepec	97° 49' 43.5"	20° 33' 49.74"	170
21212	Metlatoyuca	Francisco Z. Mena	97° 50' 44.88"	20° 43' 53.38"	325
21215	Ayotoxco de Guerrero	Ayotoxco de Guerrero	97° 24' 34.68"	20° 5' 43.74"	205
21244	Tepeyahualco	Tepeyahualco	97° 29' 39.6"	19° 29' 23.82"	2340

partir de las hojas de registro diario de las estaciones del año 2007 al 2012 (Tenorio Martínez, J. J., 2012).

Tanto la información de CLICOM como los datos capturados se integraron y se revisó la información con el objetivo de identificar los datos faltantes y los “fuera de tipo”, estos últimos se corrigieron acudiendo a las fuentes originales y los datos faltantes fueron estimados mediante interpolación.

#### 4 CLASIFICACIÓN DEL CLIMA SEGÚN KÖPPEN

Existen varias clasificaciones de los climas (Ayllón, 1996), entre las que destacan la del francés De Martone, la del estadounidense Thornthwaite y el alemán Köppen, de este último será el criterio a seguir en el trabajo (Ayllón, T., 1996; González Guevara, J.



L., 2003; García, E, 2004). Para propósitos de este trabajo resaltaremos solamente algunas definiciones entre las más de cuarenta clasificaciones y sub-clasificaciones:

**Clima A: tropical / Megatermal.** Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical.

Una segunda letra hace referencia al régimen de precipitaciones:

**Am - Monzónico.** Con algún mes por debajo de 60 mm y si la precipitación del mes más seco es superior a:  $[100 - (\text{Precipitación anual}/25)]$ .

**Aw - Sabana (invierno seco).** Con algún mes por debajo de 60 mm y si la precipitación del mes más seco es inferior a  $[100 - (\text{Precipitación anual}/25)]$ . El periodo seco se da en invierno.

**Clima C - Templado/Mesotermal.** Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación. Es clima donde se dan los bosques mesotérmicos.

Una tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas:

**Cf - Precipitaciones constantes.** Las lluvias están repartidas a lo largo del año por lo que no hay una estación seca.

**Cfa - Verano cálido.** La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C. Es el llamado clima subtropical chino o clima pampeano. Se observa en las regiones orientales de las grandes masas continentales: mitad del este de EE.UU., sur de Brasil, Uruguay, centro de Argentina (La Pampa y el valle del Paraná), Sudáfrica oriental, China y sur de Japón. En Europa se da en valles como el del Danubio, Po o Garona, zonas limítrofes con el clima oceánico, Cfb, pero con veranos más cálidos al estar alejadas del mar.

**Cw - Invierno seco.** Se establece una disminución considerable de las precipitaciones en invierno.

**Cwa - Verano cálido.** La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C. Este clima es una variación del chino o pampeano y se presenta en regiones más alejadas del mar que no reciben tantas precipitaciones por lo que la estación menos lluviosa aquí es bastante seca. Este clima es propio del interior de China, Argentina y Sudáfrica y se diferencia del mediterráneo en que la estación lluviosa es la más cálida. También se puede dar como transición al clima tropical, con lluvias abundantes, debido a

los monzones del verano, pero un invierno seco, y donde las temperaturas descienden ligeramente de los 18 °C.

**Cwb - Verano suave.** La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22 °C pero se superan los 10 °C durante cuatro o más meses al año. Se presenta normalmente en ciudades de mucha altura de zonas templadas y es la variación de climas tipo Cwa.

**Cwc - Verano frío.** Los meses con temperatura media superior a 10 °C son menos de cuatro al año.

## 5 CARTOGRAFÍA DIGITAL

**Mapa de precipitación promedio (1981-2012).** En la figura 2 se representa el mapa de precipitaciones promedio de enero a diciembre para el periodo 1981-2012. Como puede observarse la mayor concentración de precipitación se establece en la parte central de la sierra norte, registrándose precipitaciones promedio que van desde 3,800 hasta 4,500 mm.

**Mapa de temperatura media (1981-2012).** En la figura 3 se puede observar el mapa de temperaturas medias anuales (1981-2012) y su distribución geográfica. En él se observa que las zonas más cálidas se encuentran en la parte norte de la sierra, en los límites con el estado de Veracruz.

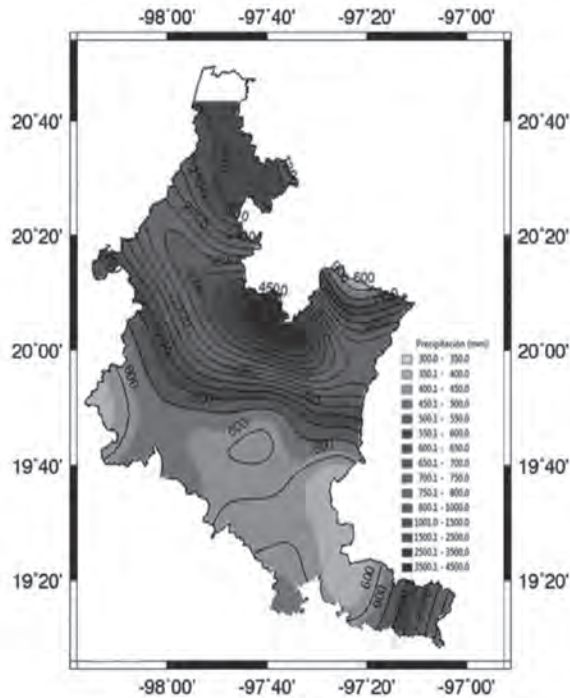
**Mapa de temperatura máxima media (1981-2012).** En la figura 4 se presenta el mapa de temperatura máxima media para el periodo 1981-2012. Al igual que la temperatura media, la temperatura máxima media se observa en la parte norte de la sierra con temperaturas que van desde los 30 °C hasta los 36 °C.

**Mapa de temperatura mínima media (1981-2012).** En la figura 5 se presenta el mapa de temperatura mínima media para el periodo 1981-2012. Las temperaturas bajas se extienden en la parte sur, sureste y suroeste de la sierra con temperaturas que van de 0 °C a 13 °C.

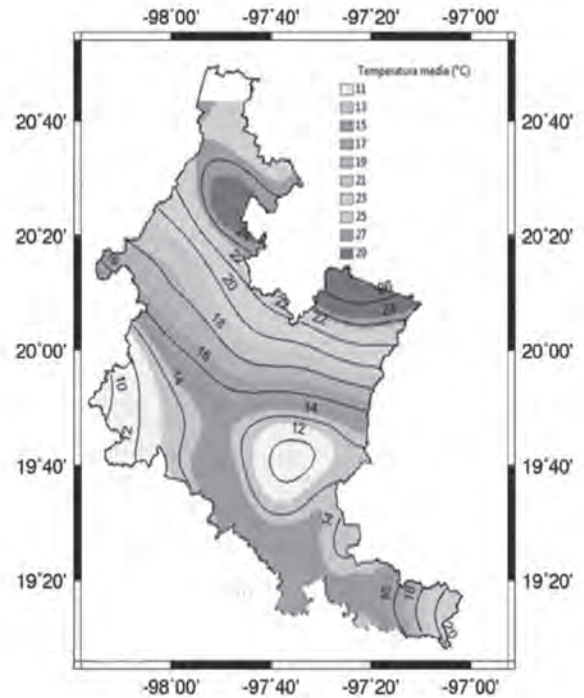
**Mapas de temperatura máxima maximorum y mínima minimorum (1981-2012).** Se presentan los mapas de temperatura máxima maximorum del mes de mayo, que históricamente es el más caluroso, figura 6; así como el mapa de temperatura mínima minimorum del mes más frío, que es diciembre, figura 7. Para el caso de las temperaturas máximas maximorum, hay datos que rebasan los 41 °C. Para el caso de las temperaturas mínimas minimorum, se observan temperaturas por debajo de -6 °C.

**Mapas de número de días con helada y lluvia (1981-2012).** Se presentan mapas de número de días promedio con helada, figura 8 y número de días

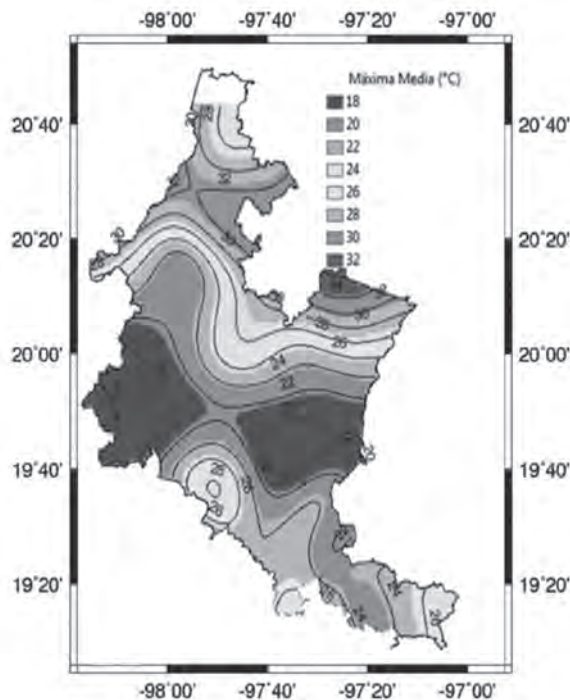




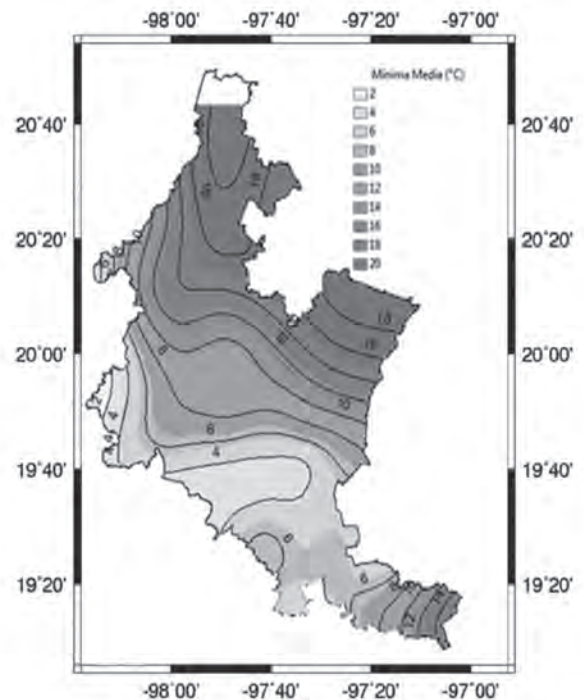
**Figura 2.** Mapa de precipitación promedio para el periodo 1981-2012



**Figura 3.** Mapa de temperaturas medias anuales para el periodo 1981-2012



**Figura 4.** Mapa de temperatura máxima media para el periodo 1981-2012

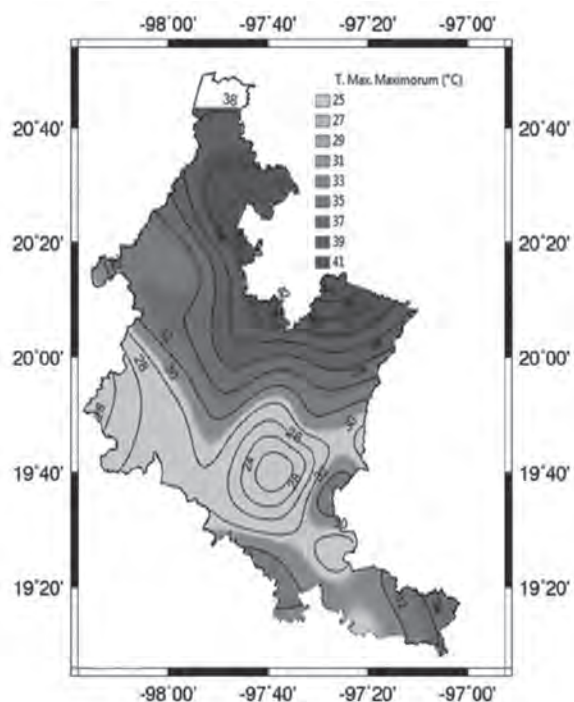


**Figura 5.** Mapa de temperatura mínima media para el periodo 1981-2012

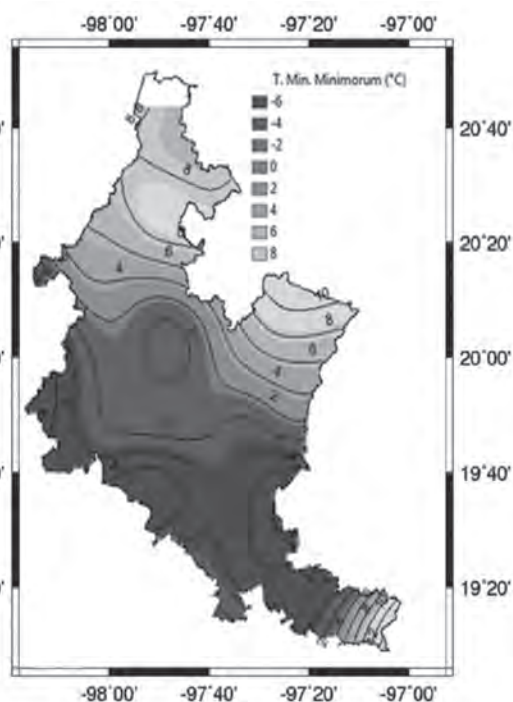
promedio con lluvia, figura 9, para el periodo 1981-2012. Como se ha podido apreciar las temperaturas bajas se ubican en la parte sur, sureste y suroeste de la sierra, esto trae como consecuencia que se presente el fenómeno denominado “helada”.

## 6 MAPA CLIMÁTICO PARA LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

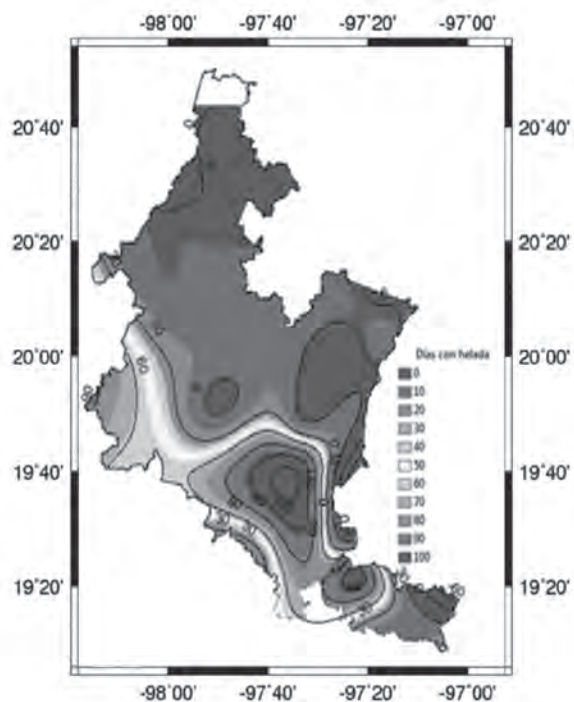
Con base en el análisis de la información obtenida y aplicando la clasificación climática de Köppen (Ay-



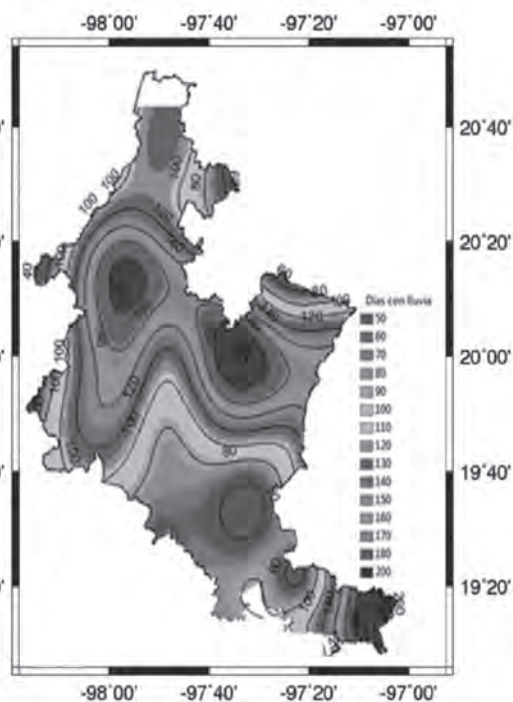
**Figura 6.** Mapa de temperatura máxima maximorum, 1981-2012



**Figura 7.** Mapa de temperatura mínima minimorum, 1981-2012



**Figura 8.** Mapa de número de días promedio con helada, 1981-2012



**Figura 9.** Mapa de número de días promedio con lluvia, 1981-2012

Ilón, T., 1996; García, E., 2004) se presenta el mapa climático obtenido para la sierra norte para el periodo 1981-2012, figura 10. De igual forma, se ilustra de una manera más amplia la clasificación climatológica por estación de monitoreo, tabla 2.

**Am** (Clima monzónico). Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18°C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación, con algún mes por debajo de 60 mm. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical.

**Tabla 2.** Clasificación climatológica por estación de monitoreo para la sierra norte de Puebla.

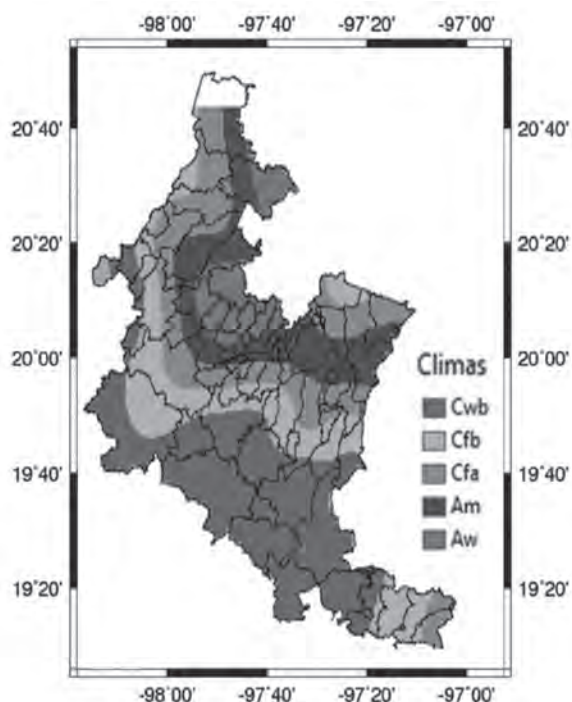
Clave	Estación	Clasificación de Köppen	División	Subdivisión	Características
21143 21147 21211 21212 21215	San José Acateno Apapantilla Ameluca Metlatoyuca Ayotoxco de Guerrero	Tropical	Monzónico	Am (Clima Monzónico)	Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación con algún mes por debajo de 60 mm y si la precipitación del mes más seco es superior a la fórmula $[100 - (\text{Precipitación anual}/25)]$ . Bajo estas condiciones se da el bosque tropical.
21142	Venustiano Carranza	Tropical	Sabana (invierno seco)	Aw (Clima de sabana tropical)	Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación con algún mes por debajo de 60 mm. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical.
21032 21127 21137 21201	Cuetzalan del Progreso Xicotepec de Juárez Tepango de Rodríguez Las Margaritas	Templado/ Mesotermal	Verano cálido	Cfa (Clima templado húmedo sin estación seca)	La temperatura media del mes más cálido supera los 22°C. Es el llamado clima subtropical chino o clima pampeano
21067 21091 21103 21107 21118 21207	Quimixtlán Teziutlán Zacapoaxtla Zacatlán Huauchinango Zaragoza	Templado/ Mesotermal	Verano suave	Cfb (Clima templado húmedo sin estación seca)	La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22°C pero se superan los 10°C durante cuatro o más meses al año. Es llamado clima oceánico o atlántico, templado y húmedo.
21021 21029 21038 21040 21052 21059 21077 21117 21119 21129 21140 21210 21244	Tetela de Ocampo Temextla El progreso Guadalupe Buena Vista Alchichica Oyameles San Luis Atexcal Guadalupe Victoria Libres Francisco I. Madero Chignahuapan Ahuazotepec Tepeyahualco	Templado/ Mesotermal	Verano suave	Cwb (Clima templado con estación invernal seca)	La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22°C pero se superan los 10°C durante cuatro o más meses al año. Se da normalmente en ciudades de mucha altura en zonas templadas.

**Aw** (Clima de sabana tropical). Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 18°C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación, con algún mes por debajo de 60 mm. Bajo estas condiciones se da el bosque tropical.

**Cfa** (Clima templado húmedo sin estación seca). La temperatura media del mes más cálido supera los 22°C. Es el llamado clima subtropical chino o clima pampeano.

**Cfb** (Clima templado húmedo sin estación seca). La temperatura media del mes más cálido no llega a





**Figura 10.** Mapa climático obtenido para la Sierra Norte de Puebla, datos de 1981 a 2012

los 22 °C pero se superan los 10°C durante cuatro o más meses al año. Es llamado clima oceánico o atlántico, templado y húmedo.

**Cwb** (Clima templado con estación invernal seca). La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22°C pero se superan los 10°C durante cuatro o más meses al año. Se establece normalmente en ciudades de mucha altura con zonas templadas.

## CONCLUSIONES

Atendiendo las temperaturas medias anuales así como las precipitaciones medias anuales y utilizando la clasificación de Köppen (Ayllón, T., 1996; González Guevara, J. L., 2003; García, E., 2004) se pudo determinar dos climas principales (tropical y templado mesotermal), cuatro subclimas (monzónico, sabana/invierno seco, verano suave y verano cálido) y de la combinación de ambos grupos se definieron cinco climas básicos: *Am* (Clima monzónico), *Aw* (Clima de sabana tropical), *Cfa* (Clima templado húmedo sin estación seca, verano cálido), *Cfb* (Clima templado húmedo sin estación seca, verano suave), *Cwb* (Clima templado con estación invernal seca).

Las temperaturas máximas medias se dan en la parte norte de la sierra norte, en los límites con el estado de Veracruz, ubicándose en municipios como

Apapantilla, Venustiano Carranza, San José Acateno, Ayotoxco de Guerrero, Tlaxco, Ameluca, Metlatoyuca, Francisco Z. Mena, Pantepec, Jalpan, Jopala, Hueytlan, Caxhuacán, Jonotla, Atzizihuacán, Tuzamapan de Galeana, y Tenampulco. La temperatura se hace más extrema en los meses de mayo a septiembre.

En cuanto a las zonas que presentan el fenómeno climatológico conocido como “heladas”, éstas se presentan en prácticamente toda la zona sur y suroeste de la sierra norte durante los meses de noviembre a marzo, afectando a los siguientes municipios: Chignahuapan, Aquixtla, Ixtacamaxitlán, Ocoatepec, Libres, Oriental, Guadalupe Victoria, Cuyoaco, Tepeyahualco, Zautla, Tlatlauquitepec, Teziutlán, Zacapoaxtla, Tepango de Rodríguez, Zaragoza, Ahuazotepic, entre otros.

Atendiendo al número de días con precipitación superior a 1.0 mm, las estaciones climatológicas “Cuetzalan y Xicotepic de Juárez” son la que reportan mayor número de días con lluvia, ubicadas en el centro de la sierra norte, rebasando ambas los ciento ochenta días, estos datos coinciden con la precipitación anual promedio, ya que también son las estaciones climatológicas con mayor cantidad de precipitación pluvial acumulada, rebasando los 4,000 y 3,000 mm, respectivamente. Los municipios ubicados dentro de esta zona son Hueytamalco, Ayotoxco de Guerrero, Huauchinango, Apapantilla, Teziutlán, Quimixtlán, San José Acateno, Metlatoyuca, Zacapoaxtla, Cuetzalan del Progreso, Xicotepic de Juárez, Coatepec, Hermenegildo Galeana, Amixtlan, Olintla, Hueytlan, Huehuetla, Zongozotla, entre otros.

Por otro lado las estaciones con menor número de días con lluvia fueron “Guadalupe Buenavista, Alchichica, Libres, Francisco I. Madero y Tepeyahualco” con un promedio de sesenta días al año con lluvia superior a 1mm; y por lo tanto, también presentan los valores de precipitación promedio anual más bajos, que va desde 380 hasta 390 mm, para el caso de “Guadalupe Buenavista y Alchichica”; mientras que para las estaciones restantes se presentan valores de 430 a 560 mm.

El periodo de lluvias intensas se presenta en el periodo comprendido abril - octubre, siendo abril donde se da un aumento ligero en la cantidad de lluvia, pasando por septiembre como el mes más lluvioso para veintitrés de las veintinueve estaciones climatológicas y octubre es en donde se observa un pico descendente en la cantidad de precipitación pluvial.

Los meses más secos son de diciembre a marzo, durante este periodo todas las estaciones reportan una precipitación superior a 5 mm, alcanzando los valores más altos la estación “Cuetzalan” con un promedio de 180 mm.

En la sierra norte de Puebla se han reportado diversas contingencias y desastres relacionados a periodos de lluvia y heladas, los cuales han cobrado la vida de decenas de personas y dejado daños materiales por varios millones de pesos. A este problema se añaden aspectos de carácter antropogénico, como son: la falta de planeación en la urbanización, la falta de atlas de riesgo municipales, poco conocimiento de la protección civil, la falta de estudios geofísicos y geotécnicos, la intervención de especialistas en la construcción, falta de visión y políticas públicas por parte de las autoridades, entre otros tantos factores no menos importantes como niveles de pobreza y educación (González Romo *et al*, 2006).

## REFERENCIAS

- [1] Ayllón, T. (1996) *Elementos de meteorología y climatología*. Trillas, México
- [2] Comisión Nacional del Agua (1999) *Guía de prácticas climatológicas*, Subdirección General de Administración del Agua. Comisión Nacional del Agua, México.
- [3] Comisión Nacional del Agua (2010). *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
- [4] García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, México
- [5] González Guevara, J.L. & Ramos, R. (2003). *Ciencias Atmosféricas, un enfoque general*, Universidad Tecnológica de Puebla, México
- [6] González Romo, A., Ramírez Valverde, B., Boltvinik Kalinka, J. & Macías Laylle, A. (2006). *Pobreza y población objetivo de Progreso en cuatro municipios indígenas de la Sierra Norte de Puebla*. Papeles de Población, 12(47), pp 115 -153
- [7] Patrón Ibarra, J. C. y Castillo Román, J. (2014). *Aspecto geológico y su efecto en el paisaje rural en la región Atlimeyeya – Metepec del municipio de Atlixco, Puebla*, El paisaje como patrimonio natural y cultural; Reyes Mendiola, R. L. y Sánchez Hernández A. A., coordinadores, BUAP, México, pp. 73 y 74
- [8] Ramos R., Rivera A., Mayorga R., González J. L. (2003). Aplicación de Imágenes Satelitales para determinar el clima y la radiación solar en el estado de Puebla y la Geohidrología de su zona norte, *Ciencia ergo sum*, vol. 10-3, No. 003, Universidad Autónoma del Estado de México, México, pp. 283-294.
- [9] Sánchez R. y P. Vázquez (2010) *Mapa Climático, Departamento de Cajamarca*, Gobierno Regional de Cajamarca, Perú
- [10] Tenorio Martínez, J. J. (2012) *Análisis climatológico de la Sierra Norte de Puebla (1981-2011)*, tesina de licenciatura en ingeniería geofísica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
- [11] Vargas M. y G. Taucare (2010) *Estudio comparativo de instrumental meteorológico convencional vs sistemas de adquisición de datos meteorológicos utilizados en el sector agroindustrial*. Chile, Trabajo de investigación de la Escuela Técnica Aeronáutica de Chile.



**¿Le interesa un espacio en nuestra revista?**

**CONTÁCTENOS**

-  [posgrado.fi.buap@gmail.com](mailto:posgrado.fi.buap@gmail.com)
-  <http://investigacionyposgradofi.blogspot.mx>
-  [facebook.com/posgrado.ingenieria.buap](https://www.facebook.com/posgrado.ingenieria.buap)
-  @POSGRADO\_FI

# RECICLATÓN ELECTRÓNICO 2016

¡AYUDANOS A CUIDAR EL MEDIO AMBIENTE!

TRAENOS TODOS TUS DESECHOS  
TECNOLÓGICOS:

- MONITORES
- LAPTOP'S
- CPU'S
- TECLADOS
- CELULARES
- IMPRESORAS
- DISCOS DUROS
- TELEVISORES



¡HAZ LA DIFERENCIA Y  
RECICLA!



17 Y 18 DE FEBRERO  
9:00 - 17:00 HRS  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
ACCESO 18 SUR





# Optimización de mecanismos de control de obra para toma de decisiones del gerente de proyecto en la ejecución de proyectos de construcción

Merari Luna Cervantes, Fernando Daniel Lazcano Hernández, Salvador García Rodríguez; Carlos Bustos Mota, Pablo Marín Chaparro, Francisco Martín Alonso Ruiz

## RESUMEN

La gerencia de proyectos es la aplicación de conocimientos, métodos, habilidades, herramientas, técnicas, y requerimientos abordando planeación, administración, evaluación de riesgos y toma de decisiones con una actitud fuertemente orientada hacia resultados, objetivos claros, actividades programadas así como trabajo en equipo de un proyecto particular, es decir, integra toda la información del proyecto desde los procesos básicos, alcance, tiempo, costos, calidad, para la integración y control de cambios considerando el capital humano, la optimización de la comunicación entre los interesados, además el riesgo como proceso de apoyo, por lo que, el mecanismo de control presentado optimiza la toma de decisiones, como un resumen ejecutivo para la gerencia de proyectos, en una sola hoja "STATUS DE OBRA", que participa en la parte de dirigir y gestionar el trabajo del proyecto basados en nueve mecanismos prácticos que se alimentan en la etapa de producción; los cuales son: Control de Suministros: 1. Requisición, 2. Inventario; Control financiero: 3. Estado de resultados, 4. Programa costo Operativo, 5. Valor ganado; Control Operativo en la obra: 6. Control presupuestal, 7. Factor de operación, 8. Control de calidad y 9. Control de cambios. El "STATUS DE OBRA" es una técnica analítica en la gestión de proyectos, de la fase de monitoreo y control que genera la certidumbre de considerar datos reales, para la optimización de toma de decisiones del gerente de proyectos, dueños o accionistas en forma práctica.

**Palabras claves:** Status de obra, toma de decisiones, gerencia de proyectos.

## ABSTRACT

The project management is the application of knowledge, methods, skills, tools, techniques, and requirements dealing with planning, management, risk assessment and decision making with an attitude strongly oriented toward results, clear objectives, planned activities and teamwork of a particular project, integrates all project information from basic processes, scope, time, cost, quality for the integration and control of changes considering the human capital, the optimization of communication between stakeholders, and risk as a process of support, so that presented control mechanism optimizes decision making, as an executive summary for management of projects, on a single sheet "STATUS OF WORK", which participates in the part of directing and managing the work of the project based on 9 minimum practical mechanisms that feed it in the stage production; which are: Control of Sum: Control of supplies: 1. Requisition, 2. Inventory; Financial control: 3. Results, 4. Program cost operating status, 5. Earned value; Operational control in the work: 6. Budget Control, 7. Operating Factor, 8. Quality Control and 9. Control changes. The "STATUS of work" is an analytical technique which generates certainty considering actual data, for the optimization of decision making of the project manager, owners or shareholders in a practical way, in project management will be within the phase of monitoring and control.

**Key words:** Status of work, decision making, management of projects.

## 1 INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de generar proyectos que satisfagan las necesidades de la sociedad, que provean de soluciones a las problemáticas que existen en el entorno, ha ocasionado que en obra pública como en obra privada, en algunos casos, se carezca de la metodología adecuada para la elaboración de un proyecto de calidad.

La sociedad demanda la optimización adecuada de la aplicación de recursos, con una apropiada planeación, en proyectos que satisfagan las necesidades y generen solución a las problemáticas por medio de proyectos sustentables en las áreas de operación, construcción, tecnología y economía por medio de una gerencia de proyectos para la correcta administración del proyecto, con la metodología requerida de las diferentes etapas que lo conforman: Planeación, Presupuesto, Ejecución, control, riesgos, toma de decisiones y Cierre. Actualmente, se requieren métodos de control que empaten con profesionistas competitivos, para llevar a buen término cada proyecto; para ello es necesario cumplir e incluso superar las expectativas de los clientes, concluyendo en el tiempo establecido la ejecución de las obras, dentro del presupuesto, con los requerimientos de calidad estipulados, desarrollando relaciones duraderas con proveedores e integrantes del equipo de trabajo (capital humano); cuidando los márgenes de utilidad que se plantearon e incrementándolos de ser posible.

De esta manera se cambiará la “*improvisación*” y “*desorganización*” que conlleva, a un mal cierre de obra y pérdidas financieras; el control constante durante la ejecución de las obras, permite el plantea-

miento de alternativas con soluciones optimas, ante las problemáticas que se presenten para la toma de decisiones adecuadas, a un cierre exitoso de proyecto en todas sus variables.

## 2 METODOLOGÍA

La realización de este trabajo será mediante la observación, investigación, experiencia profesional, análisis de los métodos de control, en los proyectos de construcción más utilizados en la actualidad y su aplicación en la administración de los mismos, vigilando los aspectos técnicos - operativos, económicos – financieros. De acuerdo al análisis de la información recolectada, se presentarán herramientas aplicables a los diferentes tipos de proyectos, que tendrán como objeto mejorar e incrementar el control integral durante la ejecución de la obra, por parte de los profesionistas de la industria de la construcción, tanto en obra pública, como privada del gerente de proyecto. Los mecanismos de control a lo largo del estudio se aplicaron por medio de un caso práctico de control de una obra ejecutada, de acuerdo con Luna Cervantes, Juárez Hermoso, & Sánchez Pérez, 2008.

Durante el proceso de investigación, se utilizarán los siguientes métodos científicos (Münch Galindo & Ángeles, 2009): 1. Método Análisis – Síntesis y 2. Método Inductivo.

## 3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde tiempos remotos, una de las preocupaciones más grandes que llevan a cuestar las diferentes personalidades que se desenvuelven en el ámbito de la construcción, es controlar de manera eficiente y eficaz la ejecución de una obra, administrando de manera adecuada los insumos que ésta involucra: mano de obra, materiales, herramienta, equipo, etcétera. Esta preocupación ha sido el objeto de varios estudios alrededor del mundo, sin embargo los países europeos y norteamericanos han destacado por sus aportaciones en las diferentes disciplinas que participan dentro de la industria; mientras que México ha optado por el rezago adoptando estrategias extranjeras para aplicarlas a proyectos nacionales.

En la gestión de la integración de proyectos según *Project Management Institute (2013). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide, 5ª ed. Pág. 65)* se componen de cinco fases: 1. Fase de inicio, 2. Fase de planificación, 3. Fase de Ejecución, 4. Fase de monitoreo y control, y 5. Fase

---

Recibido 26 de Noviembre, 2015; aceptado 12 de Enero, 2016

Merari LUNA CERVANTES  
Maestría en Ingeniería opción terminal en Construcción, BUAP,  
Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Puebla, México,  
Tel. 0001 222 2295500 ext. 7619  
Correo electrónico: lunary.29@gmail.com

Fernando Daniel LAZCANO HERNÁNDEZ  
Correo electrónico: fernando.lazcano@correo.buap.mx  
Carlos BUSTOS MOTA, Pablo MARÍN CHAPARRO, Francisco  
Martín ALONSO RUIZ  
Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Puebla, México,  
Tel. 0001 222 2295500 ext. 7619.

Salvador GARCÍA RODRÍGUEZ  
ITESM, Av. Eugenio Garza Sada No.2501, c.p.64849,  
Col. Tecnológico, Monterrey N.L. México, Tel. 00528183582000  
ext. 5411  
Correo electrónico: srg@itesm.mx

de cierre. Este trabajo se ubica en la Fase de Monitoreo y Control de Obra, que es solo una parte de la correcta Administración de un Proyecto, además trabaja de manera conjunta con fase de Planeación, Presupuestar, Ejecución y Cierre; incrementando su relevancia individual y sus aspectos técnicos.

“El Control de Obra no arroja datos significativos si no hay Planeación.”

El Control de Obra se torna complicado al tener que dar soluciones a problemáticas particulares, dependiendo del tipo de proyecto que se ejecute, a diferencia de un proceso industrial, en estos se analizan acciones repetitivas, en los que es posible programar un sistema de control que responda automáticamente a las situaciones que ocurren fuera de los parámetros establecidos.

Para el M.I. José Antonio Kuri Abdala el Control debe proyectarse sobre la base de previsiones del futuro y debe ser suficientemente flexible para permitir adaptaciones, ajustes que se originen en discrepancias entre el resultado previsto y el resultado ocurrido; de esta forma cumplirá con una función dinámica, no solo porque admite ajustes, sino también porque está presente en cada actividad humana con la finalidad básica de la modificación del comportamiento del objeto que se controla (Kuri Abdala).

En las empresas constructoras modernas, aparte de las funciones propias y muy diversas que el control ejerce en toda la gestión de la empresa, en lo relativo a las previsiones de obras, el control de éstas es consecuencia inseparable de la planeación para vigilar en todo momento su cumplimiento, comprobar resultados, rectificar donde sea preciso los planteamientos iniciales y ajustarlos a las nuevas situaciones, en lo posible corregir las desviaciones negativas que se originen. Se trata, entonces de previsiones controladas según Sánchez Rodríguez, 1973.

A partir de los años 60's del siglo XIX, las empresas y otras organizaciones comenzaron a observar las ventajas de organizar el trabajo en forma de proyectos. “En tiempos de cambios rápidos, es preferible pensar que la opción correcta ya existe” frase de Thomas Davenport que con más de un siglo a cuestas, aplica de manera ideal a la actual industria de la construcción.

A finales del siglo XIX, antes de un evento tan memorable como lo fue la Segunda Guerra Mundial, el pionero en la administración de proyectos Robert Owen, un industrial inglés, enfocaba sus estudios a la responsabilidad del recurso humano, misma que se empató en buena forma, con las teorías de Frederick

Taylor, dando mayor importancia a aquellos que se involucraban de manera directa, en la fabricación del producto para la eficacia del trabajo. Frederick Taylor comenzó a realizar estudios detallados del trabajo, aplicó el razonamiento científico y demostró que el trabajo puede analizarse y mejorarse, si se centra en las partes fundamentales. Anteriormente, la única manera de mejorar la productividad no era por mecanismos de control, era exigiendo a los trabajadores más esfuerzo y más horas de trabajo. Taylor presentó el concepto de trabajar con más eficiencia en lugar de más esfuerzo y tiempo.

Henry Gantt, uno de los socios de Taylor en la investigación y creador del famoso diagrama de Gantt, fue uno de los primeros consultores de la administración brindando mejoras para el control por medio de algunos pensamientos liberales que compartió con Frank y Lilia Gilber, dos ingenieros que incorporaron un poco de psicología para la adaptación del hombre en su espacio de trabajo. Gantt, estudió detalladamente el orden de las operaciones en el trabajo. Los diagramas de Gantt, que contienen barras de tareas y marcadores de hitos, describen la secuencia así como, la duración de todas las tareas de un proceso. Los diagramas de Gantt demostraron ser una herramienta analítica tan eficaz para los gerentes que se mantuvieron prácticamente sin cambios durante casi cien años.

Harrington Emerson, otro auxiliar de Taylor, demostró que un adecuado control, permite minimizar costos, al sorprender en 1910 a los miembros de la Comisión Ferroviaria de los Estados Unidos, en donde demostró que la implementación de una administración científica, les permitiría ahorrar un millón de dólares por día. Fayol también dio importantes aportaciones en el ámbito, mediante su Teoría Administrativa, en donde mencionaba cinco reglas para cumplir los objetivos del proyecto: Previsión, Organización, Dirección, Coordinación y Control.

Los proyectos gubernamentales a gran escala fueron el impulso para tomar decisiones importantes que se convirtieron en la base de la metodología de la administración de proyectos. Taylor, Gantt y otros contribuyeron a que tanto la administración de proyectos, como el control de las obras sea una función empresarial destacada que requiere de ingeniería estudio y disciplina. En las décadas anteriores a la Segunda Guerra Mundial, los métodos de marketing, la psicología industrial y las relaciones humanas comenzaron a tener un lugar como partes fundamentales de la administración de proyectos. Durante la



Segunda Guerra Mundial, los complejos proyectos militares y gubernamentales, además del suministro reducido de mano de obra en época de guerra exigieron nuevas estructuras organizativas. Gran Bretaña había creado los primeros equipos de investigación operacional, con la concurrencia de matemáticos, físicos y otros especialistas, lograron significativos avances tecnológicos, tácticos para resolver problemas que planteaba la contienda. Terminada la guerra, los “OR” o investigadores operativos se convirtieron en los asesores de los gerentes administrativos estadounidenses con diferentes teorías como:

- La investigación operativa, donde la administración militar llamó a un grupo de científicos de distintas áreas del saber para que estudiaran los ocho problemas tácticos y estratégicos asociados a la defensa del país. (Martín Martín, 2003).
- La teoría de los juegos, con dos planteamientos, el estratégico que requiere especificar detalladamente lo que los jugadores pueden y no pueden hacer durante el juego, y después buscar cada jugador una estrategia óptima; y el planteamiento cooperativo en el que se buscó describir la conducta óptima en juegos con muchos jugadores, aplicados también a temas de estrategia militar. (Bravo Raspeño).
- La teoría de las colas que se ocupaba de estudiar los puntos de estrangulamiento y los tiempos de espera, inicio con el análisis de la congestión de tráfico telefónico con el objetivo de cumplir la demanda incierta de servicios en el sistema telefónico de Copenhague. (León, 2013).
- y la teoría de los grafos con solución de problemas referentes a la geometría de posición (Combariza, 2005).

Las anteriores marcaron el comienzo de la era moderna en el Control de Proyectos, que fue reconocida como una disciplina distinta derivada de la gestión, y una vez más los Estados Unidos gestionaron sobre una base de datos utilizando principalmente el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) desarrollado por Booz-Allen&Hamilton, con la finalidad de eficientar la programación de misiles submarinos como parte de la Armada de los Estados Unidos, este método se extendió rápidamente a empresas privadas permitiendo a los administradores tener más control sobre proyectos muy complejos y con un alto grado de ingeniería. Así mismo el CPM (Critical Path Method)

desarrollado por la asociación de las empresas DuPont Corporation y Remington Rand Corporation, con la finalidad de gestionar proyectos.

Henry Mintzberg en los 70's, al analizar la naturaleza del trabajo gerencial insertó roles fuertemente arraigados en la institución y el contacto personal: el gerente es líder, se comunica, asigna recursos, controla, negocia y maneja conflictos (González Biondo, 2005).

En 1984 fue lanzada la primera versión de programa Microsoft Project, un software de administración de proyectos desarrollado y vendido por Microsoft. La primera versión del programa fue lanzada para el sistema operativo DOS en 1984, por una compañía que trabajaba para Microsoft. Microsoft adquirió todos los derechos del software en 1985 y produjo la versión DOS lanzada en 1986. La versión 4 para DOS fue la última versión de este sistema operativo, comercializada en 1987. La primera versión para Windows fue lanzada en 1990, y fue llamada versión 1 para Windows, ésta introdujo el concepto de líneas dependientes entre tareas en la gráfica de Gantt. (Sejas Cruz, 2010). En poco tiempo, estas técnicas se extendieron a todos los tipos de industrias a medida que los líderes empresariales comprendieron el paralelismo que existe entre la ejecución de los trabajos y el control de los mismos. Éste punto de vista de considerar a una empresa como un ente humano implica que, un negocio puede sobrevivir y prosperar si todos sus engranes trabajan en conjunto hacia objetivos o proyectos específicos.

Durante los últimos diez años, el control de proyectos en el extranjero no ha dejado de evolucionar y seguirá evolucionando con la finalidad de contribuir a proyectos exitosos.

En Europa por ejemplo, encontramos a la Asociación Española de Dirección Integrada de Proyectos (AEDIP), una asociación de empresas profesionales de ingeniería y consultoría del sector de la construcción, que consideran la Dirección Integrada de Proyecto como la “*forma más adecuada para llevar a cabo proyectos en este sector, desde su concepción hasta su entrega definitiva al cliente, listas para su uso*”, así mismo, la *Association for Project Management (APM Corporate Member)* que es el mayor organismo profesional independiente de su clase en Europa, con el objetivo de desarrollar y promover la gestión de proyectos en todos los ámbitos del sector. (MDCI Project Managers, 2009).

En América del Norte podríamos mencionar “*Clarizen the way to work*”, que provee herramientas para

administración de proyectos en línea para facilitar la administración de los recursos en cada proyecto en particular, usa interfaces y potencializa la integración de innovadores *e-mail*, que aseguran respuestas rápidas manteniendo a todos según lo planeado, maneja diferentes soluciones para proyectos como: plantillas para proyectos, enciclopedias para directores de proyectos y software para administración de proyectos.

El *Project Management Institute* es otra importante organización que imparte diplomados para la especialización en la administración de proyectos y que a pesar de no estar enfocados al sector de la construcción, aportan ventajas de vanguardia para el sector industrial mediante: *PMBOK Guide and Standards*, certificaciones y servicios profesionales.

En Oriente Medio se encuentra GLEEDS, que maneja *Value Engineering & Management*, haciendo énfasis en maximizar el valor junto con el compromiso de calidad; balanceando calidad, valor para desarrollar equivalencias, mejorar nuevas aplicaciones mediante la revisión y análisis de los elementos individuales de los proyectos, evaluando el análisis de técnicas para identificar y eliminar gastos innecesarios, identificar alternativas de diseño, construcción y aplicar la experiencia en el área de ingeniería, para mantener integra la construcción mientras se reducen costos.

Sin embargo, México no ha desarrollado métodos propios de control, si no que han sido métodos que ha adoptado de otros países y que se han tropicalizado a las necesidades de los constructores mexicanos, ejemplo de esto, son el método PERT, las barras o diagramas de GANTT, Método de la Ruta Crítica, Curvas de producción acumulada o Curva "S", factor de operación, entre otras.

El Método de la Ruta Crítica se ha utilizado desde 1961 por la Secretaria de Obras Públicas para la construcción de edificios, aparentando hasta ese momento no existir otro método que proporcionara mejores resultados, además, de tener un amplio campo de acción, tanto en la planeación como en el control de diversas actividades, como construcción de cualquier tipo de obras, casas, edificios, presas, caminos, etc.; como en estudios económicos, auditorías, distribución de tiempos de operación y más (García Rios, 2008).

El ingeniero y escritor mexicano Suarez Salazar es el que ha abordado los temas sobre costos, administración y tiempos de edificación, abarcando de esta manera una parte de lo referente al control de las obras.

Respecto a temas de tecnologías informativas, se cuenta con dos programas dominantes en el mercado mexicano que por su perfil han desarrollado herramientas que contribuyen al control de las obras, OPUS que ingresó en 1984 y NEODATA en 1990 ambos enfocados a ayudar al proyectista a realizar precios unitarios que conforman los presupuestos y programas de obra, pero que a últimas fechas han implementado módulos de control para avances de obra y almacenes, que arrojan algunos gráficos facilitando al constructor o administrador de proyectos la toma de decisiones y el control de los proyectos desde una panorámica integral. NEODATA integra además un ERP para la industria mexicana que cubre: bajo la base de la contabilidad y un presupuesto del cliente, controla las requisiciones, compras, almacén, antigüedad de saldos, pagos a proveedores, destajos, subcontratos y más.

Existe también en México una asociación llamada PMI por sus siglas en inglés *Project Management Institute*, constituida en 1996 con la finalidad de orientar a los empresarios de cualquier industria en la práctica profesional en la Dirección de Proyectos de manera estandarizada y que abarca algunos métodos de control, que pueden ser fácilmente adaptados a la industria de la construcción como reportes semanales de avance, reportes financieros, reportes generales etc. De esta forma es como México ha evolucionado en el ámbito del control de obra, adoptando algunos métodos extranjeros y teniendo carencia y falta de desarrollo de los propios, haciendo que la industria de la construcción, posea bajos índices de control, ocasionando toma de decisiones inadecuadas y fuera de tiempo, males que se reflejan en los resultados de las obras de todo tipo.

#### 4 DESARROLLO

Desde tiempos remotos, una de las preocupaciones más grandes que llevan a cuestar las diferentes empresas, es saber, si ganan o pierden, toda vez, que después, que se ha terminado la etapa de ejecución de obra y la etapa de cierre, es común escuchar entre los involucrados, comentarios acerca de las diferentes causas que conllevaron al éxito o al fracaso del proyecto, desde el personal en general, el gerente de proyecto y hasta la dirección de la empresa realizan un *feedback*, desde diferentes perspectivas.

Aquellos proyectos que no alcanzaron los objetivos ya sean funcionales, por diseño, presupuestado o construido, es porque hubo carencia de respuestas

eficientes y en tiempo a las problemáticas, que se presentaron durante la etapa de ejecución del proyecto, causando descontrol de las variables que intervienen.

En la formación profesional de los involucrados en el área de la construcción es común, dar mayor importancia a los aspectos técnicos y dejar el desarrollo de conocimientos y habilidades de la Administración de Proyectos a la escuela de la vida.

Actualmente con nuevas ideas, algunos se han aventurado a planificar las obras mediante el balance de: alcance del proyecto, costo, y tiempo de ejecución, lo cual es común, siendo las principales variables que el Cliente tiene expectativas.

Si durante el desarrollo del diseño en el proceso de definición del alcance, no se revisa este balance y al momento de concursar, tiempo después, nos encontramos con la sorpresa de que el costo del proyecto sobrepasa al monto máximo esperado y que el cliente tiene que aportar más dinero, para su realización o bien, volver a la etapa de diseño para ajustar el alcance de acuerdo con el recurso económico con el que cuenta, da como resultado una desilusión por eliminar expectativas del alcance, retrasos y costos adicionales de rediseño.

Resulta aún más caótico cuando se inicia la construcción sin tener un conocimiento claro y total del costo y las sorpresas aparecen en etapas avanzadas de la obra, donde el Cliente se ve obligado a suspender los trabajos, aun cuando realiza intentos improvisados por reducir los costos negociando con contratistas, proveedores, cambiando especificaciones y reduciendo calidad de los materiales. En la mayoría de los casos los acabados o instalaciones, sufren modificaciones que perjudican el concepto del diseño original, así como, la funcionalidad o la “resistencia estructural”, lo cual reduce su vida útil y tendrá altos costos de mantenimiento e intervenciones posteriores.

Lo anterior descrito resulta más frecuente de lo que debiera ser, y da como resultado que el Cliente adopte el pensamiento de que todos los proyectos se rigen bajo la misma constante, cuando en realidad es posible administrar bajo una visión holística de prevención y organización.

Se han tocado hasta el momento el balance con las variables de: Alcance-Tiempo-Costo, sin embargo una constante debe ser la Calidad, y otra la toma de decisiones, los cuales están influenciados por las acciones del Recurso Humano y su Comunicación. Proyectos bien estructurados colapsan por no haber elegido el personal adecuado para cada función y no formar un equipo de trabajo, donde exista fluidez

de la información. Una falla en la Comunicación no permite que el Cliente o el Gerente de Proyecto tomen decisiones adecuadas, la información llega retrasada en una etapa del proyecto, en la que el riesgo ya no es algo futuro, sino algo presente, ya que no se monitoreó a su tiempo el balance entre Alcance-Tiempo-Costo.

Otro punto fundamental es el manejo adecuado del Riesgo, considerando que cualquier proyecto conlleva riesgos que deben ser identificados, previstos y monitoreados. Minimizar el riesgo implica el buen manejo de los Abastecimientos no solo de materiales, también de mano de obra y subcontratos, analizando la forma de adquisición junto con la selección de proveedores y empresas que deberán ser administrados como supervisados.

La Integración de estos puntos sería el cierre para establecer la cimentación de una adecuada planeación que permitirá controlar la obra de manera adecuada. El Alcance es la descripción de los límites del Proyecto, definirá los trabajos requeridos que se realizarán para lograr sus objetivos, excluyendo aquellos trabajos innecesarios.

La participación del Cliente por medio de sus opiniones es un punto crítico, puesto que el nivel de satisfacción una vez terminado el Proyecto lo definirá el haber o no cubierto sus necesidades. El canal de comunicación que transmitirá las expectativas del cliente, será el Vendedor que se encarga de transmitir, lo que el cliente espera del Proyecto al Gerente de Proyecto y este a su equipo de trabajo. Así mismo, el Alcance estará relacionado proporcionalmente con el Tiempo y el Costo, dependiendo del tamaño del Proyecto se podrán estimar estas dos variables y verificar la viabilidad del mismo, el contrato define todo el alcance del proyecto que establece un nexo entre los recursos, procesos, resultados y objetivos.

Sin embargo, una de las causas principales para que un Proyecto falle es la mala gerencia del alcance del proyecto, ya sea porque el Gerente del Proyecto no dedicó el tiempo suficiente, en este punto o porque no existió un análisis metódico del alcance, lo que lleva a añadir trabajo no autorizado ni presupuestado al proyecto. La alteración del alcance o los cambios no controlados, es la tendencia de un proyecto a incluir más tareas de las especificadas originalmente, lo que a menudo causa costos más elevados y una extensión de la fecha de término.

Si el Gerente, una vez desarrollado con su equipo de trabajo el alcance, no confirma con el Cliente y el Vendedor los “entregables” y expectativas, se corre



el riesgo de trabajar sin cubrir los objetivos; por lo que, si una vez definido el Alcance no se documenta en un entregable, donde se desglose, describa y especifique, cual deberá ser el resultado final del trabajo para ser aceptado por el Cliente no se podrán establecer los criterios de aceptación y la entrega recepción de los trabajos, carecerá de un medio de evaluación. Si se realiza el entregable pero carece de los siguientes criterios: específico, medible, acordado, realista y en el tiempo establecido no nos orientará para visualizar las expectativas por cumplir. Por lo contrario, si cumple con los criterios anteriores pero no se desglosa hasta el nivel de control, en el que cada elemento pueda ser asignado al personal o empresa externa, programado, costado y monitoreado carecerá de sentido, no proveerá de un método para dividir los resultados del análisis en unidades de trabajo significativas, ni asignará la naturaleza jerárquica del trabajo a ser ejecutado.

Ningún proyecto es idéntico a otro, por lo que, cada uno necesitará de tiempo para ser analizado por los involucrados, la falta de definición del Alcance del proyecto y el establecimiento de entregables específicos, medibles, acordados, realistas y en tiempo asegurará un proyecto sin rumbo y sin parámetros para ser evaluado.

Tal vez el riesgo más evidente, es que las cosas no salgan tal y como fueron planeadas, para poder ejecutar un proyecto se debió haber realizado una evaluación de dicho proyecto, el análisis que demanda mayor atención en la toma de decisiones, para la aceptación o rechazo del proyecto, es aquel que tiene que ver con la inversión, pero una vez que el proyecto ha sido aceptado y direccionado al Gerente de Proyectos, este no podrá dejar de considerar la parte del financiero, otro tipo de riesgos, de lo contrario la prevención de acciones que lleven al fracaso del proyecto como abastecimiento de materiales fuera de tiempo, alza de precios, la falta de calidad, etc., sería nula.

En muchos casos de evaluación de riesgos el tema financiero abarca el cien por ciento del análisis, y minimizan el riesgo de perder al cliente por no haber cumplido con las expectativas requeridas, esto es, lo que la línea financiera llama riesgo de mercado, que para fines de administración de proyectos de construcción se denominará en este trabajo riesgo de cliente insatisfecho, al no cumplir el nivel de demanda de un cliente cautivo, éste se convertirá en un cliente potencial a pérdida, y resulta mucho más difícil conseguir un nuevo cliente que conservar aquellos

que tenemos cautivos; sin que esto signifique que se dejará de llevar a cabo estrategias para adquirir más mercado dentro del ramo.

Otro riesgo evidente es que el uso de los recursos no sea realmente optimizado, por lo que se puede encontrar recursos subutilizados o cuellos de botella en algunos procesos por falta de control en la herramienta, equipo, o bien recurso humano; si no se realiza una adecuada planeación de estos recursos analizando los tiempos y movimientos de cada actividad, previendo arrendadores si así es necesario, será un riesgo latente durante toda la ejecución de la obra.

El riesgo de que los costos no resulten en la realidad igual o al menos similares a la magnitud previamente determinada, sino que resulten mayores, ocasionará en el mejor de los casos que el precio de venta se modifique elevándolo, o bien, el precio se mantiene y por ende las utilidades disminuyen de manera proporcional a la desviación. En la administración, el concepto de mantener al cliente en “cautiverio”, no quiere decir que carezca de otras opciones, si no que el cliente decida libremente consumir en determinada empresa debido a que se siente satisfecho por el buen servicio que recibe. (Alzamora Román, 2007).

La integración de alcance, tiempo, costo, calidad, recursos humanos, comunicación, riesgo, suministros; entendiendo que cada uno es relevante y afecta multidireccionalmente al proyecto, el descuidar cualquiera de ellos propicia descontrol en la etapa de ejecución de la obra afectando el área correspondiente, por no ser independientes, a las demás por consecuencia; por lo que la integración de estos puntos desde la etapa de planeación hasta la etapa de cierre es fundamental para lograr el éxito del proyecto. Cada punto deberá ser directamente proporcional a las necesidades del proyecto y los requerimientos del cliente, siendo racional como justificada la correlación que existe entre ellos. Existe la posibilidad de integrar a estos puntos, otros más que el gerente de proyectos crea necesario para lograr el máximo control del proyecto que administra, pero no es recomendable practicar la omisión de los mismos, ya que son la base para la coordinación de cualquier proyecto de construcción. El considerar que pueden ser trabajados de manera aislada y ser articulados en la etapa final de la planeación ocasionará diferencias tales, que pareciera que se refieren a proyectos diferentes, por lo tanto, es probable que no se tenga la oportunidad de contar con tiempo suficiente para retroalimentar el proyecto, corregir las diferencias y encaminar el pro-

yecto a un fin común, que es el objetivo de esta etapa.

De la misma forma es preciso puntualizar que la integración no solo se lleva a cabo en la etapa de planeación, durante todas las etapas es común, normal y hasta enriquecedor que haya cambios al darnos cuenta de errores o deficiencias en el proyecto, que puede corregirse de manera oportuna en la etapa de ejecución, para ello será necesario la integración de estos cambios e insertarlos al proyecto de manera correcta, si se toma decisiones de manera informal y además verbal, ocasionará confusión y la comunicación verbal no siempre asegura retención del equipo de trabajo, ni transmisión clara de información; de la misma forma el no evaluar los impactos y no contar con la justificación apropiada podría ocasionar programas no cumplidos puesto que los compromisos del contrato ya no están vigentes; ignorar y omitir actualizar los documentos del proyecto, incluso los precios del mismo, podría dejarlo fuera de presupuesto, los cambios mal controlados en cualquier etapa pueden ocasionar que el alcance crezca de forma gradual y que en la etapa de ejecución tengamos al cliente y proveedores molestos, por lo que, no quiera pagar conceptos extras que aún el mismo solicitó, y el otro podría tener problemas en el suministro de los materiales y sus características al haber sido modificadas.

Un mecanismo de control como su nombre lo indica es un medio práctico que tiene como objetivo verificar que el proyecto está dentro de lo planeado. Existen diversos mecanismos que se adaptan a cada área del proyecto, con la finalidad de verificar que cada recurso esté en el momento indicado, con las características especificadas, para llevar a cabo la actividad programada con la duración y calidad establecida.

Se podría pensar que el Gerente de Proyectos, es el encargado de utilizar de manera directa estos mecanismos de control, al final él tiene la responsabilidad de evaluar periódicamente los niveles de control generales de la obra e informar a la dirección de los resultados; sin embargo sería incapaz de hacerlo de manera eficiente, si no delega de manera indicada ésta responsabilidad a los encargados de las diferentes áreas y estos a su vez comparten la actividad con sus subdelegados, de manera tal, que todos los involucrados del proyecto sean partícipes del proceso de control.

Actualmente se cuentan con mecanismos de control especializados por áreas, ya sea: tiempo, costo, almacenes, mano de obra, equipos, cambios en proyecto, por mencionar algunas, con el objetivo de

poder abarcar todas las partes y reconocer que debe de existir un balance que permita identificar la presencia de posibles variaciones; no basta con tener controlado el tiempo de ejecución, si los costos se han disparado y no se cuenta con la información necesaria para tomar medidas al respecto, es necesario aplicar mecanismos de control de manera estratégica para prever desviaciones, tomar medidas anticipadas o bien contar con información necesaria además de datos verídicos para dar soluciones correctivas a los problemas presentados.

Es necesario enfatizar en el ciclo del recurso material, que se eslabona desde la requisición de los materiales de obra, acotando (“*topando*”), cantidad así como costo, para evitar desviaciones, para posteriormente llegar a compras, que genera cuadros comparativos de proveedores buscando la alternativa óptima de crédito y descuento de acuerdo a las políticas de la empresa, toda vez que se autorizó, el siguiente paso es el inventario (“*almacén*”), donde se genera la entrada solo del material recibido y que cumpla con la calidad requerida, liberando lo que no entró, generando contablemente un pasivo al proveedor y cargo al inventario, dentro de la balanza de comprobación; ya que se genera la disposición del material, en la salida se aplica al WBS (*Work Break-down Structure*) por partidas de trabajo, dentro de la gestión de control, con responsable técnico y destajista, que genera un egreso en el estado de resultados, en el costo de operación de materiales por partida, que se puede empatar con el presupuesto base para comparación, control de costos, cantidades, desviaciones. Cabe mencionar que los materiales se cargan como familias con una cuenta contable, relacionada con el insumo respecto a su explosión de cada uno de los conceptos y partidas que correspondan, para su cargo dentro de la contabilidad y la administración para toma de decisiones. En cuanto a la mano de obra se generan dos vertientes: destajos (mano de obra solamente) y subcontratos (materiales, mano de obra y equipo) que se controlan con contratos y orden de trabajo acotando su alcance, tiempo, costo, calidad por la gerencia, aplicando anticipos, además de fianzas para subcontratistas y liberando los pagos vía estimaciones para ambos, con un fondo de garantía por vicios ocultos y calidad, en el caso de la maquinaria se generan entrada así como salidas dentro del almacén para su control por WBS, de esta forma controlamos el costo operativo, y el avance físico por wbs, por lo tanto, podremos obtener el control de acuerdo al presupuesto del cliente y resultados.

En la parte del control de avance Físico-financiero se toma la carta de control de acuerdo a Lazcano Hernández, *tema de tesis de Maestría en Ingeniería en Construcción "Implementación de un método de correlaciones para control de obra"*, donde la línea base como razón financiera, es costo de operación teórica entre monto del presupuesto y de esta manera generar una carta de control tipo semáforo con tres áreas: 1. Ideal al centro (verde), 2. Corrección parte superior e inferior de la ideal (amarilla) preventiva para corregir a tiempo, 3. Rechazo por abajo y arriba de la corrección(rojo-peligro), para que, de forma visual se refleje el estado de resultados semanal, de acuerdo al costo operativo real entre el avance físico real, para evitar desviaciones y tomar una decisión en tiempo en forma óptima.

Es importante mencionar, que el proceso de planeación es la base para lograr los resultados del cliente, desde el alcance del proyecto bajo un contrato firmado, restricciones, calidad, presupuesto base, cronograma por ruta crítica balanceado, costos, recursos humanos adecuados al tipo de proyecto, considerando el equipo de trabajo para la toma de decisiones eficientes, así como, el capital humano para alcanzar las utilidades esperadas.

## 5 CONCLUSIONES

Por medio del adecuado análisis de las causas que generan situaciones adversas, que colocan en riesgo la correcta ejecución y por lo tanto, los márgenes de utilidad de un proyecto de construcción, por lo que, para la toma de decisiones es primordial, y deben existir mecanismos de control, que se utilicen durante el periodo de ejecución de la obra, permitiendo incrementar la probabilidad de éxito del proyecto.

Para efectos del "ESTATUS DE OBRA" se analizaron los mecanismos de control más representativos en cuanto a la ejecución de obra para proyectos de construcción, enlistando los que sirvan para evaluar las acciones referentes a recursos, estrategias, finanzas y que a su vez están relacionados de manera directa para controlar alcance, tiempos, materiales, mano de obra, equipo, costos, comunicación eficiente con capital humano técnico, cambios, entre otros, aportando nuestro granito de arena, para su aplicación en la gestión de proyectos mexicanos en la fase de monitoreo y control.

El ciclo de control de obra se genera a partir del Control de suministros 1.- Requisición del material que debe estar acotada (topada) en cantidad de los

insumos, para evitar desviaciones (formato establecido), toda vez que se requiere entra en acción, el departamento de compras el cual está acotada en costo, pero libre en el proceso administrativo de pagos a crédito o descuentos por pronto pago, según la política de la empresa, ya autorizada la compra, entra el proceso de 2. Inventarios, entrada de almacén, solo de los insumos recibidos, para su control de inventarios y el proceso contable del proveedor en su estado de posición financiera, cuando sale del almacén debe cargarse al WBS de la partida que corresponda y su cargo en el Control financiero en el 3. Estado de resultados como costo de obra, el 4. Programa de obra en la etapa de planeación ya fue balanceado de acuerdo a los recursos y flujos óptimos, así como los tiempos para evitar cuellos de botella, solo se actualiza de acuerdos a los costos reales operativos en el proyecto y partidas, para obtener el 5. Valor ganado se comparan los tiempos, costos, el avance real versus el programa base del cliente así como el 6. Control presupuestal para incrementar las desviaciones económicas, ya evaluado el costo de obra (inventarios, destajos, subcontratos y maquinaria) se genera el 7. Factor de operación (ayuda visual=semáforo) para saber si vamos ganando o perdiendo, con la razón: costo de obra operativo real / avance físico real, el 8. Control de calidad se implementó con el diagrama Causa-Efecto con lista de Verificación para aseguramiento de calidad, y el 9. Control de cambios se generó una metodología (ver anexo 1) en una sola hoja donde considera todas la variables implícitas donde se concentra en el estatus de una obra.

## REFERENCIAS

- [1] Alzamora Román , H. E. (2007). *Plan de Marketing para el programa de Maestría en Administración PROMAD-UNP*. Piura, Peru: Universidad Nacional de Piura. Recuperado el 22 de Enero de 2013.
- [2] Amendola, L. (2011). *Tendencia en la Administración Moderna Outsourcing*. Valencia, España: Universidad Politécnica.
- [3] Binmore, K. (Abril de 1994). *Teoría de Juegos*. Madrid: McGraw-Hill. Bravo Raspeño, J. (s.f.). Zona Económica. Obtenido de <http://www.zonaeconomica.com/teoriadejuegos/teoriadejuegos> Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012).
- [4] *Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas*. México.



- [5] Chamoun, Y. (2000). *Administración profesional de proyectos: la guía*. Mexico D.F: McGraw-Hill.
- [6] Combariza, G. (2005). *Una introducción a la teoría de grafos. Memorias XIV Encuentro de Geometría y II de Aritmética*. Bogotá, Colombia.
- [7] Debitoor. (s.f.). *Glosario de contabilidad*. (e-cocomic, Ed.) Recuperado el 19 de Enero de 2013, de <http://www.e-economic.es/programa/glosario/definicion-outsourcing> Fernández Collado, C. (1997).
- [8] *La Comunicación Organizacional en las Organizaciones*. México: Editorial Trillas, SA de CV. García Rios, Z. (2008).
- [9] *Administración de Obras. Administración de Obras, 58*. Michoacan: Universidad Michoacana de San Nicolas Hidalgo. González Biondo, G. (2005).
- [10] *Dos siglos de Management*. WOBI Magazine, 10, 6. Recuperado el 23 de Junio de 2011 Institute, L. A. (s.f.).
- [11] *El Potencial humano, recurso primordial en las empresas*. Latin American Quality Institute(3). Recuperado el 19 de Enero de 2013, de [http://www.laqualityinstitute.org/articulos/laqi\\_art\\_3.pdf](http://www.laqualityinstitute.org/articulos/laqi_art_3.pdf) Kuri Abdala, J. A. (s.f.).
- [12] *Apuntes de planeación*. D.F, México: UNAM. León, G. (2013). Teoría de Colas. Tamaulipas, México: Universidad Autónoma de Tamaulipas. Luna Cervantes, M., Juárez Hermoso, M. d., & Sánchez Pérez, S. (2008).
- [13] *Aeropuerto de Carga en Tizayuca Hidalgo*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Arquitectura. Martín Martín, Q. (2003).
- [14] *Investigación Operativa I, capítulo: Introducción a la Investigación Operativa*. Salamanca: Hesperides. Recuperado el 2013 de Enero de 31, de [http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/investigacionoperativa-i/contenidos/TemasIO-I\\_PDF/Cap01\(Intodio\)\\_IO-I.pdf](http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/investigacionoperativa-i/contenidos/TemasIO-I_PDF/Cap01(Intodio)_IO-I.pdf) MDCI Project Managers. (2009). MDCI Project Managers. Recuperado el 2013 de Febrero de 13, de <http://www.mdci.es/asociaciones.html> Mejía C., C. A. (s.f.).
- [15] *El uso de indicadores de fortaleza estructural. Documento Planning(910)*. Medellín, Colombia: Planning Consultores Gerenciales. Münch Galindo, L., & Ángeles, E. (2009).
- [16] *Métodos y técnicas de investigación*. México: Trillas. Orozco Santoyo, R. V. (2010).
- [17] *Control de Calidad de Obras y Especificaciones*. D.F, México. 107 Saffirio, M. (s.f.). Tecnologías de Información y Gestión de Procesos de Negocios (BPM). Recuperado el 14 de Julio de 2013, de <https://msaffirio.wordpress.com/2005/12/13/la-funcion-de-project-manager-oyefe-de-proyecto/> Sánchez Rodríguez, M. (1973).
- [18] *Organización y métodos funcionales de la moderna empresa constructora*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- [19] Sejas Cruz, F. (2010). *Manual de uso de Microsoft Project 2010*, 2010. Recuperado el 06 de Febrero de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/110653328/Manual-de-Usode-Project-2010-Sejas>.

**ANEXO 1. Metodología del ciclo de control de obra.**

<b>EMPRESA:</b> <b>OBRA:</b> <b>Cliente:</b> <b>Gerente de Proyecto:</b>		<b>ESTATUS DE OBRA</b> FECHA 3 de Julio <b>Semana 22/31</b>																			
<b>Logros</b> 1. Termino de la albañileria 2. 72% de avance en acabados 3. 65% de avance en instalaciones		<b>Desviaciones</b> 1. Orden para mobiliario 2. Equipo para sistemas con tiempo de entrega especial 3. Retraso en instalaciones electricas																			
<b>Prioridades</b> 1. Cerrar la albañileria al 100% 2. Resolver los ultimos pendientes del diseño 3. Recuperar el retraso en instalaciones electricas		<b>Plan de Acción</b> 1. Terminar la trabe para recibir el cristal en la sala de juntas y la recepción. 2. Terminar sanitarios con cambios de especificaciones																			
<b>Amenazas</b> 1. Tiempo de entrega de los equipos para sistemas 2. Tiempo de entrega del mobiliario		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Responsable</th> <th>Impacto</th> <th>Estatus</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>04-ago</td> <td>Merari Luna</td> <td>Alto</td> <td>expeditar confirmar</td> </tr> <tr> <td>28-jul</td> <td>Alvaro Pérez</td> <td>Alto</td> <td>confirmar</td> </tr> </tbody> </table>		Fecha	Responsable	Impacto	Estatus	04-ago	Merari Luna	Alto	expeditar confirmar	28-jul	Alvaro Pérez	Alto	confirmar						
Fecha	Responsable	Impacto	Estatus																		
04-ago	Merari Luna	Alto	expeditar confirmar																		
28-jul	Alvaro Pérez	Alto	confirmar																		
<b>CONTROL DE AVANCE FISICO FINANCIERO</b> CARTA DE CONTROL (F.O. - TIEMPO)		<b>CONTROL PRESUPUESTAL (COSTO OPERATIVO)</b>																			
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Presupuesto Base</td> <td>\$</td> <td>287,384.19</td> </tr> <tr> <td>Presupuesto proyectado con cambios autorizados por el cliente</td> <td>\$</td> <td>340,219.85</td> </tr> <tr> <td>Costos Ejecutados</td> <td>\$</td> <td>284,687.60</td> </tr> <tr> <td>Costos por Ejecutar</td> <td>\$</td> <td>16,249.12</td> </tr> <tr> <td>Cambios Absorbidos por error u omision</td> <td>\$</td> <td>60.00</td> </tr> <tr> <td>AVANCE</td> <td>\$</td> <td>284,687.60</td> </tr> </tbody> </table>		Presupuesto Base	\$	287,384.19	Presupuesto proyectado con cambios autorizados por el cliente	\$	340,219.85	Costos Ejecutados	\$	284,687.60	Costos por Ejecutar	\$	16,249.12	Cambios Absorbidos por error u omision	\$	60.00	AVANCE	\$	284,687.60
Presupuesto Base	\$	287,384.19																			
Presupuesto proyectado con cambios autorizados por el cliente	\$	340,219.85																			
Costos Ejecutados	\$	284,687.60																			
Costos por Ejecutar	\$	16,249.12																			
Cambios Absorbidos por error u omision	\$	60.00																			
AVANCE	\$	284,687.60																			
<b>Reporte de Valor Ganado</b>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Programa de obra a precio de venta</td> <td>401271.8829</td> </tr> <tr> <td>Avance de obra a precio de venta</td> <td>404947.2829</td> </tr> <tr> <td>Avance de obra a precio operacional</td> <td>284687.6</td> </tr> </tbody> </table>		Programa de obra a precio de venta	401271.8829	Avance de obra a precio de venta	404947.2829	Avance de obra a precio operacional	284687.6												
Programa de obra a precio de venta	401271.8829																				
Avance de obra a precio de venta	404947.2829																				
Avance de obra a precio operacional	284687.6																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DE CAMBIO</th> <th>No. BITACORA</th> <th>CONCEPTO</th> <th>CAUSA</th> <th>ADITIVA</th> <th>DEDUCTIVA</th> <th>COSTO DE OBRA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PRECIO EXTRAORDINARIO</td> <td>145</td> <td>READECUACION DE TARJA</td> <td>CAMBIO DE UBICACION</td> <td>\$ 25,120.00</td> <td>\$ -</td> <td>\$ 20,096.00</td> </tr> </tbody> </table>				TIPO DE CAMBIO	No. BITACORA	CONCEPTO	CAUSA	ADITIVA	DEDUCTIVA	COSTO DE OBRA	PRECIO EXTRAORDINARIO	145	READECUACION DE TARJA	CAMBIO DE UBICACION	\$ 25,120.00	\$ -	\$ 20,096.00				
TIPO DE CAMBIO	No. BITACORA	CONCEPTO	CAUSA	ADITIVA	DEDUCTIVA	COSTO DE OBRA															
PRECIO EXTRAORDINARIO	145	READECUACION DE TARJA	CAMBIO DE UBICACION	\$ 25,120.00	\$ -	\$ 20,096.00															
<b>Reporte de Calidad</b> 1. Verificar que el lugar de los trabajos se encuentre limpio y escombrado 2. Verificar el proceso constructivo		<b>Riesgos de Calidad</b> 1. Si el proveedor no envia certificado de calidad no se podrá ingresar la estimación correspondiente																			
<b>Acciones Correctivas</b> 1. Poner especial atencion a los ultimos detalles para fincar el pedido del mobiliario 2. Seguimiento estrecho al pedido del equipo de sistemas		<b>Acciones Correctivas</b>																			
<b>Areas de Oportunidad</b> 1. Prever préstamo de cierto equipo por parte del proveedor en caso de problemas con tiempos de entrega. 2. Realizar juntas con proveedores para mantener limpia la obra.		<b>Areas de Oportunidad</b>																			
<b>Fechas Clave</b> Termino de Acabados: jul-26 Termino de Construcción: ago-16 Inauguración: ago-31		<b>Lecciones Aprendidas</b> Establecer modelo de costos con el arquitecto para que diseñe apegado a presupuesto y evitar retrabajos																			
<b>Suministros Clave</b> Equipo Electrico ✓ Luminarias ✓ Equipo Hidraulico ✓		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Critico</th> <th>Entregado</th> <th>Contratado</th> <th>Ordenado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Commutador</td> <td>Paquete de Arquitectura</td> <td>Paquete Electro Mecánico</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Servidor</td> <td>Paquete de Obra Civil</td> <td>Paquete de Mobiliario</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mobiliario</td> <td>Paquete de Acabados</td> <td>Paquete de Sistemas</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Critico	Entregado	Contratado	Ordenado	Commutador	Paquete de Arquitectura	Paquete Electro Mecánico		Servidor	Paquete de Obra Civil	Paquete de Mobiliario		Mobiliario	Paquete de Acabados	Paquete de Sistemas			
Critico	Entregado	Contratado	Ordenado																		
Commutador	Paquete de Arquitectura	Paquete Electro Mecánico																			
Servidor	Paquete de Obra Civil	Paquete de Mobiliario																			
Mobiliario	Paquete de Acabados	Paquete de Sistemas																			
<b>Reporte Fotografico</b>		<b>Reporte Fotografico</b>																			

## CONVOCAN:

12 al 15 de mayo

# Olimpiada ANEIC



### ACADÉMICAS

- Matemáticas
- Física
- Química
- Mecánica de Materiales
- Mecánica de Suelos
- Hidráulica
- Hidrología
- Análisis Estructural
- Cimentaciones
- Diseño Estructural
- Obras Hidráulicas
- Transporte
- Vías Terrestres
- Construcción
- Sanitaria y Ambiental
- Planeación
- Administración de la Construcción
- Topografía
- Puente de Palitos de madera
- Cilindros de concreto

## CONCURSOS:

### CULTURALES

- Declamación
- Oratoria
- Canto Individual
- Grupos Musicales
- Baile de parejas
- Dibujo Artístico
- Fotografía
- Cuento
- Señorita ANEIC

### DEPORTIVAS\*

- Basquetbol (varonil y femenil)
  - Voleibol (varonil y femenil)
  - Atletismo (varonil y femenil)
    - a) 100 m planos
    - b) 400 m planos
    - c) 1500 m planos
    - d) 5000 m planos
    - e) Relevos 4 x 100
- Natación (varonil y femenil)
  - a) 100 m dorso
  - b) 100 m pecho
  - c) 100 m libres
  - d) 100 m mariposa
- Ping-Pong (varonil y femenil)
  - Ajedrez (mixto)
    - Taekwondo
      - a) Fly
      - b) Feather
      - c) Heavy

\*Nota:

Dando el primer pago de carnet no hay reembolso  
Las fechas definidas de los pagos será impostergable  
El transporte para los participantes en competencias deportivas, estará sujeto a la facilidad de los apoyos correspondientes

### CONTACTO:

**Paola Nikool Burguete Martínez**  
nikoolbm@gmail.com  
Facebook: Nikool Bm

**Susana Magdalena Pérez Guzmán**  
madeleina\_1311@hotmail.com  
Facebook: Susana Magdalena Pérez Guzmán

**Rosalinda Motte González**  
rose\_glez@hotmail.com  
Facebook: Rosalinda Gonzalez

**Paola Zambrano**  
paola.dz.pz@gmail.com  
Facebook: Paola Zambrano

**Carlos Bustos Mota**  
ing.carlosbustos@yahoo.com.mx  
Facebook: ingcarlosbustos

Mayores Informes:  
[www.ingeniobuap.com](http://www.ingeniobuap.com)  
[buap.aneic@gmail.com](mailto:buap.aneic@gmail.com)





# Diseño sísmico basado en confiabilidad usando el concepto de capacidad de deformación equivalente

Juan Antonio Cruz Maliachi, Eduardo Ismael Hernández,  
José Joaquín Daniel Lozano Mercado

## RESUMEN

En este trabajo se empleará un indicador de la capacidad de deformación equivalente (CDE) para establecer criterios prácticos de diseño sísmico basados en confiabilidad. El objetivo fundamental de esta investigación es implementar un procedimiento, así como criterios prácticos, que conduzcan a niveles preestablecidos de confiabilidad de edificios regulares. Se toma al periodo de vibrar de los sistemas como uno de los parámetros de control. Para ilustrar el procedimiento se analizan dos edificios de mediana altura de concreto reforzado, localizados en la zona de lago de la ciudad de México.

**Palabras clave:** Confiabilidad, Diseño sísmico, Análisis no lineal.

## ABSTRACT

In this paper a measure of equivalent deformation capacity (EDC) is used to establish practical seismic design criteria based on reliability. The main objective of this research is to implement a procedure as well as practical criteria, leading to pre-established levels of reliability on regular buildings. The structural vibrating period of the systems is taken as one of the control parameters. To illustrate the procedure, two mid-rise buildings of reinforced concrete, located in the lake area of Mexico City are analyzed.

**Keywords:** Reliability, Design seismic, nonlinear analysis.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004 (RCDF-2004) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-Sismo

Recibido 7 de Diciembre, 2015; aceptado 3 de Febrero, 2016

Juan Antonio CRUZ MALIACHI  
Egresado de Maestría, Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Correo electrónico: maliachi\_7@hotmail.com

Eduardo Ismael HERNÁNDEZ  
Profesor e Investigador, Decanato de Ingenierías, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla  
Correo electrónico: eduardo.ismael@upaep.mx

José Joaquín Daniel LOZANO MERCADO  
Profesor, Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Correo electrónico: jjdlozano51@hotmail.com

2004), al igual que la mayoría de los códigos de diseño en el mundo, no especifica valores explícitos del nivel de confiabilidad que se obtiene al diseñar una estructura con dichos criterios. Por lo que las estructuras, de distintos tipos, diseñadas y construidas hasta la fecha con dichos criterios normativos presentan tasas anuales de falla que no son conocidas.

Por otro lado, para poder establecer criterios prácticos de diseño que contengan en forma explícita tales niveles de confiabilidad, se deben tomar en cuenta las diferentes fuentes de incertidumbre inherentes en el problema. Una de ellas está asociada con la estimación de la respuesta sísmica de las estructuras sujetas a la acción sísmica, que a su vez se considera como aleatoria. Lo anterior implica considerar una dependencia entre la capacidad de deformación y la demanda sísmica de los sistemas a diseñar, pues al existir una disminución de la rigidez y de la resistencia de la estructura, también exis-

te una variación en la respuesta que la excitación sísmica le demanda a la misma. Esto implica que entre mayor sea el daño de la estructura menor será la intensidad sísmica necesaria para sobrepasar una cierta condición de desempeño.

En este trabajo se emplea un criterio basado en la capacidad de deformación equivalente (CDE) para lograr, dentro del proceso de diseño, un nivel deseado de confiabilidad de una familia de estructuras de concreto reforzado. La capacidad de deformación equivalente es una de las variables que nos brinda la posibilidad de realizar el análisis de confiabilidad en forma paramétrica, ya que puede ser útil para describir el comportamiento estructural ante diversas intensidades sísmicas, y con ello poder contar con indicadores que pueden ser utilizados como ayuda en el establecimiento de criterios prácticos de diseño sísmico.

En el análisis de confiabilidad se usa el criterio propuesto por (Ismael, 2010), donde se pueden evaluar funciones de confiabilidad de una manera eficiente, ya que se toma a la intensidad sísmica que provoca la falla como variable aleatoria para describir las respectivas funciones de probabilidades. De esta manera se opta por definir la condición de falla por colapso en términos de un índice de reducción de la rigidez secante del sistema definido como:  $I_{RSS} = (K_0 - K_{sec}) / K_0$ , en donde  $K_0$  es la rigidez lateral inicial del sistema y  $K_{sec}$  es el valor de la rigidez secante correspondiente en el instante en que se presenta la máxima amplitud de la distorsión lateral. La condición de falla corresponde a  $I_{RSS} = 1.0$ .

El procedimiento mencionado se aplica para el análisis de dos estructuras regulares de concreto reforzado de ocho niveles, una de ellas incluye marcos rígidos y la otra combina marcos rígidos con muros estructurales. Las estructuras se consideran desplantadas en la zona de lago de la ciudad de México.

## 2 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE INTERÉS

El objetivo del análisis de confiabilidad estructural es determinar la probabilidad de falla de estructuras tomando en consideración las incertidumbres asociadas con las resistencias y cargas. La respuesta de una estructura se evalúa por medio de modelos basados en datos estadísticos recopilados previamente. La teoría de confiabilidad estructural toma como base el modelo probabilístico de estas incertidumbres y

provee los métodos para la cuantificación de la probabilidad de que las estructuras no cumplan con la función para la que fueron diseñadas.

### 2.1 Estimación de la respuesta no lineal

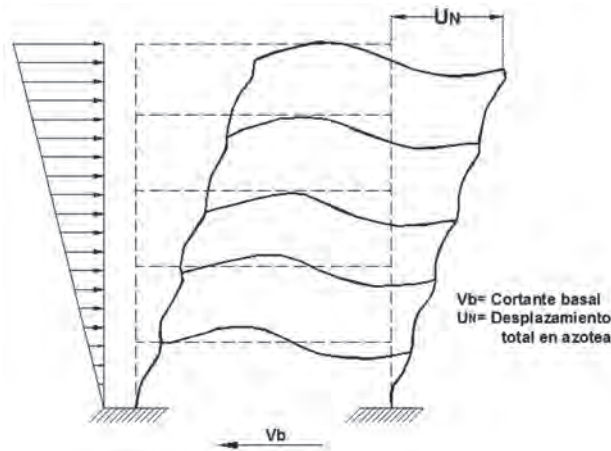
Atendiendo al tipo de respuesta esperada en un sistema estructural, sujeto a cargas externas, los métodos de análisis se clasifican en lineales y no lineales. Cuando la deformación de un cuerpo sometido a cargas externas es muy pequeña, y la relación entre los esfuerzos y las deformaciones es linealmente elástica, las cargas y los desplazamientos del cuerpo mantienen en todo momento una relación lineal. Cuando alguno de los supuestos anteriores no se cumple, las cargas y los desplazamientos seguirán una relación no lineal. En este trabajo se estima la respuesta no lineal de los sistemas utilizando dos métodos ampliamente reconocidos en la literatura, uno de ellos se denomina análisis de empuje lateral pseudo-estático o *pushover* y el análisis dinámico no lineal paso a paso. En las siguientes secciones se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

#### 2.1.1 Análisis de empuje lateral pseudo-estático (ELSE) o pushover

Un análisis pushover es un método eficiente para obtener el comportamiento de la estructura bajo patrones de cargas laterales que se incrementan de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima de deformación. Aplicando este análisis se obtiene una curva de capacidad, en la cual es posible identificar bajo que cargas la estructura cambia de un comportamiento elástico a un comportamiento inelástico, así como su rigidez, resistencia máxima y ductilidad.

Las fuerzas laterales que actúan en la estructura pueden ser constantes, lineales, parabólica, o en función de sus formas modales. En este trabajo el análisis ELSE se consideró un patrón de carga lateral con distribución triangular. Esta distribución de cargas corresponde aproximadamente al primer modo fundamental de vibración (figura 1).

El comportamiento no lineal de las estructuras es tan importante que indispensablemente debe tomarse en cuenta por las siguientes razones: i) la estructura debe comportarse sin experimentar daños ante niveles de intensidad sísmica pequeña o moderada, que pueden ocurrir durante su vida útil, y ii) la estructura no debe sufrir el colapso ante niveles de intensidades sísmicas importantes y que tienen periodos de recurrencia muy grandes.



**Figura 1.** Esquema del análisis de empuje lateral pseudo-estático, (adaptada de Alcántara, 2008).

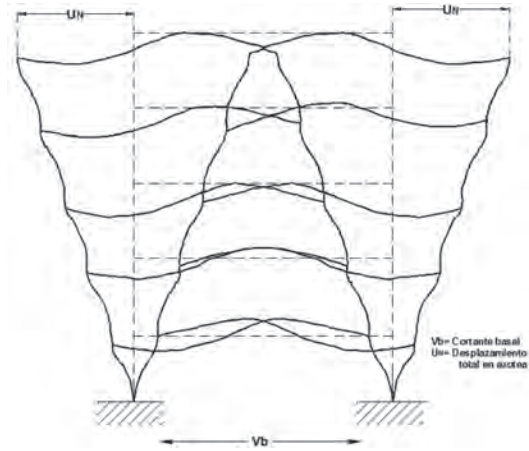
### 2.1.2 Análisis no lineal paso a paso

Para un análisis dinámico no lineal, la estructura debe ser sometida a excitaciones sísmicas altas, para ello es necesario formular modelos matemáticos que contemplen las características histeréticas del material y la degradación de las propiedades mecánicas.

El análisis paso a paso se realiza mediante una modelación matemática similar al análisis *pushover*. La diferencia principal radica en que la acción sísmica se modela con historias en el tiempo del movimiento del terreno (acelerogramas reales o simulados). Este tipo de análisis es un cálculo sofisticado para estimar las fuerzas y los desplazamientos máximos de una estructura cuando se ve sometida a una excitación sísmica.

Como consecuencia de la acción del sismo en la base de una estructura, esta oscila alternadamente alrededor de su eje de equilibrio estático, con desplazamientos máximos en la azotea y fuerzas cortantes en la base que varían dependiendo de las aceleraciones en el terreno, (Díaz Alcántara, 2008). En este trabajo el análisis dinámico no-lineal se realizó con la ayuda del programa de cómputo DRAIN-2D, que incorpora el modelo de degradación de elementos de Campos y Esteva y el modelo de Mander (1988), y donde se pueden aplicar historias de aceleraciones en el terreno.

Cabe mencionar que en esta etapa se pueden introducir las incertidumbres asociadas con las propiedades mecánicas y las cargas gravitacionales. Para tal fin, en este estudio se tomó en cuenta dichas incertidumbres según los criterios propuestos por Alamilla (2001).



**Figura 2.** Esquema del análisis dinámico no lineal paso a paso, (Adaptada de Alcántara, 2008).

### 2.2 Uso del índice de Reducción de Rigidez Secante (IRRS) para estimar el nivel de confiabilidad

La capacidad de deformación que tiene una estructura está asociada con el estado límite último, donde las estructuras pueden absorber grandes deformaciones dentro del intervalo no lineal. Para incluir cada uno de los factores que afectan la estimación de las deformaciones máximas, y con ello la confiabilidad, en este trabajo se propone utilizar un índice de reducción de rigidez secante ( $I_{RSS}$ ) para la estimación de la probabilidad de falla, (Ismael, 2010).

$$I_{RSS} = \frac{K_0 - K_{sec}}{K_0} \quad (1)$$

Los parámetros de la ecuación 1 ya fueron definidos antes.

### 2.3 Estimación de las funciones de confiabilidad en términos del índice $\beta$ y de una medida de la intensidad sísmica normalizada

El criterio utiliza el  $I_{RSS}$  y para valores de este índice menores que 1.0 se considera una condición de supervivencia del sistema estructural; para valores del  $I_{RSS} = 1.0$ , se considera la condición de colapso. Ahora bien, se puede definir a la variable  $Z_F = \ln Y_F$ , donde  $Y_F$  es el valor mínimo de la intensidad sísmica que produce la condición de colapso. Si  $Y_F$  es una variable aleatoria, se pueden establecer la función de densidad de probabilidades, la función de distribución acumulada y sus momentos estadísticos.

De esta manera se puede hacer una definición del índice de confiabilidad de acuerdo con lo propuesto en Esteva y Díaz (2006); dicha definición es la siguiente:



$$\beta(y) = \frac{(E[Z_F] - \ln y)}{\sigma[Z_F]} \quad (2)$$

En este trabajo se proponen las siguientes funciones para la media  $E[Z]$  y la varianza  $var[Z]$  de  $Z$ , respectivamente:

$$E[Z] = a + b(1-u) + c(1-u) \quad (3)$$

$$va [Z] = a_1 + b_1 \quad (4)$$

Donde:

$$b \leq 0, \quad c \leq 0, \quad b_1 \geq 0$$

### 2.1.2 Intensidad sísmica normalizada

Para fines de establecer funciones de confiabilidad aplicadas a los criterios prácticos para diseño, es conveniente expresar la confiabilidad sísmica como función de un indicador de la intensidad normalizada con respecto a la capacidad del sistema, (Ismael, 2010). De esta manera en este trabajo se usa una medida definida como:

$$\eta = \frac{S_{dl}(T)}{U_F} \quad (5)$$

Donde  $U_F$  es la capacidad de deformación que se presenta en el instante del colapso, determinada a partir del análisis de empuje lateral *pushover* y  $S_{dl}(T)$  es la ordenada lineal del espectro de respuestas de desplazamientos para un porcentaje de amortiguamiento del 5% de su valor crítico.

## 3 MODELO PROBABILISTA DE LA CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN EQUIVALENTE

El modelo probabilista que se usó en este trabajo fue propuesto por Ismael-Hernández (2010). Dadas las funciones de confiabilidad, que describe el valor del índice de confiabilidad de Cornell, en términos de diferentes medidas de intensidad. Se puede establecer la forma funcional que las describe, así se tiene:

$$\beta(\eta_0) = a - b \ln(\eta_0) \quad (6)$$

Donde  $\eta_0$  es una medida de la intensidad sísmica normalizada definida en forma similar a  $\eta$ ;  $a$  y  $b$  son parámetros obtenidos por un ajuste de mínimos cuadrados. Por otro lado, si se toma en cuenta la definición de  $\beta$ , se puede escribir lo siguiente:

$$a - b \ln(\eta_0) = \frac{\ln \hat{\eta}_{OF} - \ln \eta_0}{\sigma(\ln \eta_{OF})} \quad (7)$$

Donde:

$\hat{\eta}_{OF}$  Es la mediana de su función de densidad de probabilidades

$\eta_{OF}$  Es una cantidad que está relacionada con la capacidad de deformación (aleatoria) equivalente del sistema

$\sigma(\ln \eta_{OF})$  Es la dispersión de su logaritmo

$U_{FE}$  Capacidad de deformación equivalente

Los parámetros de  $a$  y  $b$  son determinados de la ecuación 7. Cuando la intensidad sísmica normalizada es igual a la unidad se puede establecer que  $\ln \eta_0 = 0$ , así:

$$a = \frac{\ln \hat{\eta}_{OF}}{\sigma(\ln \eta_{OF})} \quad (8)$$

$$b = \frac{1}{\sigma(\ln \eta_{OF})} \quad (9)$$

De la gráfica de la función de confiabilidad que describe el comportamiento de la confiabilidad con respecto a una intensidad sísmica normalizada, representada por la ecuación 2, podemos determinar dos parejas de valores  $(\beta_1, \eta_{01})$  y  $(\beta_2, \eta_{02})$ , para conocer los parámetros de  $a$  y  $b$  que corresponden a una función dada. Por lo tanto, para un valor conocido de  $\beta_1 = 0$ , los parámetros de  $a$  y  $b$  pueden escribirse como:

$$a = b \ln(\eta_{01}) \quad (10)$$

$$b = \frac{\beta_2}{\ln(\eta_{01}) - \ln(\eta_{02})} \quad (11)$$

Los valores para los parámetros de la distribución de probabilidades de  $\eta_{OF}$  se pueden obtener combinando la ecuación 8 y 10 para determinar  $\hat{\eta}_{OF}$ , y combinando la ecuación 9 y 11 para determinar  $\sigma(\ln \eta_{OF})$ .

$$\ln \hat{\eta}_{OF} = \ln(\eta_{01}) \quad (12)$$

$$\sigma(\ln \eta_{OF}) = \frac{\ln(\eta_{01}) - \ln(\eta_{02})}{\beta_2} \quad (13)$$

Una vez que se resuelven los valores de las ecuaciones anteriores, la determinación del índice de confiabilidad  $\beta(y)$  para una intensidad igual a es inmediata si se aplica la definición del margen de seguridad,  $Z = \ln(\eta_{OF}) - \ln(\eta_0(y))$ . El índice  $\beta(y)$ , en términos de la intensidad se determina con la siguiente ecuación.

$$\beta(y) = \frac{\ln \hat{\eta}_{OF} - \ln(\eta_0(y))}{\sigma(\ln \eta_{OF})} \quad (14)$$

Lo anterior muestra la influencia que tiene el valor que se adopte como capacidad de deformación en la estimación de las funciones de confiabilidad. El criterio que se consideró es el siguiente: para los sistemas con muros se consideró que la capacidad de deformación global corresponde al desplazamiento que se genera en el mismo instante en que el muro falla en su base; para el sistema sin muros se consideró el valor del desplazamiento asociado al 80% del valor del cortante máximo, (Ismael, 2010).

## 4 IMPLEMENTACIÓN Y CASOS DE ESTUDIO

### 4.1 Descripción de los sistemas estructurales

Para llevar a cabo esta investigación, se consideró la modelación de dos edificios de concreto reforzado de ocho niveles. La planta de cada edificio es regular y consta de tres crujeías en ambas direcciones. En el sistema estructural de los edificios se consideró uno estructurado a base de marcos rígidos, y el otro a base de marcos rígidos acoplados a muros de concreto reforzado, tal y como se presenta en la figura 3. En la figura 4 se muestran los alzados de los marcos planos idealizados para su análisis.

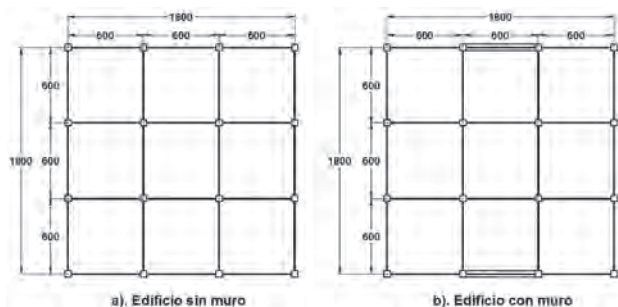


Figura 3. Planta de los modelos idealizados (acotaciones en centímetros).

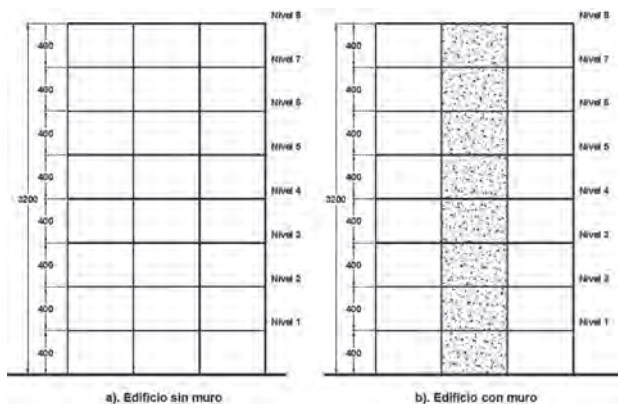


Figura 4. Alzados de los marcos planos usados para el análisis (acotaciones en centímetros).

Las estructuras fueron analizadas y diseñadas de manera preliminar haciendo uso del programa de cómputo, (ETABS, 2013) y considerando los criterios para diseño del RCDF (2004). Para ambas estructuras se utilizó un factor de comportamiento sísmico  $Q=3$ .

En el diseño preliminar se obtuvieron los porcentajes de acero de cada uno de los elementos estructurales. Para efectos del sismo se consideró el espectro de diseño correspondiente a la Zona IIIb de la zona de Lago de la Ciudad de México.

Con los resultados obtenidos del diseño se desarrolló un modelo matemático usando el programa de cómputo DRAIN 2D (Powel, 1973). En el proceso de modelado se consideraron las propiedades de diseño para efectuar un análisis no lineal, y para ello se procedió a realizar la simulación de las propiedades mecánicas y cargas gravitacionales de los sistemas con la ayuda del software SIMESTRU. EXE, que es una versión modificada del programa simestru.exe (Alamilla, 2001). Para realizar la modelación se consideraron las incertidumbres, tanto en las propiedades mecánicas como en las cargas gravitacionales, identificando aquellas variables del modelo cuyo comportamiento aleatorio determinó el comportamiento global del sistema. Para este caso de estudio se realizaron 80 simulaciones por cada uno de los edificios.

### 4.2 Resultados del Análisis ELSE O PUSHOVER

Como resultado del análisis se obtuvo la curva de capacidad *pushover* que relaciona el desplazamiento en la azotea con el cortante lateral en la base. En la figura 5 se aprecia la contribución que tienen los muros estructurales a la capacidad resistente y a la rigidez inicial en comparación con la estructura a base de marcos rígidos.

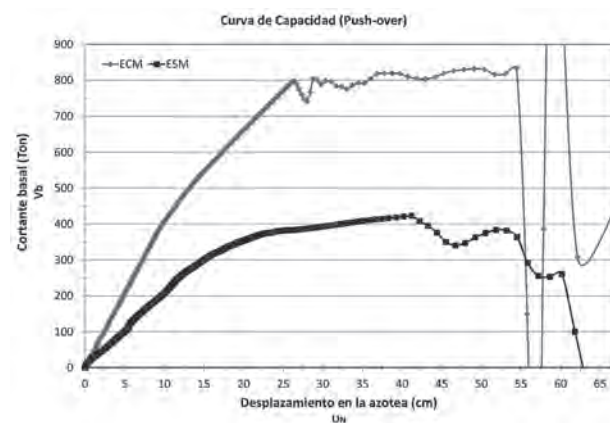


Figura 5. Curvas de capacidad obtenidas del análisis ELSE.

De la figura 5 se obtiene el cortante de fluencia, el cortante máximo que provoca la falla y sus desplazamientos correspondientes para ambos modelos. Ver tabla 1.

**Tabla 1.** Valores de ajuste obtenidos de las curvas pushover.

Caso	Vy Ton	$\delta y$ cm	Vmáx Ton	$\delta m\acute{a}x$ cm
Edificio sin muro	320	17	425	55.80
Edificio con muro	700	20	840	54.46

**4.3 Resultados del Análisis DINÁMICO no lineal paso a paso**

Para realizar un análisis dinámico no lineal, es necesario someter a las estructuras a un sismo intenso que las lleve a un comportamiento cercano al colapso. Consecuentemente se requieren de registros completos de sismos que posean características similares a sismos intensos que hayan registrado en el sitio de estudio el comportamiento de la estructura.

Se consideraron 80 sismos sintéticos que se determinaron a partir de historias de aceleración de sismos ocurridos en diferentes fuentes sísmicas. Para ello se uso el procedimiento propuesto por Ismael y Esteva (2006), donde es posible generar muestras de acelerogramas simulados a partir de un criterio híbrido de simulación. Los acelerogramas sintéticos fueron amplificados usando factores de escala, esto fue necesario para lograr intensidades que permitieran generar comportamiento no lineal y hacer que las estructuras presentarán degradación de sus propiedades.

Del análisis paso a paso se grafican los resultados y se obtuvieron las curvas de histéresis corres-

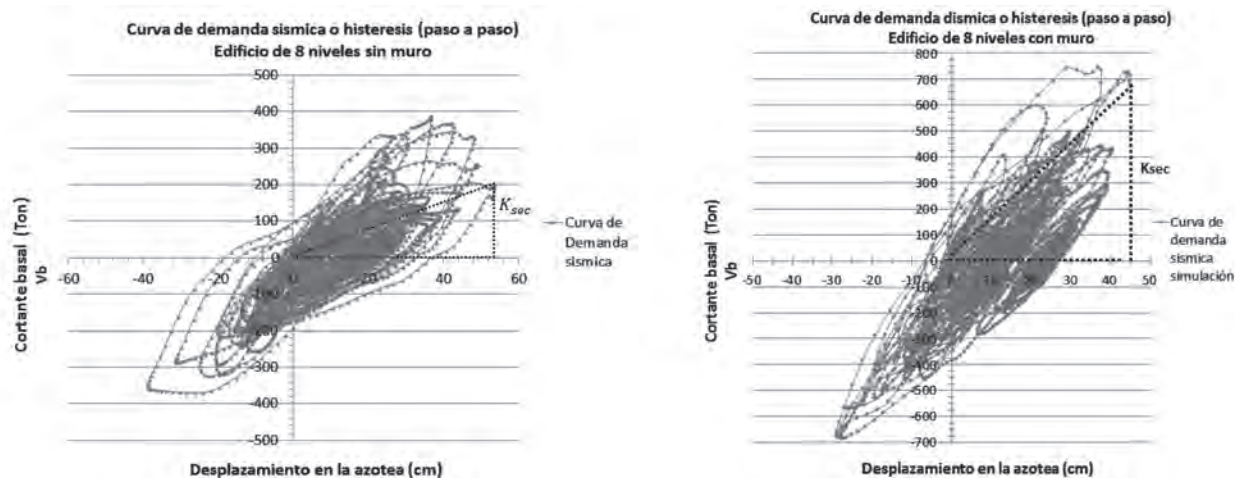
pondientes (ver figura 6), donde se puede apreciar la degradación de la rigidez, la deformación máxima y la resistencia que experimenta el edificio conforme transcurre el tiempo y la acción del sismo.

Se calculó la rigidez en diferentes puntos del rango elástico y plástico; logrando observar cómo se degrada con respecto a la acción sísmica. También se determinó la rigidez secante  $K_{sec}$ , que es el cociente del desplazamiento máximo absoluto entre su cortante basal correspondiente.

**4.4 Funciones de confiabilidad utilizando el  $I_{RSS}$  para SMGL**

Debido a que los valores de  $u = I_{RSS}$ , de la muestra utilizada para estimar las funciones que describen los dos primeros momentos estadísticos de la variable aleatoria Z (figuras 7, 8, 10 y 11), resultaron menores que la unidad, fue posible utilizar el criterio de mínimos cuadrados para estimar los valores de los parámetros estadísticos. En las figuras 9 y 12 se muestran las funciones de confiabilidad (Índice de confiabilidad  $\beta$  en términos de la intensidad sísmica normalizada  $\eta$ ) para las dos estructuras analizadas. Dichas funciones se obtuvieron aplicando las ecuaciones 2 y 5.

Para estimar las funciones de confiabilidad se utilizó el criterio donde se toma a la intensidad de falla como variable aleatoria para describir las respectivas funciones de probabilidades, en la figura 9 y 12 se muestran las funciones de confiabilidad, en términos de la intensidad normalizada  $\eta$ , definida por el índice de seguridad  $\beta(\eta)$  para cada modelo realizado, (Cornell, 1969). Por lo tanto, para una mayor intensidad sísmica, menor es el índice de confiabilidad del sistema estructural.



**Figura 6.** Curvas de histéresis del edificio de ocho niveles; en la parte izquierda se muestra un ejemplo del edificio sin muros; y en la derecha uno con muros.



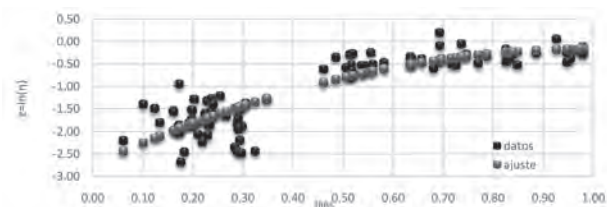


Figura 7. Gráfico para determinar la esperanza de Z para el edificio sin muros.

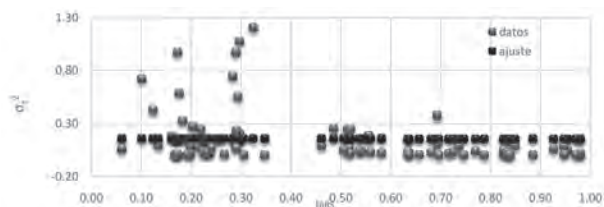


Figura 8. Gráfico para determinar la varianza de Z para el edificio sin muros.

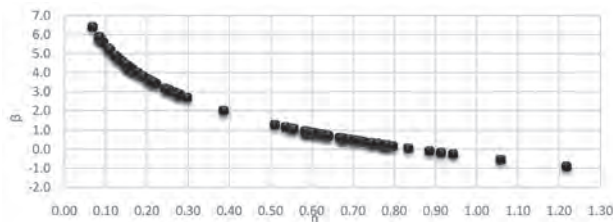


Figura 9. Funciones de confiabilidad, en términos de  $\eta$ , estimadas usando el IRRS para análisis de respuesta con SMGDL y el concepto de intensidad de falla.

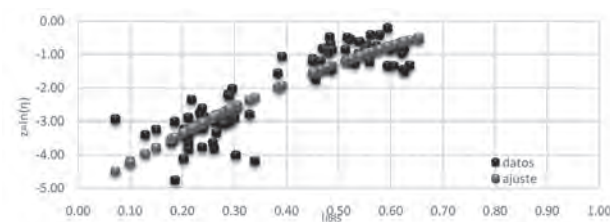


Figura 10. Gráfico para determinar la esperanza de Z para el edificio con muros.

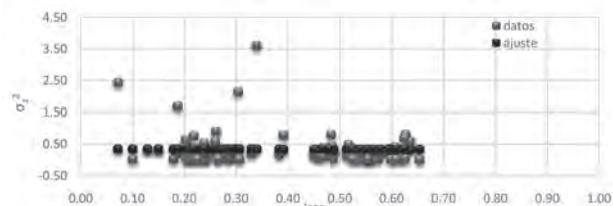


Figura 11. Gráfico para determinar la varianza de Z para el edificio con muros.

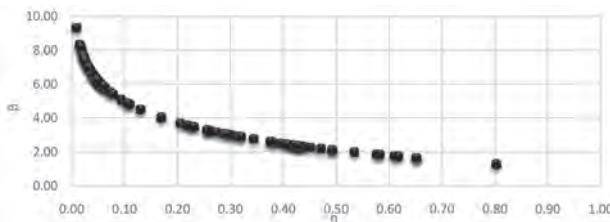


Figura 12. Funciones de confiabilidad, en términos de  $\eta$ , estimadas usando el IRRS para análisis de respuesta con SMGDL y el concepto de intensidad de falla.

Tabla 2. Parámetros estadísticos de la CDE obtenidos con el criterio de  $I_{RRS}$ .

Caso	$\beta_1$	$\beta_2$	$\eta_{01}$	$\eta_{02}$	$\ln \eta_{01}$	$\ln \eta_{02}$	a	b	$\ln \hat{\eta}_{OF}$	$\sigma(\ln \eta_{OF})$
8NSM	0.000	5.150	0.840	0.110	-0.174	-2.207	-0.442	2.533	-0.174	0.395
8NCM	0.000	5.046	1.000	0.093	0.000	-2.372	0.000	2.128	0.000	0.470

#### 4.5 Criterios prácticos para diseño considerando el concepto de CDE

De la figura 9 (para edificios sin muro) y la figura 12 (para edificios con muro), para un valor de  $\beta$  dado, le corresponde un valor de intensidad sísmica normalizada  $\eta$ , y se determinan los valores de las formulas de la ecuación 10 a la ecuación 14. En la tabla 2 se presentan los valores que resultan para los parámetros mencionados.

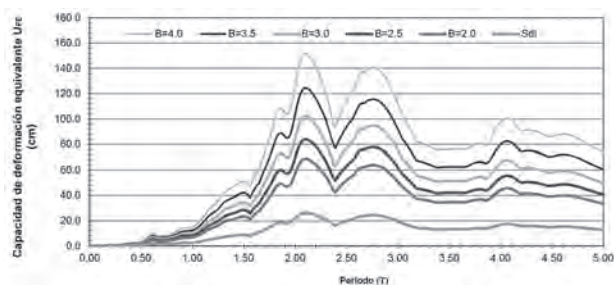
Se observa que los parámetros estadísticos que describen a la ecuación 14, se relacionan con la medida de intensidad normalizada y pueden ser función de la capacidad de deformación equivalente (CDE).

Tomando en cuenta la ecuación 14 así como la definición de  $\eta_o(y) = S_{dl}(T) / U_F$  se puede escribir la siguiente expresión que permite determinar el valor de la capacidad de deformación equivalente:

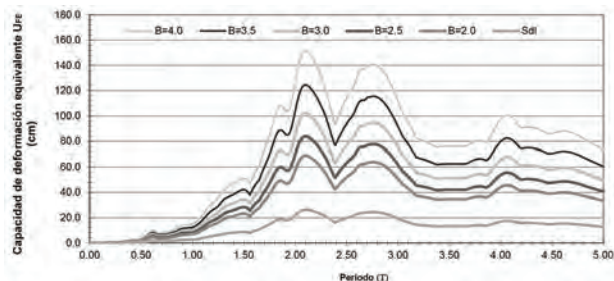
$$U_{FE} = \exp \{ \beta \cdot \sigma(\ln \eta_{OF}) - [\ln \hat{\eta}_{OF} - \ln(S_{dl}(T))] \} \quad (15)$$

Sin embargo, para fines de diseño en la práctica puede convenir establecer metas de confiabilidad con referencia a un movimiento sísmico con intensidad correspondiente a un periodo de recurrencia especificado. Por otro lado, en el proceso de diseño se debe cumplir con los niveles de resistencia necesarios que permitan lograr el nivel de confiabilidad especificado, (Ismael, 2010).

Para lo anterior se analizaron diferentes estructuras con periodos desde 0.01s hasta 5.0s con intervalos de 0.01, considerando el mismo espectro de pseudo-aceleración, para diferentes valores del índice de confiabilidad de 2.0 a 4.0 con intervalos de 0.5. Los resultados se muestran en las figuras 13 y 14.



**Figura 13.** Capacidad de deformación equivalentes para diferentes valores de  $\beta$ , para una familia de edificios sin muros.



**Figura 14.** Capacidad de deformación equivalentes para diferentes valores de  $\beta$ , para una familia de edificios con muros.

También se determinaron los valores de la intensidad sísmica normalizada para diferentes valores de índice de confiabilidad preestablecidos. Los resultados se muestran en la tabla 3. De la cual se observa, en general, que para valores mayores del índice de beta se requieren valores pequeños de la intensidad sísmica normalizada como es de esperarse.

**Tabla 3.** Intensidad sísmica normalizada para diferentes índices de confiabilidad.

Caso	$\beta=4.0$	$\beta=3.5$	$\beta=3.0$	$\beta=2.5$	$\beta=2.0$
8NSM	0.173	0.211	0.257	0.313	0.381
8NCM	0.153	0.193	0.244	0.309	0.391

La ecuación 16 puede utilizarse para determinar el valor de la intensidad sísmica normalizada para el valor dado del nivel de confiabilidad,  $\eta_\beta$ , de tal manera que se pueda escribir:

$$\eta_\beta = \frac{S_{dl}(T)}{U_{FE}} \quad (16)$$

El uso que tiene el criterio presentado en este trabajo, resumido y presentado en las gráficas mostradas en las figuras 13 y 14 es como se describe a continuación.

Supongamos que deseamos diseñar otra estructura que pertenece a la misma familia (edificios de ocho

niveles desplantada en la zona de lago de la ciudad de México), de un diseño preliminar resulta el valor del periodo fundamental, ahora podemos establecer un nivel de confiabilidad deseado. Con estos dos datos (periodo estructural e índice de confiabilidad deseado) se entra a la curva correspondiente y se establece el valor de la capacidad de deformación equivalente. Este valor servirá para comparar mediante un método de análisis (lineal o no lineal) las respuestas sísmicas para no exceder el valor de la CDE. Lo anterior implicará realizar un procedimiento iterativo que nos lleve a establecer las propiedades de rigidez, resistencia y ductilidad para mantener el valor de confiabilidad deseado.

## 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

El concepto de capacidad de deformación equivalente resultó ser un indicador muy útil para ligar los valores estimados de los parámetros estadísticos que definen los niveles de confiabilidad con los que representan indicadores de diversas propiedades mecánicas de los sistemas en estudio, entre ellos el periodo estructural.

Los criterios desarrollados tienen una aplicación general, por lo pueden emplearse para otros tipos de sistemas estructurales que cumplan con las hipótesis aquí consideradas. Tales criterios se aplicaron a una familia de estructuras con características dadas, por lo que los resultados obtenidos son aplicables a estructuras con características similares.

Se requiere que los criterios desarrollados en este trabajo sean aplicados a otras familias de estructuras, en las que se incluyan muestras más grandes de ellas. Lo anterior permitirá, por un lado, contar con estimaciones de los parámetros estadísticos de la CDE para una gama importante de estructuras; y por el otro, se tendrán estimaciones más razonables de los parámetros que definen los índices de confiabilidad.

El análisis se idealizó en la ciudad de México y que están desplantadas en la zona de lago, por lo que los resultados numéricos no son válidos para otros casos, aunque el planteamiento general sí lo sea.

## REFERENCIAS

- [1] Alamilla, J. L. (2001). *Criterios de diseño sísmico basados en confiabilidad de estructuras aperticadas*. México: División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- [2] Arnal Simón, L., & Betancourt Suárez, M. (2014). *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*. México: Trillas.
- [3] Blume, J., Newmark, N., & Corning, L. (1961). "Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions". Portland Cement Association.
- [4] Campos-Arias, D., & Esteva L. (1997). *Modelo de comportamiento histéretico y de daño para vigas*. Veracruz, Ver. México: XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- [5] Canto Contreras, J. T. (2000). *Análisis de confiabilidad de estructuras de varios grados de libertad*. Puebla, Puebla: Tesis de maestría; UPAEP.
- [6] Cornell, C. A. (1969). "A probability-based structural code". Journal of American Concrete Institute.
- [7] Díaz Alcántara, J. L. (2008). *Criterios de aceptación para el diseño sísmico por desempeño y confiabilidad de edificios de concreto reforzado, con piso suave en planta baja, desplantados en suelos blandos de la ciudad de México*. Tesis de Maestría; Facultad de Ingeniería; UNAM. México D.F.
- [8] ETABS. (2013). Computers and structures. Inc.
- [9] Ismael, E. (2010). *Diseño sísmico basado en desempeño y confiabilidad de sistemas marco-muro*. Mexico: Tesis de doctorado; Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [10] Johnson, R. A. (2011). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. México, D.F.: Pearson.
- [11] *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*. (2004). México.
- [12] Mander, J., Priestley, M., & Park, R. (1988). *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 114(8), pp. 1804-1826.
- [13] Méndez Romero, H. (2011). *Efecto de las deformaciones por cortante en los diagramas momento-curvatura de secciones de concreto reforzado y sus implicaciones en la evaluación y diseño sísmico de estructuras*. Tesis: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [14] Park, R., & Paulay, T. (1983). *Estructuras de concreto reforzado*. México: Limusa.
- [15] Picazo Gama, Y. (2008). *Funciones de Confiabilidad Sísmica en Edificio con Muros de Cortante*. México D.F.: Tesis de maestría; Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [16] Powel, G. H. (1973). "DRAIN-2D user's guide", Reporte No. EERC 73-22, Earthquake Engineering Research Center. Universidad de California, Berkeley.
- [17] Rodríguez, M., & Botero, J. (1996). *Criterios de diseño sísmico de estructuras de concreto reforzado considerando las propiedades mecánicas de aceros de refuerzo producidos en México*. Publicación series del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- [18] Tolentino López, D., Ruiz Gómez, S. E., Torres Pérez-Negrón, M. A., & Montiel Ortega, M. A. (2011). *Confiabilidad de estructuras considerando el daño acumulado en el tiempo*. Revista de Ingeniería Sísmica, 46.
- [19] Vásquez Martínez, A., & Díaz López, O. J. (2011). *Daño en sistemas estructurales de varios niveles*. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Aguascalientes.



# Comunícate con tu Facultad

**Departamento de Difusión y Comunicación  
de la Facultad de Ingeniería**

Edificio EMA2  
Cubículo Dos  
Ciudad Universitaria



**comunicate.fi@gmail.com**



## SERVICIOS QUE OFRECE LABORATORIO INTEGRAL DE FACULTAD DE INGENIERÍA

### MATERIALES DE TERRACERIAS Y PAVIMENTOS

- Calidad de materiales de terracerías y pavimentos
- Determinación del peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima de terracerías y pavimentos
- Determinación del grado de compactación en capas de terracerías y pavimento
- Determinación del peso volumétrico seco del lugar en capas de terracerías y pavimentos
- Determinaciones del desgaste en materiales petreos
- Calidad de materiales asfálticos
- Control de riego de asfálticos
- Calidad de carpeta asfáltica
- Extracción de corazón en carpeta asfáltica
- Determinación del grado de compactación
- Permeabilidad de la carpeta
- Estudio de calidad del material petreo para mezcla asfáltica
- Diseño Marshall en carpeta asfáltica

### CONCRETO HIDRÁULICO

- Muestreo y ensaye de cilindros estándar de concreto hidráulico
- Estudio de calidad de arena y grava para concreto hidráulico
- Diseño de proporcionamiento para concreto hidráulico
- Extracción de núcleos de concreto hidráulico
- Muestreo y ensaye a compresión de testigos de mortero hidráulico
- Ensayes con esclerómetro

### ACEROS

- Muestreo y ensaye de probetas de acero de refuerzo de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , con diámetros 1/4" a 3/4"
- Muestreo y ensaye de alambre de acero
- Muestreo y ensaye de malla electrosoldada de 10 x 10

### MATERIALES DIVERSOS

- Ensaye a compresión y módulo de ruptura de tabique rojo común
- Ensaye de calidad de adoquines de concreto hidráulico
- Muestreo y ensaye a compresión y absorción de adoquines de concreto hidráulico
- Extracción de corazón en roca y ensaye a compresión
- Determinación de la resistencia a compresión y absorción de block

### ENSAYES DE MECÁNICA DE SUELOS

- Obtención de muestras inalteradas
- Obtención de muestras alteradas
- Determinación de peso volumétrico del lugar
- Determinación de las pruebas índice en suelos
- Densidad de sólidos
- Determinación de la compresión simple
- Determinación de prueba triaxial
- Determinación de prueba triaxial, tipo C.U. (Consolidada no drenada)
- Determinación de la consolidación
- Estudios de Mecánica de Suelos (determinación de capacidad de carga y diseño de la cimentación)

### INGENIERÍA AMBIENTAL

- Análisis físico-químico de agua potable y agua residual
- Análisis físico-químico y bacteriológico de agua potable y agua residual
- Análisis físico-químico de agua para concreto hidráulico

## Informes

Laboratorio Integral de la Facultad de Ingeniería  
 Edificio ING-1. Ciudad Universitaria  
 (222) 229 55 00 ext. 7620

# Modelo en Simulink de un generador eólico de imanes permanentes

José Carlos Zepeda Medina, J.A. Yáñez Ramos, J. Flores Méndez, Juan C. Escamilla

## RESUMEN

Se presenta el modelado y simulación de un aerogenerador eólico horizontal de baja potencia con un generador eléctrico de flujo axial de imanes permanentes, realizado en el ambiente Simulink de Matlab. Se realiza un modelo de bloques de cada parte que conforma el sistema los cuales consisten en el modelo estocástico y determinístico del viento, modelo de la turbina de viento y el modelo del generador eléctrico. Por último se presentan los resultados experimentales en torno a la simulación.

**Palabras Clave:** Turbina eólica, generador eléctrico de imanes permanentes, Potencia eléctrica, modelo Simulink.

## ABSTRACT

Modeling and simulation of a horizontal low-power-wind turbine with an electric generator axial flux permanent magnet, made in Matlab Simulink environment is presented. A block model of each part that makes up the system which consist of the stochastic and deterministic wind model, model of wind turbine and electric generator model is made. Finally, experimental results presented around the simulation.

**Keywords:** Wind turbine, Permanent magnet generator, Electric power, Simulink model.

## 1 INTRODUCCIÓN

Esta investigación presenta un simulador de un generador eólico realizado en Simulink con el fin de analizar su funcionamiento en las condiciones más reales posibles, con el objetivo de que los resultados

obtenidos sean los más cercanos al funcionamiento real de un aerogenerador y así implementar una plataforma de simulación fiable para el análisis posterior del funcionamiento de prototipos de generadores eólicos de estas características.

En este trabajo se profundiza sobre la realización de dicha plataforma, dando especial atención en el modelo de viento, modelo aerodinámico de la turbina, modelo del generador eléctrico y la interacción entre ellos formando así un solo modelo completo del aerogenerador, visualizando como afecta los distintos parámetros de cada uno de los modelos al comportamiento global del aerogenerador y a los parámetros de interés en cuanto a la recuperación de energía del sistema.

Cabe mencionar que en el estudio llevado a cabo no se tomó en cuenta la electrónica de potencia ya que al ser un generador de asíncrono de velocidad variable, la energía obtenida será entregada a un banco de baterías.

Recibido 28 de Enero, 2016; aceptado 16 de marzo, 2016

José Carlos ZEPEDA MEDINA, J.A. YÁÑEZ RAMOS  
División de estudios de Posgrado e Investigación – Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla, Pue., CP 72220, México.

J. FLORES MÉNDEZ  
División de estudios de Posgrado e Investigación – Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Instituto Tecnológico de Puebla, Puebla, Pue., CP 72220, México.  
FCE-BUAP - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Apdo. Post. J-39, Puebla, Pue., CP 72570, México.

Juan C. ESCAMILLA  
FI-BUAP - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue., CP 72570, México.

## 2 MODELADO MATEMÁTICO DEL VIENTO

La modelación del viento es vital para obtener una simulación que asemeje en lo posible a la realidad. Para este estudio se considera que la velocidad del viento ( $V(t)$ ), está compuesta por una velocidad media del viento ( $V_0$ ) la cual representa la velocidad promedio en el intervalo de 10 min y la componente de la turbulencia  $VT(t)$ , es decir,  $V(t)=V_0+VT(t)$ . Este periodo de 10 min, fue seleccionado debido a que en 10 minutos se evitan más variaciones cíclicas relacionadas a fenómenos meteorológicos (variaciones diurnas, etc.).

En este periodo de 10 minutos, la parte estocástica y determinística pueden combinarse para expresar la velocidad del viento total en una posición, siendo así,

$$V(x,y,z,t) = U(x,y,z) + g(x,y,z,t)$$

donde  $V(x,y,z,t)$  es la velocidad total del viento en la posición  $(x,y,z)$  en el tiempo  $t$ ,  $U(x,y,z)$  es la velocidad determinística del viento que se asume independiente del tiempo, es decir es una velocidad promedio y  $g(x,y,z,t)$  es la parte estocástica del viento.

La salida del modelo debe ser una velocidad equivalente del viento, la cual toma en cuenta las variaciones debidas a la turbulencia y a la velocidad promedio del viento que actúa sobre el disco imaginario que describen las palas del rotor de la turbina eólica.

### 2.1 Parte determinística del modelo del viento

La parte determinística del modelo del viento no depende del tiempo, solo tiene influencias dinámicas del viento debido a la rotación del rotor de la turbina y está compuesto por el perfil del cortante de la velocidad del viento debido a la fricción (teoría de capas).

La variación de la velocidad del viento con la altura depende principalmente del sitio donde se ubique la turbina de viento, cuando las palas rotan y atraviesan el perfil se producen cargas cíclicas sobre el torque mecánico, entre mayor sea la rugosidad del terreno mayores serán las cargas sobre el torque. La altura de una sección de la pala (punto  $p$ ) varía de acuerdo con  $z_p = h - r \cos \theta$ . Entonces cada sección de la pala en la posición  $p$  experimenta la velocidad del viento ( $u_p$ ):

$$u_p(h - r \cos \theta) = U(h) * \left[ \frac{\ln h - r \cos \theta}{\ln \left( \frac{h}{z_0} \right)} \right] \quad (1)$$

Donde es la posición angular de la pala,  $p$  es el punto en rotación de la sección de la pala ubicado a una distancia  $r$  del centro del rotor,  $h$  es la altura del cubo de la turbina eólica,  $z_0$  es el coeficiente de la rugosidad del terreno y  $u_p$  es la velocidad del viento que experimenta el punto  $p$ .

### 2.2 Parte estocástica del modelo del viento

La parte estocástica de este modelo comprende la turbulencia del viento sobre el rotor del aerogenerador ya que el comportamiento del viento en un período de tiempo (10 min debido a las razones anteriormente explicadas) tiene un comportamiento estocástico, es decir, aleatorio pero la dinámica del aire crea un patrón principal de las variaciones de la velocidad del viento con el tiempo. La turbulencia puede ser descrita basada en varios indicadores como: intensidad, frecuencia, intensidad, densidad espectral, etc.

Uno de los modelos de turbulencia utilizados en este trabajo fue el espectro de turbulencia de Kaimal, el cual está definido como:

$$Su(n) = \frac{1}{(1 + 1.5n)^{5/3}} = Su(f) \frac{U}{L\sigma^2} \quad (2)$$

Siendo la ecuación (2) la expresión del espectro de kaimal normalizado, donde  $U$  es la velocidad promedio del viento,  $L$  es la longitud de escala de la turbulencia en dirección dominante del viento, cuyo valor para el espectro de kaimal es de 600 metros para turbinas de gran potencia y  $20z$  para turbinas menores,  $z$  es la altura del cubo en metros. Kaimal en 1972 obtuvo una función de transferencia con base en el espectro de kaimal que representa el espectro de la turbulencia de la siguiente forma:

$$\frac{a0 + a1 * cs + a2 * c^2 s^2 + a3 * c^3 s^3}{b0 + b1 * cs + b2 * c^2 s^2 + b3 * c^3 s^3} \quad (3)$$

Donde  $c=L/2IU$ , esta función de transferencia también es conocida como filtro kaimal. La salida de este filtro kaimal es el espectro de la turbulencia en un punto fijo.

Ahora para transformar la turbulencia en un punto fijo obtenido por el filtro Kaimal en turbulencia rotacional se utilizó la función de transformación de Sorensen y fue desarrollada por el ingeniero Paul Sorensen en 1994. La función de transformación de Sorensen está representada por una función de transferencia de la siguiente forma:

$$\frac{a0 + a1 * ds + a2 * d^2 s^2 + a3 * d^3 s^3}{b0 + b1 * ds + b2 * d^2 s^2 + b3 * d^3 s^3} \quad (4)$$



Donde  $d=R/U$ , siendo  $R$  y  $U$  el radio del rotor y la velocidad promedio respectivamente.

### 2.3 Implementación del modelo del viento en Simulink

La implementación del modelo del viento consiste básicamente en la suma de la parte determinística y estocástica del viento. La parte determinística es la velocidad promedio del viento a la altura del cubo del rotor y es obtenida a través de los registros de las velocidades del viento propios de la región. La parte estocástica está formada por la turbulencia rotacional como una suma de armónicos, esta a su vez está compuesta por: un generador de números aleatorios (ruido blanco), la función de transferencia del espectro de turbulencia de Kaimal que filtra la señal del ruido blanco para obtener turbulencia en un punto fijo y la función de transformación de Sorensen cuyo objetivo es transformar la turbulencia en un punto fijo en turbulencia rotacional.

La figura 1 muestra la implementación total del modelo del viento donde se puede observar claramente que este es la suma de la parte estocástica y determinística del viento, el modelo cuenta con una salida la cual es la velocidad del viento que a su vez alimenta el bloque del modelo aerodinámico de la turbina.

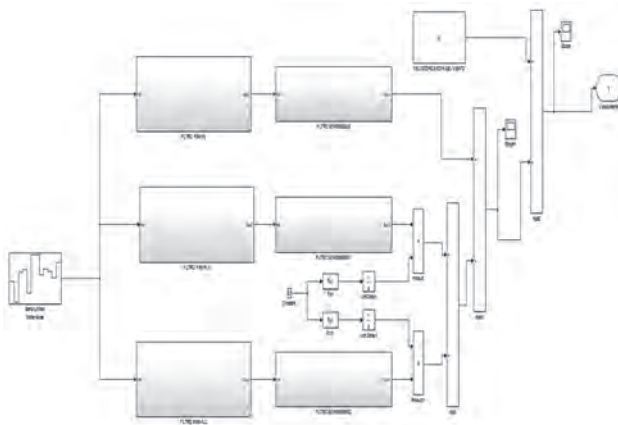


Figura 1. Implementación total del modelo del viento en simulink.

## 3 MODELADO AERODINÁMICO DE LA TURBINA DE VIENTO

Una turbina de viento es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional y después se transforma esta última en energía eléctrica. La cantidad de energía convertida en energía útil depende del diseño particular de la tur-

bina. El cambio de presión provocado por la aerodinámica de las palas de las turbinas induce una fuerza aerodinámica la cual es generalmente descompuesta en una fuerza de sustentación y arrastre, y estas fuerzas a su vez se transforman en dos fuerzas, en una normal y otra tangencial.

Se puede calcular la potencia extraída de un aerogenerador mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} * C_p * \rho * A * V^3 \quad (5)$$

Donde  $C_p$  es el coeficiente de potencia, es la densidad del aire,  $A$  es el área de barrido de la turbina de viento y  $V$  es la velocidad del viento, como podemos observar la potencia de la turbina del viento depende de proporcionalmente del coeficiente de potencia, del área de barrido y de la velocidad del viento.

### 3.1 Coeficiente de potencia $C_p$

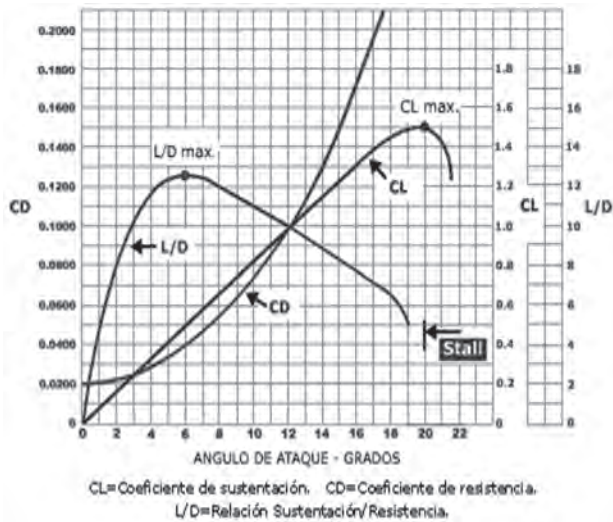
Se define el coeficiente de potencia  $C_p$  como la relación entre la potencia extraída o captada por las palas o hélices y la potencia disponible del viento, el  $C_p$  representa la fracción de la energía del viento que al incidir directamente sobre las aspas de la turbina es capturada por las mismas. La energía restante se fuga con las corrientes del viento que abandonan las aspas de la turbina.

La forma geométrica de los perfiles determina la sustentación y resistencia aerodinámica que estos producen. Los coeficientes de sustentación y resistencia  $C_L$  y  $C_D$ , como así también su relación  $C_L/C_D$ , varían en función del ángulo de ataque.

En el diseño de la hélice intervienen muchas variables y a menudo es necesario poder estimar el coeficiente de potencia máximo que se puede lograr para una configuración dada. Para posibilitar esta estimación y sobre la base de numerosos datos experimentales, en 1976 Wilson propuso la siguiente expresión para calcular el valor de  $C_{pmax}$ .

$$C_{pmax} = 0.593 \left[ \frac{\lambda N^{0.67}}{1.48 + (N^{0.67} - 0.04)\lambda + 0.0025\lambda^2} - \frac{1.92\lambda^2 N}{1 + 2\lambda N} \frac{C_D}{C_L} \right] \quad (6)$$

Donde  $N$  es el numero de palas,  $C_D$  es el coeficiente de arrastre y  $C_L$  es el coeficiente de sustentación y  $\lambda$  es el valor TSR de la turbina. En la figura 2 se podrán observar los valor  $C_D$  y  $C_L$  en función del ángulo de ataque.



**Figura 2.** Valores de CD y CL en función del ángulo de ataque de la hélice.

### 3.2 Velocidad específica TSR

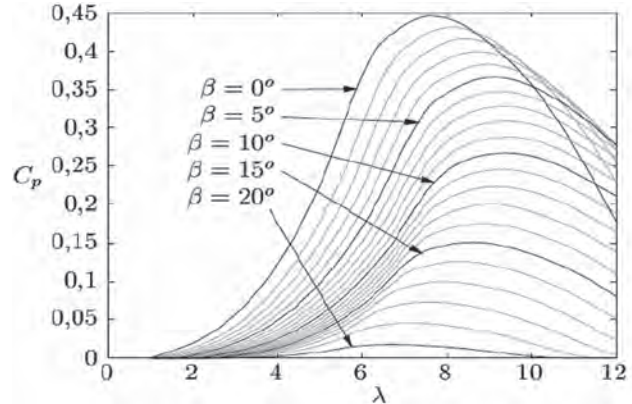
Las características aerodinámicas de una hélice generalmente se definen mediante la relación TSR-Cp, la velocidad específica TSR, identificada por  $\lambda$  se define como la relación entre la velocidad tangencial en el extremo de la hélice y la velocidad del viento perpendicular a la turbina.

$$\lambda = \frac{\Omega * R}{V} \quad (7)$$

Donde  $\Omega$  es la velocidad angular del rotor y  $R$  es el radio del rotor. Para una hélice la relación  $\lambda - C_p$  depende del ángulo de paso. Manteniendo constante el ángulo de paso se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- Existe un único valor de TSR para el cual la eficiencia de conversión es máxima ( $C_p \max$ ) y que depende del tipo de hélice.
- Al cambiar la velocidad del viento, si se quiere mantener la TSR constante e igual al valor para el cual se tiene  $C_p \max$ , se debe modificar también la velocidad de rotación de las hélices.
- Para valores elevados de TSR se tiene una reducción tanto de sustentación como de resistencia, en lo que se conoce como condición de fuga.
- Para valores bajos de TSR se tiene una reducción de la sustentación y aumento de la resistencia hasta llegar a la condición de pérdida.
- La TSR óptima depende del número de hélices y cuanto menor sea este, más rápidamente deben girar para extraer la misma potencia del viento.

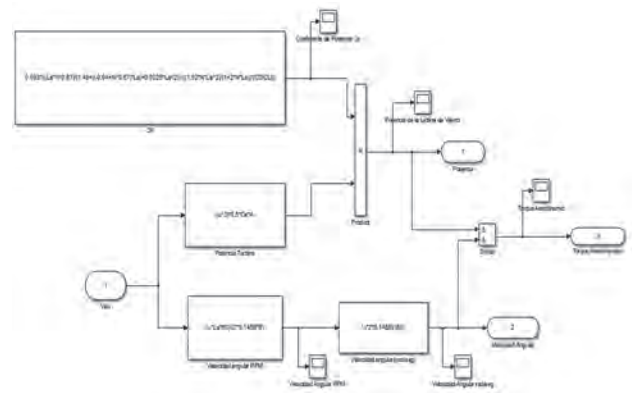
En la figura 3 se pueden observar diferentes valores para la relación  $\lambda - C_p$  en función al ángulo de ataque.



**Figura 3.** Curvas Características  $C_p - \lambda - \beta$

### 3.3 Implementación del modelo de la turbina de viento en Simulink.

La implementación del modelo de la turbina de viento consiste en el cálculo de la potencia extraída por la turbina de viento utilizando la ecuación 5. La figura 4 muestra la implementación del modelo aerodinámico de la turbina de viento, dicho bloque tiene una entrada que es la velocidad del viento la cual es alimentada por el bloque del modelo de viento, y dos salidas las cuales consisten en la potencia entregada por la turbina y el torque aerodinámico el cual está expresado por  $T = P/\Omega$ , donde  $P$  es la potencia de la turbina y  $\Omega$  la velocidad angular.



**Figura 4.** Implementación del modelo de la turbina de Viento.

## 4 MODELADO DEL GENERADOR ELÉCTRICO

Como se mencionó anteriormente se realizó el modelado de un generador eléctrico de flujo axial de imanes permanentes; la inherente naturaleza de la

energía del viento demanda generadores de velocidad variable, esto es debido a que un generador de velocidad constante solo puede convertir eficientemente la potencia del viento en una determinada velocidad, en otras velocidades de viento no opera a su máxima potencia.

Los generadores de imán permanente pueden ser utilizados como generadores de velocidad variable altamente eficientes ya que no consumen electricidad en el rotor para excitar al estator.

#### 4.1 Energía magnetostática máxima

En primera instancia se calculará la energía magnetostática de los imanes, la cual depende de la intensidad y flujo del campo magnético de los imanes, se puede calcular mediante:

$$Em = \frac{1}{2} (BH) * V * N \quad (8)$$

Donde:

$Em$  = energía magnetostática máxima de los imanes (Joule)

$BH$  = magnetización ( $J/m^3$ )

$V$  = volumen de un imán ( $m^3$ )

$N$  = número de imanes

La potencia eléctrica máxima que se puede producir resulta de multiplicar la energía máxima de los imanes por la velocidad angular a la cual se encuentran girando.

$$Pm = Em * w \quad (9)$$

Donde  $w$  es la velocidad angular en rad/seg.

#### 4.2 Voltaje generado por fase

Para calcular el voltaje que se produce en cada fase del generador se debe calcular el flujo magnético que existe en las bobinas, para lo cual tenemos:

$$\emptyset = A * B \quad (10)$$

Donde:

$\emptyset$  = Flujo magnético (webers)

$A$  = área de la sección que ocupa una espira en la bobina ( $m^2$ )

$B$  = Campo magnético de los imanes (Teslas)

Conociendo ya el flujo magnético que existe en las bobinas podemos calcular el voltaje que se produce en cada fase:

$$Ea = Nc * \emptyset * w \quad (11)$$

Donde:

$Ea$  = Voltaje por fase (volts)

$\emptyset$  = Flujo magnético (webers)

$Nc$  = Número total de espiras por fase

$w$  = Velocidad angular (rad/seg)

#### 4.3 Parámetros eléctricos de las bobinas

Teniendo determinadas las dimensiones de las bobinas se calcula la resistencia, la inductancia y la reactancia que ofrecerán cada una de las bobinas. Primero se calculará la resistencia ofrecida mediante la expresión:

$$Rb = \frac{p * Ne * 2\pi * rm}{As} \quad (12)$$

Donde:

$Rb$  = resistencia de cada bobina (ohm)

$Ne$  = número de espiras por bobina

$p$  = resistividad eléctrica del cobre  $1.71 \times 10^{-8} \Omega * m$

$rm$  = radio medio de la máquina (m)

$As$  = área de la sección del conductor ( $m^2$ )

Ahora se procederá al cálculo de la inductancia de cada bobina:

$$Lb = \frac{\mu_0 * Ne^2 * At}{lb} \quad (13)$$

Donde:

$Lb$  = Inductancia de cada bobina (henrios)

$\mu_0$  = permeabilidad magnética del vacío  
 $4 * \pi * 10^{-7} N * A^{-2}$

$Ne$  = número de espiras por bobina

$At$  = es el área total que ocupa la bobina

$lb$  = longitud de la bobina

Cálculo de la reactancia:

$$XL = w * Lb = 2 * f * \pi * Lb \quad (14)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de voltaje de salida el cual esta expresado como  $f = p * w / 120$  siendo  $p$  el número par de polos y  $w$  la velocidad angular en rpm.

#### 4.4 Rendimiento de la máquina

En este caso se calculará el rendimiento considerando una carga fija de 2 que representa las baterías, teniendo como consideración que se conecta a un banco de baterías. En primer lugar se calculará la corriente que circulará por las bobinas por cada fase.

$$Xph = Nb * XL \quad (15)$$

Donde  $Xph$  es la reactancia por fase dada en ohm y  $Nb$  es el número de bobinas por fase.

$$Rph = Rb * Nb \quad (16)$$

Donde  $Rph$  es la resistencia existente en cada fase dada en ohm.

Teniendo en cuenta la resistencia fija de  $2 \Omega$  de las baterías, la impedancia total resultante es:  $z = 2 + Rph + Xph$ , con lo cual se puede calcular la corriente que circula en cada fase a través de la siguiente expresión:



$$I_f = \frac{V_f}{|z|} \quad (17)$$

Donde  $I_f$  es la corriente que circula en cada fase (amperes),  $V_f$  es el voltaje generado por fase y  $z$  está dado por la expresión  $|z| = \sqrt{(2 + Rph)^2 + Xph^2}$ .

Teniendo la corriente que circula en cada fase podemos calcular la potencia final (watts) que se está generando sabiendo que potencia es el resultado de multiplicar el voltaje por intensidad.

$$P = Nf * V_f * I_f \quad (18)$$

Donde  $Nf$  es el número de fases del generador. Antes de poder calcular la eficiencia del generador es necesario considerar las pérdidas que se tienen por efecto Joule.

$$P_{cu} = Ntb * I_f^2 * Rb \quad (19)$$

Siendo  $P_{cu}$  las pérdidas por efecto Joule (watts) y  $Ntb$  es el número total de bobinas de todas las fases.

Conociendo las pérdidas que tiene el generador se puede determinar la eficiencia del generador de la siguiente forma:

$$\eta_e (\%) = \frac{P}{P + P_{cu}} * 100 \quad (20)$$

#### 4.5 Implementación del modelo del generador eléctrico en Simulink

En la figura 5 se observa el modelo en Simulink del generador eléctrico, dicho bloque tiene dos entradas las cuales son la potencia entregada por la turbina de viento y la velocidad angular a la cual está girando la misma, y una salida que es la potencia global o rendimiento global del aerogenerador, el cual resulta de multiplicar la potencia de la turbina y la eficiencia del generador, es decir:

$$P_e = \frac{1}{2} * C_p * \rho * A * V^3 * \eta_m * \eta_e \quad (21)$$

Siendo  $\eta_m$  el rendimiento mecánico global de toda la transmisión, desde el rotor hasta el generador pasando por el multiplicador (en este caso es 1 debido a que la flecha del rotor está directamente conectado al generador eléctrico), y  $\eta_e$  es el rendimiento del generador eléctrico.

## 5 IMPLEMENTACION DEL MODELO DEL AEROGENERADOR Y RESULTADO DE LAS SIMULACIONES

Luego de realizado el modelo de cada bloque, se procedió a implementar estos bloques en un solo modelo

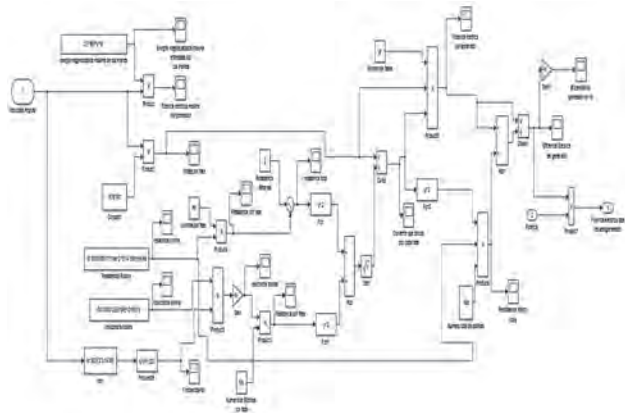


Figura 5. Modelo del generador eléctrico.

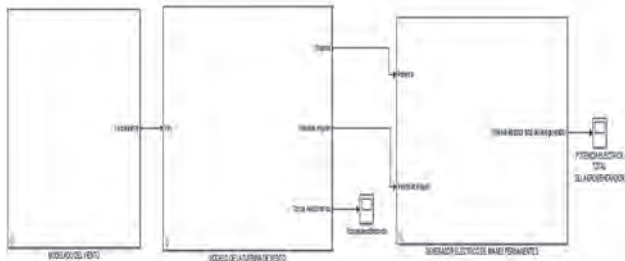


Figura 6. Modelo del aerogenerador en Simulink.

en el ambiente Simulink. En la figura 6 se muestra el cuerpo principal de la plataforma de simulación que constituye el modelo del aerogenerador eólico horizontal de imanes permanentes.

En la tabla 1 se muestran los parámetros que se utilizaron para la simulación, tales parámetros corresponden a datos de un aerogenerador existente de estas características con el fin de determinar que tan fiable es esta plataforma de simulación. La simulación se realizó con una velocidad media del viento de 6 m/s.

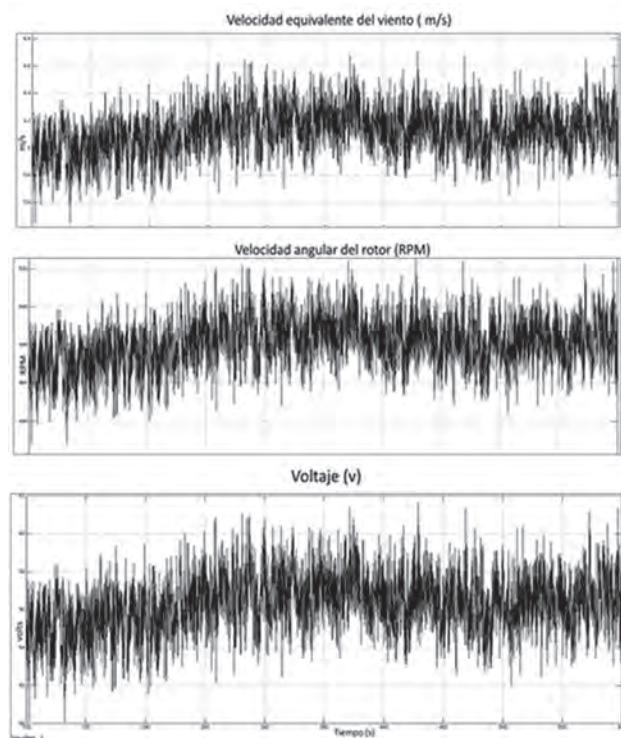
#### 5.1 Resultados de la simulación

En esta sección se muestra los resultados de la simulación, estos resultados permiten observar el rendimiento simulado del aerogenerador en diferentes parámetros de interés en cuanto a recuperación de energía, dicha simulación se realizó en un tiempo de 10 min por razones previamente explicadas. Cabe mencionar que en esta plataforma de simulación se podrá observar el rendimiento de cada parámetro eléctrico, mecánico y matemático anteriormente detallado.

En la figura 7 se muestran los resultados de la simulación del modelo del aerogenerador bajo los parámetros antes mencionados, en la parte superior de la figura se observa el comportamiento (fluctuaciones) de la velocidad equivalente del viento, seguidas

**Tabla 1.** Parámetros del aerogenerador utilizado para la simulación.

Parámetros del aerogenerador	
Radio del rotor	0.85m
Área de barrido del rotor	2.26 m <sup>2</sup>
Altura de emplazamiento	6m
Numero de palas	3
Velocidad específica TSR	7
Densidad del aire	0.98 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de sustentación CL	0.8
Coefficiente de resistencia CD	0.07
Numero de imanes	24
Volumen del imán	0.000047m <sup>3</sup>
Magnetización B-H	321000 J/m <sup>3</sup>
Campo magnético de los imanes	1.2 T
Numero par de polos	12
Numero de espiras por bobina	310
Numero de bobinas	18
Bobinas por fase	6
Numero de fases	3
Longitud de la bobina	0.029m
Calibre del cable	18



**Figura 7.** Resultados de la simulación del modelo del aerogenerador.

por las gráficas de simulación de la velocidad angular del rotor y el voltaje generado, las fluctuaciones que presentan estas gráficas tienen comportamientos similares a las fluctuaciones presentadas por la gráfica de la velocidad del viento. La velocidad equivalente del viento desarrollada tiene un valor promedio de 6.2 m/s y con valores picos que van de 5.5 a 6.7 m/s, estas variaciones de velocidad impactan proporcionalmente al desempeño del aerogenerador, esto se puede observar claramente en las gráficas de la velocidad angular y voltaje, ya que al aumentar la velocidad del viento, la velocidad angular y voltaje también aumentan, de la misma manera al disminuir la velocidad del viento, los valores de la velocidad angular y voltaje descienden.

En la tabla 2 están concentrados el resto de los resultados de la simulación del modelo del aerogenerador para una velocidad media de viento de 6 m/s, se presenta en la tabla un valor promedio así como los valores picos para cada parámetro simulado del aerogenerador. El coeficiente de potencia se mantiene constante en cada simulación, porque este parámetro no depende de la velocidad del viento, sino exclusivamente de la geometría de las hélices del rotor.

**Tabla 2.** Concentrado de resultados de la simulación del modelo del aerogenerador para un viento nominal de 6 m/s.

Parámetro	Prom.	Pico más alto	Pico más bajo
Cp.	0.20	-	-
Velocidad angular del rotor (rad/s)	51	55	45
Torque del rotor N-m	1	1.22	0.8
Intensidad de corriente (A)	2.49	2.52	2.45
Frecuencia (Hz)	48	53	43
Potencia eléctrica del generador (W)	420	465	370
Perdidas por efecto Joule (W)	109	111.5	106
Eficiencia del generador (%)	79.5	80.5	77.5

### 5.2 Validación de la plataforma de simulación

Con el objetivo de verificar la fiabilidad de la plataforma de simulación creada, se llevó a cabo una comparación entre los resultados arrojados por el simulador (voltaje) y el comportamiento real de un aerogenerador. Para esto la simulación se realizó con los parámetros mencionados en la tabla 1, los cuales corresponden a los parámetros del aerogenerador con el cual se realizó la comparación.

Las lecturas del voltaje producido por el aerogenerador fueron tomadas de la siguiente manera: con un anemómetro digital modelo AR816, se midió la velocidad del viento incidente sobre el rotor del aerogenerador en un periodo de tiempo de 6 segundos, al mismo tiempo con un multímetro modelo Fluke 87 Xerox se tomaron lecturas del voltaje producido por el aerogenerador; teniendo esto por objetivo registrar las variaciones del voltaje producido bajo una velocidad nominal de viento incidente en un periodo de tiempo. Tanto las lecturas de la velocidad del viento y del voltaje fueron tomadas en el lugar de emplazamiento y conexión del aerogenerador y registradas en video.

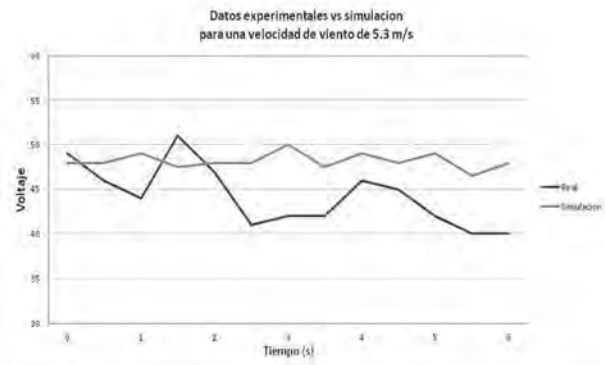
Posteriormente, con las velocidades del viento registradas en video se llevaron a cabo las simulaciones del aerogenerador con un tiempo de simulación de 6 segundos, y así poder comparar las lecturas de voltaje reales y simuladas para una determinada velocidad de viento. En la figura 8 se muestran los instrumentos y aerogenerador utilizados.



Figura 8. Multímetros, anemómetro y aerogenerador utilizados.

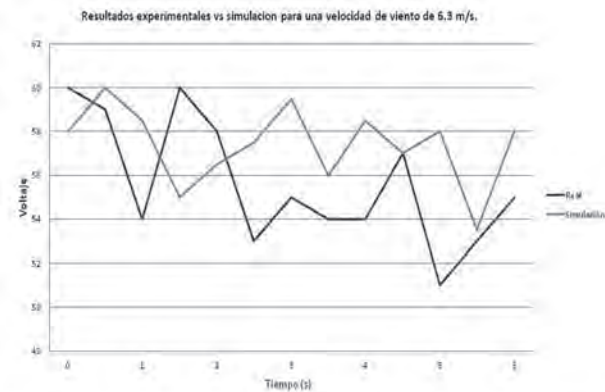
En la figura 9 se comparan los resultados reales y simulados para la generación de voltaje a una velocidad de viento de 5.3 m/s, como se puede observar en la gráfica el comportamiento simulado tiene un comportamiento similar al real, existe una diferencia promedio entre ambos resultados de 4.65v, mientras que al comparar el porcentaje de error entre los resultados de la simulación con los datos experimentales fue del 9.88%, el cual es un porcentaje aceptable.

Para una velocidad de viento de 6.3 m/s, el porcentaje de error que se tienen entre los resultados experimentales y la simulación es de un 5.61%, y una diferencia promedio entre ambas series de resultados de 3.07v. En la Figura 10 se muestra gráficamente el comportamiento experimental y simulado del voltaje generado.



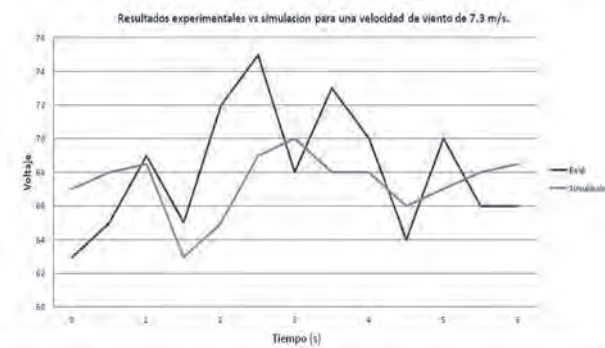
Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5	6						
Voltaje Real	49	46	44	51	47	41	42	42	46	45	42	40	40
Voltaje Simulado	48	48	49	47.5	48	48	50	47.5	49	48	49	46.5	48

Figura 9. Resultados experimentales vs simulación para una velocidad de viento de 5.3



Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5	6						
Voltaje Real	60	59	54	60	58	53	55	54	54	57	51	53	55
Voltaje Simulado	58	60	58.5	55	56.5	57.5	59.5	56	58.5	57	58	53.5	58

Figura 10. Resultados experimentales vs simulación para una velocidad de viento de 6.3.



Tiempo (s)	0	1	2	3	4	5	6						
Voltaje Real	63	65	69	65	72	75	68	73	70	64	70	66	66
Voltaje Simulado	67	68	68.5	63	65	69	70	68	68	66	67	68	68.5

Figura 11. Resultados experimentales vs simulación para una velocidad de viento de 7.3.

En la figura 11 se muestra la comparación de los resultados experimentales y simulados para una velocidad de viento de 7.3 m/s, dicha comparación de resultados muestra que existe un porcentaje de error



promedio entre la parte experimental y simulada del 4.56% y una diferencia promedio entre ambas series de resultados de 3.15v.

Si bien los resultados de la simulación tuvieron un comportamiento cercano a los resultados experimentales, estos no fueron exactos, por lo que existe un porcentaje de error en la simulación, esto se debe probablemente a que en el modelo de la plataforma desarrollada no se consideraron factores como: fricción de los rodamientos de la flecha que conecta el rotor al generador eléctrico, la masa del estator del generador eléctrico, el sistema de dirección del aerogenerador, la fricción del aire con las hélices del rotor, etc. También se observa que mientras mayor fue la velocidad del viento el porcentaje de error entre la parte real y simulada disminuyó, de 9.8% a 4.56% de error.

## 6 CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un modelo en Simulink de un aerogenerador eólico horizontal de imanes permanentes con el objetivo de observar el rendimiento de este a través de diferentes parámetros de recuperación de energía. Se mostró bloque por bloque junto con la parte matemática en la cual se basó cada bloque que conforma la plataforma de simulación del generador eólico con el fin de abarcar de mejor manera el funcionamiento del sistema.

Con respecto a los objetivos propuestos, estos se han alcanzado en su totalidad teniendo en cuenta que el simulador responde de manera satisfactoria a las condiciones de simulación pre-establecidas.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, y que el porcentaje de error no supera el 10%, la plataforma desarrollada nos permite mediante la simulación te-

ner una noción bastante cercana del comportamiento del aerogenerador, con esto se cumple uno de los objetivos, el cual es tener una plataforma de simulación que asemeje en lo más posible el rendimiento de un aerogenerador real, permitiendo así realizar análisis confiables del funcionamiento de aerogeneradores de las características antes mencionadas sin la necesidad de construirlos físicamente. Validando así el modelo del aerogenerador presentado en este artículo.

Considerando la fiabilidad de la plataforma de simulación desarrollada, esta puede servir como punto de partida para el análisis, desarrollo y mejoramiento de aerogeneradores de características aquí presentadas.

## REFERENCIAS

- [1] Sorensen, Poul. Hansen, Anca. Janosi, Lorand. Bech, John y Bakjensen, Birgitte. *Simulation of interaction between wind farm and power system*. Dinamarca: Riso National Laboratory, Roskilde. 2001.
- [2] Sorensen, Poul. Y Hansen Anca D. *Winds model for simulation of power fluctuations from winds farms*. Dinamarca: wind energy department, Riso National Laborator-Departament of electrical Power Engineering, Technical University of Denmark. 2002.
- [3] Roadstrum. William y Wolaver, Dan. *Ingeniería eléctrica para todos los ingenieros*. México. Alfaomega. 1999. 802p.
- [4] Kaimal, J.C., Wyngaard, J.C. Izumy, I y Cote O.R. *Spectral characteristic of surface Layer Turbulence*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society Vol. 98, 1972.
- [5] The Mathworks Inc. *Simulink Model-Based and System Based Design*. Estados Unidos: The Math works Inc. 2002. 476p.



## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

 Convocatoria



**CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

# MAESTRÍAS 2017

A Ingenieros y Profesionistas de áreas afines,  
interesados en cursar:

### Maestría en Ingeniería

con opción terminal en:

- Construcción
- Geotecnia
- Estructuras\*
- Sistemas Eléctricos de Potencia\*
- Tránsito y Transporte

\* Opciones terminales inscritas al  
PNPC de CONACYT  
Programa Nacional de Posgrado de Calidad  
con oportunidad de tramitar becas para  
estudiantes de tiempo completo

#### Calendario de Actividades

15 DE JUNIO AL 9 DE JULIO Y DEL  
1 AL 25 DE AGOSTO 2016  
ENTREVISTAS\* E INSCRIPCIÓN AL CURSO PROPEDEÚTICO

2 DE SEPTIEMBRE AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2016  
CURSO PROPEDEÚTICO

80 HORAS  
DURACIÓN DE CURSO PROPEDEÚTICO

15 DE NOVIEMBRE DE 2016  
PUBLICACIÓN DE ACEPTADOS

16 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 2016  
INSCRIPCIÓN A LA MAESTRÍA

8 DE ENERO DE 2017  
INICIO DE CLASES DE LA MAESTRÍA

\* PARA ENTREVISTA DEBERÁ AGENDAR SU CITA VÍA TELEFÓNICA

#### Costo

Concepto	Nacionales	Extranjeros
Curso propedéutico	\$3,500.00	770 USD

#### Informes:

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
de la Facultad de Ingeniería  
Edificio ING2, planta alta, Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla  
Teléfono: (222) 229 5500 ext. 7618  
correo electrónico: posgradoicv@gmail.com

[www.ingenieria.buap.mx](http://www.ingenieria.buap.mx)



*Por la identidad en Ingeniería*



# Análisis de la eficiencia térmica de un calentador solar utilizado el software NX

Filiberto Candia García, Estefani Merlo Zechinelli, José Hernández Escalera

## RESUMEN

A partir de la adquisición de un modelo de calentador solar comercial, el cual es sometido a un proceso de ingeniería inversa basado en los sistemas de ingeniería basada en el conocimiento (KBES), se realiza un modelo CAD/CAM/CAE (Dibujo, Manufactura e Ingeniería Asistida por Computadora) de sus componentes mecánicos y se realiza una simulación de los sistemas de transferencia térmica y velocidades de flujo dentro de la tubería mediante el método del elemento finito (MEF) –utilizando el software NX 8.5 de SIEMENS. Con los resultados de la simulación se comparan las características técnicas de la hoja de datos del calentador y las mediciones experimentales. De esta manera se determina la confiabilidad de la eficiencia térmica declarada por los fabricantes en las tecnologías verdes. Posteriormente mediante una optimización de geometría (diámetros y longitudes de tubería) y velocidades de flujo, se compara la eficiencia encontrada contra una nueva simulación con cambios de materiales y geometrías. Este proceso de reingeniería permite la optimización del sistema y la mejora de la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (PyMES).

**Palabras Claves:** Optimización, Reingeniería, Tecnologías Verdes, KBES.

## ABSTRACT

From the acquisition of a model of commercial solar water heater, which is undergoing a process of reverse engineering based on engineering systems based on knowledge (KBES), a model is made CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design, Manufacturing and Design) for its mechanical and simulation of heat transfer systems and flow within the pipe using the finite element method (FEM) –using the NX 8.5 SIEMENS– software is performed. In the simulation results are compared the characteristics components technical data sheet heater, experimental measurements. In this way the reliability of the thermal efficiency declared by manufacturers in green technologies is determined. Subsequently by optimizing geometry (diameters and lengths of pipe) and flow rates, efficiency found against a new simulation with changes of materials and geometries are compared. This reengineering process enables optimizing the system and improving the competitiveness of small and medium enterprises (PyMES).

**Keywords:** Optimization, Reengineering, Green Technologies, KBES.

---

Recibido 25 de Febrero, 2016; aceptado 29 de Abril, 2016

Filiberto CANDIA GARCÍA  
Correo electrónico: filinc@hotmail.com  
Estefani MERLO ZECHINELLI, José HERNÁNDEZ ESCALERA  
Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria BUAP, Puebla, México, tel. 0001 222 2295500 ext. 7610.

## 1 ANTECEDENTES

El trabajo actual se enmarca dentro de la propuesta de desarrollo tecnológico e integración multidisciplinaria del grupo de Mecánica Computacional (MC) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la BUAP, el cual se dedica y enfoca a ofrecer como oferta de servicios la simulación y análisis por medio del método del elemento finito (MEF), en diversas áreas del sector



laboral como: deflexión en vigas, propiedades mecánicas de los materiales, túnel de viento, efectos térmicos sobre superficies sólidas y fluidos, vibraciones mecánicas, análisis dinámico, entre otras.

De manera internacional la MC se ha establecido como un ámbito de integración de la ingeniería, los sistemas computacionales y el modelado matemático, siendo una de las disciplinas que por su propia naturaleza son multidisciplinarias y de manera sistemática generan altas cantidades de documentación en el análisis de los procesos en ingeniería. En conjunto con la MC se ha desarrollado una metodología para administrar el conocimiento llamada Sistemas de Ingeniería Basadas en el Conocimiento (KBES).

Sobre las estrategias de implementación de los KBES[1], los principales expositores del estado del arte de esta metodología aplicada al desarrollo del producto[2] (incluyendo todos los aspectos como diseño, fabricación, *supply chain*, y comercialización) son: Josip Stjepandić, Nel Wognum y Wim J.C. Verhagen.

### 1.1 Concepto de los KBES

“Los sistemas de ingeniería basados en conocimiento (KBES) son una tecnología que ha ido evolucionando desde los años 80 con los avances de la informática, para almacenar y ordenar el conocimiento de la ingeniería de manera que fuera fácil acceder a él para su aplicación... Paralelamente los avances en la tecnología CAD/CAM/CAE propiciaron una fusión de estas tecnologías de manera que el ingeniero podía recopilar la información en las distintas fases del ciclo de producto (diseño análisis, fabricación, etc.) y aplicarlo a los programas de CAD/CAM de manera que todo el proceso se almacene. Si se hiciera otro producto en el que variaran algunos parámetros solo se tendría que cambiar los parámetros de entrada para obtener el producto final (diseño paramétrico) ya que todo el proceso se encuentra ordenado y almacenado gracias a la tecnología del conocimiento basado en la ingeniería[1].

De manera sintética en los KBES se resaltan tres escenarios de acción que son:

1. Fundamentos.- Principios tecnológicos.
2. Nuevos desarrollos y métodos.- Requerimientos de tecnología.
3. Aplicaciones.- Industrias implicadas.

Los KBES basan su éxito en el manejo y administración del conocimiento, permitiendo que este sea estructurado y se mantenga presente (tanto aciertos como errores) en toda la historia de las empresas dedicadas a la transformación y fabrica-

ción de bienes. La facilidad de integrar componentes como el ciclo de vida del producto (PLM—por sus siglas en inglés, *Product Lifecycle Management*) y sus soluciones de diseño CAD/CAM/CAE en plataformas informáticas como NX, representan grandes ventajas competitivas tanto en las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMES) y las empresas transnacionales.

La articulación del éxito de los KBES en las PyMES se encuentra a través de su alta capacidad de atención de los requerimientos de documentación de los procesos de fabricación, solicitadas por los organismos certificadores y acreditadores internacionales (como ISO, VDA, QS, entre otras), a través de la administración del conocimiento generado en las plataformas PLM.

Siendo el conocimiento considerado un bien intangible, que es el producto interno de los diseñadores y directores de las instituciones y las empresas y que tiene la capacidad de impactar en el desarrollo de las mismas, es de suma importancia que sea valorado y resguardado de manera adecuada mediante la gestión de derechos de propiedad intelectual o industrial ante el Instituto Mexicano de Propiedad intelectual (IMPI) en el caso de México.

En este apartado de gestión del conocimiento[1], se establece la vital importancia que existe sobre el desarrollo de una “economía basada en el conocimiento y en los derechos de propiedad intelectual (IPR—por sus siglas en inglés, *intellectual property right*) que se reconocen como un factor clave al desarrollar y proteger la competitividad estratégica, así como la innovación de una empresa... los sistemas de ingeniería basados en el conocimiento (KBES) dentro de la creación de productos virtuales... permite intercambiar grandes cantidades de datos de los productos entre las también creadas empresas virtuales, que comprenden la relación del conocimiento de una empresa con su red de proveedores... Asimismo las cadenas de suministro (*Supply Chain*) deben situarse en un marco legal de protección en conjunto con y los esfuerzos de investigación y desarrollo.

El grado de protección de propiedad intelectual (IPP) de los datos de producto[1], deben ser protegidos al inicio del desarrollo (SoD—por sus siglas en inglés, *start of development*) al momento de iniciar la producción (SoP—por sus siglas en inglés, *start of production*) y posiblemente con menos intensidad después de la producción y hasta el final del ciclo de vida del producto (EoL—por sus siglas en inglés, *end of a product life cycle*), posteriormente debe existir

una creciente atención en la protección de piezas de repuesto e integración de software, ver figura 1.

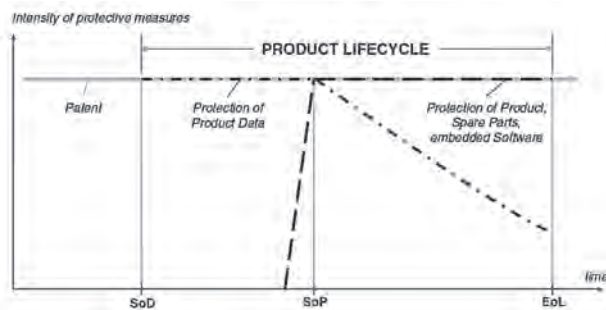


Figura 1. Intensidad de IPP.

Cuando se inicia un nuevo desarrollo “la primera empresa manufacturera de equipo original (OEM –por sus siglas en inglés, *original equipment manufacturers*) se encuentra en un binomio de cliente y financiador de un nuevo producto. Por lo tanto existe el peligro que indirectamente apoya a sus competidores si su proveedor vende la misma tecnología para otras OEM. Este conflicto de intereses tiene alto riesgo sin el empleo de KBES, porque más y más valioso conocimiento está integrado en los modelos de diseño/manufactura/ingeniería asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y, como tal, en el intercambio de datos a diario.

La importancia de los modelos CAD/CAM/CAE radica en la capacidad de datos que se pueden representar, almacenar y emplear en el diseño de un nuevo producto, que de llevarse a cabo efectivamente genera una cadena suministros de alto valor agregado, basada principalmente en la gestión de los datos, la información y conocimiento[3].

En consecuencia, los modelos CAD/CAM/CAE representan una parte importante de la base de conocimientos de cada empresa centrada en el producto, que después de su generación debe ser almacenado, mantenido, y protegido durante el ciclo de vida del producto entero[1].

Al traspasar la capacidad de la IPP, es indispensable involucrar el tema de las patentes, las cuales son un beneficio directo sobre los derechos de IP al desarrollar nuevas tecnologías. Un análisis de calidad de la patente proporciona un medio por el cual las empresas determinan si es o no posible personalizar y fabricar productos innovadores.

Existen diferentes enfoques técnicos para luchar contra la infracción de la propiedad intelectual, sin embargo desde el punto de vista del estado del arte de la IPP[1], se hace mención a los mostrados en la figura 2:

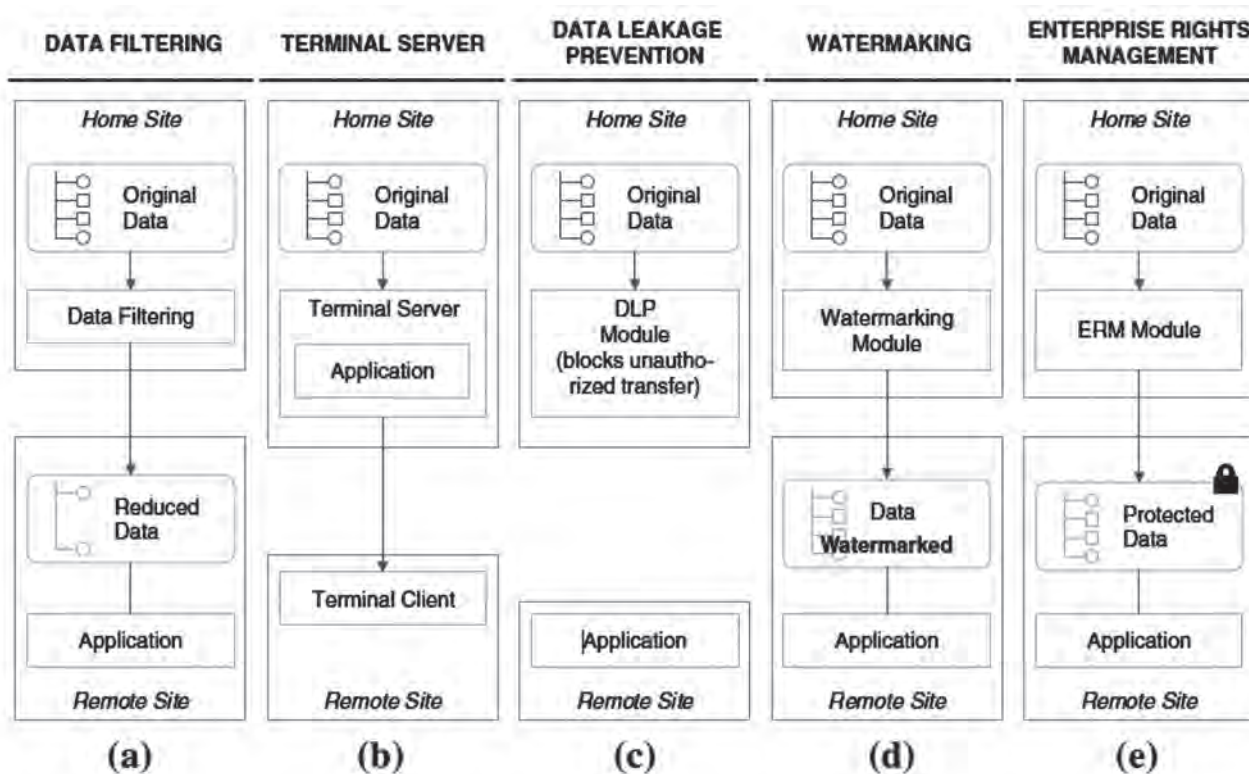


Figura 2. Técnicas de enfoque para la protección intelectual de propiedad de datos del producto.

- Filtrado de datos para reducir la cantidad de conocimientos antes de distribuir los datos (figura 2a).
- Soluciones de terminal servidor que solo muestran los datos al receptor (figura 2b).
- El uso de prevención de fuga de datos para detener la fuga de datos no autorizada (figura 2c).
- Uso de marcas de agua para permitir la identificación de la fuente de una fuga de datos (figura 2d).
- Utilizando el manejo de datos empresariales (ERM –por sus siglas en inglés, *Enterprise Rights Management*) para mantener el control total sobre los datos distribuidos, incluso después de un intercambio de datos (figura 2e).

A partir de estas técnicas de IPP es posible implementar niveles de protección de datos del producto siendo los más importantes:

1. Protección a nivel físico.
2. Protección a nivel de contenido.
3. Protección a nivel de derechos de acceso.

Así mismo existen niveles para la protección de productos y partes, siendo los de mayor importancia:

- Seguimiento y Rastreo
- Protección de software integrado

Proteger la IP y avanzar hacia la obtención de patentes permite:

- En primer lugar establecer una colaboración segura y proporcionar una manera de proteger la propiedad intelectual de manera predefinida y de forma repetible.
- En segundo lugar, cuando cumplan los requisitos previos es posible establecer una amplia utilización de tecnología en KBES aumentando la confianza en los procesos y métodos internos. Integrando la IPP en el negocio todos los días.
- Por último, dan protección contra falsificación.

El impacto potencial de los activos de la propiedad intelectual es tan grande que sin duda tendrá un efecto considerable en el desarrollo económico nacional e internacional en el futuro. Es entonces cuando un nuevo campo de investigación interdisciplinario, que combina perspectivas económicas y de ingeniería, métodos de medición y metodologías para hacer preguntas fundamentales sobre la viabilidad de una sociedad de la información libre y abierta que proporciona respuestas cuando sea posible, al desarrollar y comercializar tecnología[1].

El desarrollo de tecnología a través del análisis por el MEF[4] se ubica dentro de las capacidades de los Sistemas de Ingeniería Basados en el Conocimiento (KBES) para generar conocimiento, además son susceptibles de un alto impacto en el trabajo de las universidades y empresas para generar indicadores de patentes y derechos de propiedad intelectual.

### 1.2 Planteamiento del problema

Entre las desventajas de las pequeñas y medianas empresas (PyMES) [2], que construyen y comercializan tecnologías verdes se encuentran:

- Baja eficiencia térmica debido a la configuración geométrica y selección inadecuada de materiales.
- Desarrollos artesanales que son una quimera de un proceso de innovación (construcción de prototipos físicos), por la falta de divulgación formal del conocimiento.
- Alta dependencia de los costos de construcción de un nuevo prototipo, si se requieren implementar mejoras en nuevos materiales o en las geometrías de un producto ya existente.
- Inexistencia de hojas de datos descriptivas de las características y vida útil del producto.
- En general una deficiencia de datos e información (conocimiento) en el proceso constructivo y en la optimización del fenómeno de transferencia térmica, que afectan al usuario final limitando la credibilidad de las tecnologías verdes.
- Baja durabilidad del desarrollo tecnológico muy inferior a la indicada por el fabricante.
- Escaso mantenimiento e inexistencia de refaccionamiento adecuado que permita incrementar la vida útil de las tecnologías verdes.

La problemática radica en la alta incertidumbre cuando se realizan inversiones en tecnologías verdes y baja aceptación de los productos (calentador y estufa solar) por parte del consumidor final. El público al cual está dirigido el producto necesita una mayor divulgación del conocimiento de las tecnologías alternativas en el ahorro de combustible (gas LP y natural) y de sus capacidades de ahorro económico, durabilidad y mantenimiento, mediante la documentación de las características tecnológicas.

### 1.3 Justificación

En la actualidad desarrollar prototipos operativos requiere de inversiones sumamente onerosas, que no garantizan productos funcionales[4]. Solo las empre-



sas transnacionales se encuentran con la capacidad de contar con departamentos de desarrollo del producto que les permite inclusive realizar el plan piloto de la comercialización, sin que ello garantice la inclusión y posicionamiento del producto en el mercado[2].

Una preocupante situación actual con los departamentos de desarrollo del producto privados, es el reclutamiento de personal mexicano que se ha formado en el extranjero y ha sido repatriado con recursos nacionales por medio del CONACyT hacia las instituciones de educación superior (IES) sin embargo las bajas remuneraciones y prestaciones, los obligan a la búsqueda de mejores oportunidades económicas (el apoyo de repatriación es solo por un año).

La preparación recibida por los nacionales es un actividad que atenta contra la soberanía de cualquier país, puesto que los investigadores son sabedores, conocedores y ejecutores de la gestión pertinente al aplicar y ganar en las convocatorias nacionales de recursos económicos para desarrollo de tecnología (fondos MIXTOS), donde los beneficios de generación de patentes y derechos de propiedad intelectual son propiedad de la empresa participante que no es una PyME y en mucho menor proporción una IES (debido a que ellas no pueden pagar salarios de ingeniería de desarrollo del producto).

Las PyMES ven en esta falta de atracción de talentos en el desarrollo de nuevos productos, una disminuida capacidad de innovación tecnológica y de adquisición de recursos, Asimismo su orientación hacia la desaparición del sector empresarial. Con una baja competitividad tienen que buscar alternativas metodológicas que les permitan de manera eficiente e inclusiva la permanencia en el sector de la fabricación de bienes y servicios, sobre todo mantener una capacidad de atracción de recursos federales y privados.

Por ello el acercamiento y conocimiento por parte de la PyMES a la metodología de los KBES es inminente e indispensable, la simulación y desarrollo de un nuevo producto a través de plataformas PLM es una inversión indispensable. Siendo la protección de los bienes intangibles una gran oportunidad de desarrollo económico, permitiendo la exploración de nuevos mercados y capacidades de alta competitividad en el diseño de nuevos productos.

La IPP se considera entonces un activo más en el escenario económico y competitivo la industria de la transformación y esta será alcanzable solo a través de la implementación de los KBES, por ello la justificación del presente trabajo consiste en sensibilizar que los recursos tecnológicos en ingeniería deben ser

dirigidas hacia las PyMES y garantizar su capacidad participativa en el desarrollo económico del país.

## 2 MARCO CONCEPTUAL

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo dentro de un sistema; asimismo toda la materia contiene energía y los distintos tipos de energía se definen en función a sus propiedades o rasgos relacionados[5].

En cuanto a la materia las principales características físicas y térmicas de estas son la conductividad, la densidad y el calor específico. La conductividad térmica ( $k$ ) expresa la capacidad para conducir el calor en unidades de  $W/(mK)$ . La densidad ( $\rho$ ) expresa la relación que existe entre la masa y el volumen ( $kg/m^3$ ), los materiales con mayor densidad tienen una mayor conductividad.

El calor específico ( $C_p$ ) de un material expresa la cantidad de calor necesario para elevar un grado de temperatura una masa de un kilogramo en unidades de  $J/(kgK)$ .

El calor volumétrico absoluto es la capacidad de un material de almacenar calor, sus unidades son  $J/m^3K$  y se expresa como:

$$cev = \rho \cdot C_p \quad (1)$$

La difusividad térmica ( $\alpha$ ) es la capacidad del material para conducir energía térmica, expresada en unidades de  $m^2/s$

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (2)$$

La efusividad térmica ( $B$ ) indica la capacidad del material para intercambiar calor por su entorno.

$$B = \sqrt{K \cdot P \cdot C_p} \quad (3)$$

- La reluctancia ( $\rho$ ) es la capacidad entre la radiación que refleja una superficie con respecto a la radiación total que incide sobre ella.
- La absorbancia ( $\alpha$ ) es la relación entre la radiación que transmite una superficie transparente o translúcida con respecto a la radiación total que incide sobre ella.
- La transmitancia ( $\tau$ ) es la relación entre la radiación que transmite una superficie translúcida con respecto a la radiación total que incide sobre ella.
- La admitancia ( $\epsilon$ ) es la fracción decimal que expresa la parte de la energía emitida en forma de radiación. En un cuerpo opaco la suma de la reflectancia y la absorbancia es igual a uno.

## 2.1 Sobre los flujos de energía

Los flujos de energía en una edificación o en un espacio se basan en el principio de la termodinámica; generalmente pueden presentarse de tres formas; siendo los mecanismos de transferencia de calor la conducción, convección y radiación.

### 2.1.1 Conducción

La conducción es la transferencia de calor por actividad molecular que ocurre básicamente en la materia sólida. Algunos materiales, como el cobre ( $k=389$  W/mK), son buenos conductores de calor, mientras que otros, como la madera ( $k = 0.148$  W/mK), son malos conductores. La conductividad es una propiedad de los materiales, cuando estos se relacionan con el espesor del objeto se llama conductancia.

$$C = \frac{K}{b} \quad (4)$$

El inverso de la conductancia es:

$$R = \frac{b}{k} \quad (5)$$

El flujo de la energía calorífica por conducción se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$Q_c = A \cdot C \cdot \Delta t \quad (6)$$

donde:

$Q_c$  = flujo de energía calorífica por conducción (W)

$A$  = área expuesta al flujo de calor ( $m^2$ )

$C$  = conductancia del material (W/ $m^2$  K)

$\Delta t$  = diferencia de temperatura entre dos puntos (K)

Conductancia total  $C_T$  será igual al recíproco de  $R_T$

$$C_T = \frac{1}{R_T} \quad (7)$$

### 2.1.2 Convección

Es la transferencia de calor entre líquidos y gases, la cual da como resultado el movimiento de fluido. Además la convección es más rápida que la conducción, cuando se aplica calor a un recipiente con agua la porción que se haya en contacto con el recipiente es calentado por conducción se expande y tiende a subir. El fluido más denso y frío reemplazará al más caliente y menos denso que sube con el cual se crea una circulación convertida. El flujo de energía calorífica por conservación se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_v = A \cdot h_c \cdot \Delta t \quad (8)$$

donde:

$Q_v$  = flujo de energía calorífica por convección superficial (W)

$A$  = área superficial expuesta ( $m^2$ )

$h_c$  = coeficiente de convección (W/ $m^2$ K)

$\Delta t$  = diferencia de temperatura entre la superficie y el aire (K)

El segundo término, la convección se refiere también a la ventilación, es decir pérdidas o ganancias de energía calorífica.

### 2.1.3 Radiación

Es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas, no requiere de la presencia o intervención de la materia para su transporte. La intensidad de radiación emitida por un objeto es proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el receptor. La intensidad de energía radiante recibida depende de:

- La distancia de la fuente de energía
- Del Ángulo de incidencia de la radiación
- De la temperatura del cuerpo radiante y el receptor
- De las cualidades de absorbancia y admitancia de la superficie

El flujo de calor por radiación:

$$Q_r = A \cdot h_r \cdot \Delta t \quad (9)$$

donde:

$Q_r$  = flujo de calor por radiación (W)

$A$  = área expuesta ( $m^2$ )

$h_r$  = coeficiente e radiación (W/ $m^2$ K)

Si se conoce la densidad del flujo radiante incidente ( $G$ ), el calor absorbido por la superficie será:

$$Q_r = G \cdot A \cdot a \quad (10)$$

donde:

$Q_r$  = flujo de calor por radiación (W)

$G$  = densidad de la energía radiante incidente (W/ $m^2$ )

$A$  = superficie expuesta ( $m^2$ )

$a$  = absortancia del material

$fg$  = factor de ganancia solar

Para superficies translúcidas o transparentes:

$$Q_r = G \cdot A \cdot fg \quad (11)$$

### 2.1.4 Balance térmico

Existe balance térmico cuando la suma de todos los flujos de calor es igual a 0:

$$Q_s + Q_i \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_M - Q_E = 0 \quad (12)$$

Cuando la suma sea mayor a cero, la temperatura interior se incrementará; pero cuando sea menor o con signo negativo, decrecerá.

### 3 METODOLOGÍA

Fundamentar el desarrollo e innovación de nuevos productos mediante el método del elemento finito como medio de análisis y el uso de software especializado en el diseño asistido por computadora[4], permite la conjunción y asimilación del concepto de transferencia de tecnología desde un punto de vista creativo, crítico y libre del factor económico, como límite del alto desempeño en ingeniería.

Siendo los KBES herramientas indispensables en el proceso de gestión del conocimiento, también permiten ilustrar una gran oportunidad en el Estado de Puebla hacia la gestión de patentes y derechos de propiedad intelectual e industrial (acto donde radica la verdadera importancia de proyecto), siendo el Estado de Puebla una de las economías emergentes que basan su derrama económica en la oferta de productos artesanales (donde inclusive los destinados a la alimentación requieren de tecnología casera para su fabricación en serie).

Sin embargo para que en los productos artesanales pueda ejecutarse una reingeniería, no solo se requiere destreza, también es necesario documentar el proceso de desarrollo del producto [2], por lo que debe acompañarse de una metodología que garantice su transferencia hacia los usuarios finales. Dentro del grupo de mecánica computacional, cada nuevo conocimiento generado, se almacena y gestiona a favor del adiestramiento, capacitación y formación de nuevos alumnos en el desempeño del desarrollo del producto en ingeniería.

El ingeniero en KBES desarrolla una aplicación que, a partir de las variables de entrada y basándose en un modelo parametrizado; crea, en tiempo real, un conjunto de salidas, que van desde los modelos de CAD/CAM/CAE en 3D –exportables a cualquier sistema comercial–, hasta los planos de detalle, los programas de control numérico en la fabricación o planes de comercialización (Supply Chain).

El objetivo principal consiste en desarrollar una simulación CAD/CAM/CAE que permita la optimización de la eficiencia de operación de los calentadores solares.

Entre los objetivos específicos están:

- Determinar la eficiencia térmica de un calentador solar.
- Seleccionar la mejor configuración de entradas y salidas de agua.
- Optimizar la velocidad de flujo del fluido para mejor eficiencia térmica.

#### 3.1 Procedimiento del método del grupo de MC

La implantación y explotación de las tecnologías KBES son por si mismos sistemas multidisciplinarios y ordenados, planear un KBES requiere:

1. Determinar qué productos o procesos son susceptibles de una sistematización.

##### **Tecnologías verdes**

2. Obtención, almacenamiento y mantenimiento de las normas que rigen el proceso que se quiere automatizar.

##### **Teorías y principios termodinámicos y estructurales**

3. Estructuración de estas reglas en un modelo informal.

##### **Calentador solar**

4. Generación del modelo formal.

##### **Modelo CAD/CAM/CAE**

5. Programación de las aplicaciones informáticas.

##### **Simulación por elementos finitos**

#### 3.2 Secuencia

En la PLM la documentación se constituye de manera fluida y ordenada, pues los KBES demandan que un proyecto tecnológico debe ser multidisciplinario e incluyente con todos los sectores de la empresa, que requiere por definición la generación de los equipos de:

- Expertos en el(los) dominio(s) de conocimiento
- Usuarios finales
- Analistas y desarrolladores de software

El análisis que se lleva a cabo en los KBES mediante equipos de trabajo deben desempeñarse de manera organizada en las siguientes fases, las cuales regulan el grado de implicación de los sectores de la empresa:

1. Diseño
2. Análisis o Ingeniería
3. Optimización
4. Ingeniería de Detalle
5. Fabricación

En una fase tradicional de diseño se integra un entorno de modelado de sólidos/superficies, que permite la configuración y diagrama de los elementos estructurales, definición de sus dimensiones, parámetros topológicos y propiedades de los materiales[4]. Sin embargo, los diseños multifísicos son más com-



plejos e integran condiciones de flujo de fluidos y térmicas.

Durante la etapa conceptual, los componentes son dimensionados y sometidos a un proceso de parametrización que debe asemejarse a la realidad. Sus propiedades detalladas se derivan automáticamente conforme el proceso evoluciona, mediante los métodos de análisis integrados para el dimensionado estructural, flujo de fluido y térmico, los métodos de fabricación permiten refinar las formas.

Así, el entorno de desarrollo del producto soporta una evolución del diseño eficiente y efectivo. La bondad de esta aproximación radica en la posibilidad de crear representaciones conceptuales de las piezas, en coexistencia con representaciones preliminares y detalladas, que se irán perfilando a lo largo del proceso de diseño, el cual es el reto de la innovación[2].

Entre el diseño y la innovación se encuentra la fase de optimización que permite el devenir y coexistencia de las mejoras y debilidades de un nuevo producto.

Al finalizar la etapa de diseño del producto se encuentra la fase de ingeniería de detalle, que comprende la obtención automática de los planos de fabricación y montaje realizados a través de la optimización de modelos sólidos del producto y con el avance tecnológico también de su afectación bajo condiciones extremas de operación y desgaste.

Finalmente la fase de fabricación estima los tiempos y movimientos involucrados en la producción que permite estimar la fase de comercialización y posicionamiento del producto.

## 4 DESARROLLO

Se lleva a cabo a través del procedimiento descrito en la metodología.

### 4.1 Aspectos de Innovación

El grado de innovación es alto a través de la implementación de KBES, que permite el diseño virtual en el proceso de desarrollo del producto. Se apertura una nueva dinámica para la protección de los derechos intelectuales y mejorar los indicadores de las Instituciones de Educación Superior (IES) en este rubro. Asimismo la generación de patentes se vincula con altas posibilidades a través del uso de escáner e impresora en 3D

La competitividad de las PyMES se encuentra con una amplia oportunidad en el manejo del saber y saber-hacer generado, haciendo extensivo su campo de aplicaciones a la economía del conocimiento

y este a su vez permite la participación como empresas certificadas y acreditadas (área que no será de libre acceso a todas las compañías). A partir de un diseño se intercambian materiales, geometrías, y características de instalación, etc; con la capacidad de observar visualmente el comportamiento del flujo térmico y del fluido (velocidad, zonas frías, ganancias de calor, etc.).

Al evitar los altos costos por la construcción de prototipos físicos, que posteriormente serán evaluados en su capacidad por medio de la variable eficiencia térmica<sup>1</sup> (se consideran de alto costo porque al no resultar favorables se hace necesario la construcción de un segundo o tercer prototipo según sea el caso), entonces las PyMES se encuentran en una situación de alta competitividad. A través de los KBES las evaluaciones del desarrollo del producto serán más fluidas, el manejo de información se lleva a cabo de manera sistemática y los reportes en la toma de decisiones serán más contundentes y operativos.

Los parámetros obtenidos de la simulación serán comparados, con las hojas técnicas del calentador solar y se determinan desviaciones en función de la eficacia y eficiencia del sistema.

### 4.2 Despiece del calentador de acuerdo a planos del fabricante

La tabla de datos técnicos (tabla 1), es el inicio en la generación de información, organización y almacenamiento de la información, que posteriormente se convertirá en conocimiento y permitirá que los ingenieros de desarrollo del producto sean más eficientes con menos recursos, así como optimizar la funcionalidad del bien de consumo.

La figura 3 muestra los componentes de origen del calentador solar, los cuales carecen de número de parte y parametrización. Prevalce la arquitectura de construcción de la estructura de corte artesanal. Si bien existen elementos de producción en serie, la conexión e instalación finales carecen de documentación y los problemas son resueltos por la experiencia y pericia del personal de montaje.

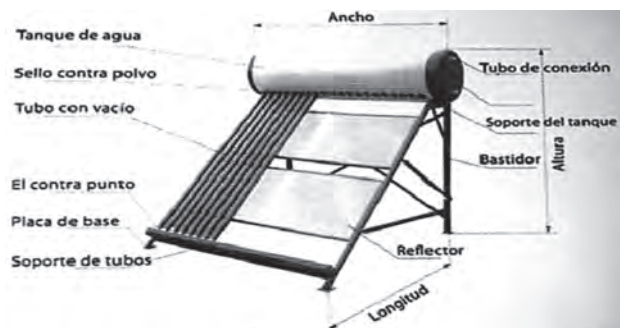
#### 4.2.1 Toma de temperaturas

La toma de temperaturas se llevó a cabo por medio de un termómetro infrarrojo, durante 9 días y tres diferentes horarios, para obtener el promedio de temperaturas en los elementos de interés como el tubo, la radiación del suelo y la toma de salida del agua, ver tabla 2.

<sup>1</sup> La eficiencia es la variable clave de este proceso de reingeniería y el análisis se centrará en su optimización.

**Tabla 1.** Datos técnicos del calentador solar.

CARACTERÍSTICAS	CALENTADOR
Modelo	200 Litros
Estructura	Sin datos
Diámetro del tubo externo	Sin datos
Diámetro del tubo interior	Sin datos
Espesor del tubo exterior	Sin datos
Espesor del tubo interior	Sin datos
Longitud del tubo	1500 mm
Material del recubrimiento	Sin datos
<b>Eficiencia</b>	<b>60 - 70%</b>
Temperatura de estabilización (alta)	Sin datos
Coefficiente de pérdida de calor	Sin datos
Capacidad de soportar presión	Sin datos
Temp. agua tinaco °C	Sin datos
Temp. agua entrada calentador °C	Sin datos
Temp. agua salida calentador °C	Superior a 60
Temp. tubo °C	Sin datos
Temp. colector °C	Sin datos
Temp. radiación al piso °C	Sin datos



**Figura 3.** Componente del calentador solar.

Los datos de temperatura promedio obtenidos son:

**Tabla 2.** Resumen de los promedios de la temperatura.

Elemento	Promedio temperatura en °C
Tubo	20.50
Colector	24.85
Agua	50.07
Suelo	29.06

La importancia de esta información es vital en el proceso de generación del conocimiento, puesto que se observa en la tabla 1 (Anexo 1), que estos datos de temperatura no son proporcionados por el fabricante.

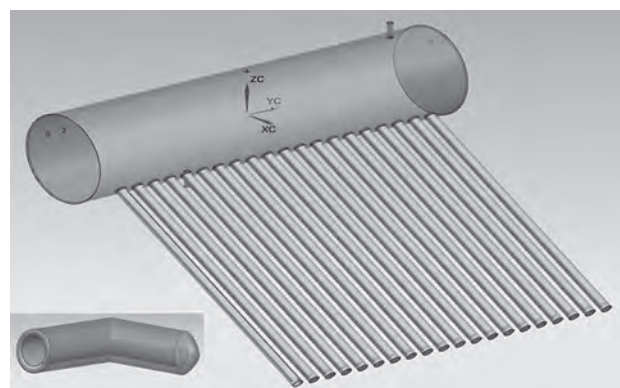
#### 4.3 Desarrollo del modelo formal en CAD/CAM/CAE-NX

Para desarrollar el modelo en CAD/CAM/CAE, se dividió el producto en sistemas y elementos y así de-

terminar su naturaleza y principios físicos. De esta manera es posible determinar el mejor modelo FEM a utilizar. Como resultado se determinó un sistema mecánico (estructural) y un sistema térmico (convección) que se resuelve por la ecuación 8.

##### 4.3.1 Sistema térmico (convección)

Consta de un colector de tubos de policarbonato al vacío y un tanque de acero inoxidable, con un conducto de entrada y un conducto de salida. Que permite aplicar la primera ley de la termodinámica y la ecuación de continuidad para el análisis dimensional y analítico, del balance térmico (ecuación 12).



**Figura 4.** Sistema de convección y detalle de los extremos del tubo.

##### 4.3.2 Sistema mecánico (estructural)

Se compone de una estructura de metal en su mayoría de perfil y lámina de calibre 20, pintura al horno. La función de la estructura es única y permite sostener a un colector de 200 litros, su análisis encuentra su solución en las ecuaciones del equilibrio estático, sin embargo este proceso no es de interés en el trabajo actual. Además de ofrecer una superficie de reflexión para captar mayor radiación solar en los tubos de policarbonato (ecuación 9 y 10).



**Figura 5.** Sistema estructural, soporte del tanque y tubos.

#### 4.4 Determinar los sistemas y elementos en los que existen condiciones de flujo, térmico y flujo-térmico

Se han identificado condiciones a:

Nivel elemento

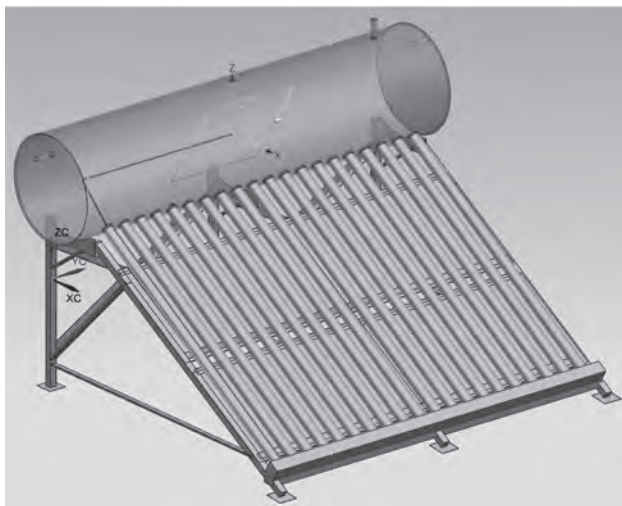
- Convección en el tubo colector
- Convección en tanque
- Flujo-térmico continuo de agua

Nivel sistema

- Es un sistema térmico-estructural de transferencia de calor y masa cerrado, además de un sistema de transferencia de calor abierto, donde interactúan los tres modos de transferencia de calor.

#### 4.5 Desarrollo CAE-FEM en NX

En la figura 6 se muestra el sistema completo, que de ser modelado en conjunto representa una condición de simulación compleja y de carácter multifísico, para el trabajo a desarrollar es necesario dividir las geometrías en sus componentes simples y simular cada uno de ellos de manera independiente.

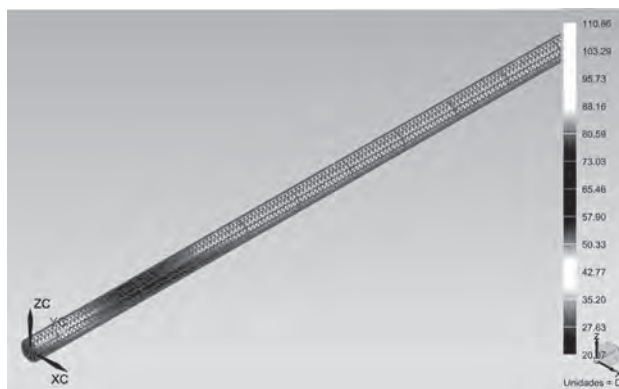


**Figura 6.** Sistema térmico-estructural.

#### 4.6 Simulación CAE-FEM en NX

##### 4.6.1 Convección en el tubo colector

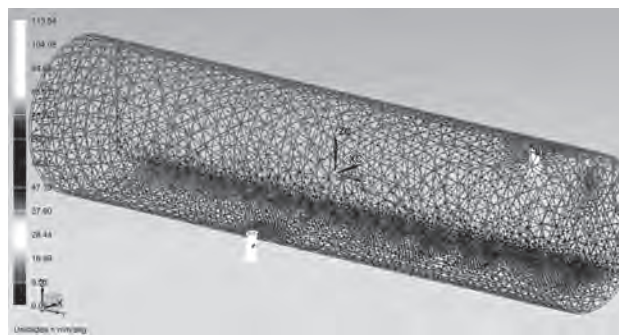
Se realizó la simulación térmica del tubo como elemento del colector solar, los resultados obtenidos de la simulación independiente se toman como los datos de entrada al tanque temperatura igual a 100°C. Considerando que todos los tubos se encuentran conectados en paralelo y trabajan bajo las mismas condiciones de frontera.



**Figura 7.** Resultados de la simulación de la convección en el tubo al vacío.

##### 4.6.2 Convección en tanque

La simulación del tanque se refiere con alto grado de complejidad debido a que tiene una entrada una salida y 20 condiciones de suministro de calor, el proceso de convección se adiciona una condición de transferencia de masa y se opta por una convección en sistema cerrado.



**Figura 8.** Resultados de la simulación de la convección en el tanque.

#### 4.7 Análisis de resultados de la Simulación en NX

A partir de la base CAD/CAM/CAE estructurada y organizada a partir de un KBES, es posible generar una serie de simulaciones que recrean diversas condiciones de operación. Después de analizar las posibles mejoras al sistema se determina como oportunidad de mejora el realizar modificaciones a la geometría a nivel elemento, quedando determinadas de la siguiente manera:

- Tubo 1500 mm x16 mm
- Tubo 1500 mm x32 mm
- Tubo 1500 mm x64 mm

Para cada cambio de geometría se llevó a cabo la simulación para tres materiales diferentes: cobre, aluminio y acero. Los resultados se registran en la tabla 3.



**Tabla 3.** Registro de los resultados de simulación del elemento tubo.

Dimensiones tubo	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
2500 x32	16.81	211.53	4.19E-06
1500x32	13.9	79.51	1.47E-06
500x32	8.618	65.02	9.16E-07
2500x64	17.36	60.93	1.54E-06
1500x64	15.26	44.81	8.75E-07
500x64	9.89	29.467	2.66E-07
2500x16	5.56E-08	20	0.00E+00
1500x16	2.72E-07	20	0.00E+00
500x16	1.20E-07	20	0.00E+00
<b>material</b>			
material	velocidad mm/s	temperatura del fluido °C	presion estatica Mpa
Cobre 1500x32	13.85	85.3	1.58E-06
Aluminio 1500x32	13.91	84.12	1.54E-06
Acero 1500x32	13.85	81.23	1.48E-06

**Tabla 4.** Velocidades del tanque de 100 mm/s.

ACERO INOXIDABLE		VELOCIDAD 400 mm/s	
Dimensiones tanque	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
470X1900; 26 mm	6.233	48.86	9.19E-06
470X1900; 52 mm	4.159	30.565	3.56E-06
470X1900; 104 mm	19.967	23.876	1.71E-06
<b>ACERO</b>		VELOCIDAD 400 mm/s	
Dimensiones tanque	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
470X1900; 26 mm	6.152	48.855	9.19E-06
470X1900; 52 mm	4.634	30.081	3.41E-06
470X1900; 104 mm	22	23.26	1.69E-06
<b>ALUMINIO</b>		VELOCIDAD 400 mm/s	
Dimensiones tanque	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
470X1900; 26 mm	6.004	48.755	8.77E-06
470X1900; 52 mm	7.131	29.862	3.42E-06
470X1900; 104 mm	23.867	23.265	1.76E-06
<b>PVC</b>		VELOCIDAD 400 mm/s	
Dimensiones tanque	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
470X1900; 26 mm	6.267	48.863	9.19E-06
470X1900; 52 mm	7.179	30.015	3.56E-06
470X1900; 104 mm	23.851	23.146	1.76E-06
<b>POLICARBONATO</b>		VELOCIDAD 200 mm/s	
Dimensiones tanque	Velocidad mm/s	Temperatura del fluido °C	Presión estática Mpa
470X1900; 26 mm	9.135	48.782	8.90E-06
470X1900; 52 mm	7.039	29.853	3.56E-06
470X1900; 104 mm	21.835	23.502	1.76E-06

Asimismo a nivel elemento tanque se modifica la velocidad de entrada y salida del mismo:

- Tanque 100mm/s
- Tanque 200 mm/s
- Tanque 400 mm/s

Para cada cambio de geometría se llevó a cabo la simulación para tres materiales diferentes acero, aluminio y PVC. Los resultados se registran en formatos como la tabla 4, que muestra los resultados de la simulación de velocidad a 400 mm/s.

#### 4.8. Desarrollo de tabla comparativa de eficiencias

Al llevar a cabo las simulaciones correspondientes a los diversos escenarios de optimización del diseño, se observa en la tabla 3, que la mejor eficiencia se encuentra con la geometría actual 1500 mm x32 mm, existe también una mejora significativa cuando la longitud del tubo se incrementa a 2500 mm x32 mm, sin embargo, no es recomendable para las casas habitación tipo residencial, ya que las dimensiones del prototipo superan las dimensiones de una casa habitación de interés social.

En cuanto a la mejora del material, se aprecia un significativo incremento al emplear cobre en sustituto del policarbonato. Sin embargo esta mejora no es posible como recomendación debido al alto costo del material e incremento del producto final y a los problemas de incrustación de sarro, que disminuye la vida útil de la tubería.

La mejor relación velocidad-temperatura (ver tabla 4), se da en los valores de referencia de gasto de 12.74 lt/min, y cuando se tiene una velocidad de entrada de 100 mm/s y un diámetro de entrada/salida de 26 mm. Teniendo como material el acero. Lo cual representa una disminución del costo del tanque, pero una pérdida de funcionalidad a largo plazo (ya que se genera mayor incrustación de sarro y corrosión) ya que su vida útil se ve disminuida por problemas de oxidación.

## 5 CONCLUSIONES

Al observar la tabla 5, se puede concluir que el desarrollo de la simulación del prototipo virtual mediante la metodología, técnica y herramientas propuestas, se considera viable. Porque las eficiencias alcanzadas bajo las mismas condiciones son similares. Verificando que la tecnología actual en cuanto a calentadores solares es baja y son necesarias mejoras tecnológicas en el área de flujo-térmico, más que en el mecanismo de radiación y convección.

Asimismo durante el proceso de optimización fue posible alcanzar mejoras en la eficiencia, mediante cambios en las dimensiones de los tubos colectores, que no fue posible aplicar por las condiciones del tipo de vivienda de interés social.

El objetivo y metas se alcanzaron, ya que actualmente la tecnología CAD/CAM/CAE, cuenta con herramientas de alta especialización que permiten una

**Tabla 5.** Tabla comparativa de eficiencias reales y resultados de la simulación.

CARACTERÍSTICAS	CALENTADOR		NX 8.5 SIEMENS
	DATOS TÉCNICOS	EXPERIMENTALES	SIMULACIÓN
Modelo	SY-20-24 200 Litros	SY-20-24 200 Litros	Volumen 200 litros
Estructura	Sin datos	Acero comercial	Steel Rolled
Diámetro del tubo externo	Sin datos	48 mm	48 mm
Diámetro del tubo interior	Sin datos	33 mm	33 mm
Espesor del tubo exterior	Sin datos	1 mm	1 mm
Espesor del tubo interior	Sin datos	1 mm	1 mm
Longitud del tubo	1500 mm	1500 mm	1500 mm
Material del recubrimiento	Sin datos	Borosilicato	Cuerpo negro
<b>Eficiencia</b>	<b>60 - 70%</b>	<b>69.03%</b>	<b>63.94%</b>
Temperatura de estabilización (alta)	Sin datos	59.08 °C	50.75
Coeficiente de pérdida de calor	Sin datos	0.6 w/ m <sup>2</sup>	0.6 w/ m <sup>2</sup>
Capacidad de soportar presión	Sin datos	1 MPa	1 MPa
Temp. agua tinaco °C	Sin datos	18.3	18.3
Temp. agua entrada calentador °C	Sin datos	18.3	18.3
Temp. agua salida calentador °C	Superior a 60	59.08	50.75
Temp. tubo °C	Sin datos	20.5	NO REQUERIDO
Temp. colector °C	Sin datos	24.85	NO REQUERIDO
Temp. radiación al piso °C	Sin datos	29.06	NO REQUERIDO

fluida documentación de los desarrollos de las tecnologías verdes, manteniendo una constante generación de conocimiento que son administradas mediante los KBES, situando actualmente al grupo de MC de la FI BUAP, con altas posibilidades de prestación de servicios de asesoría y consultoría en el diseño, simulación y optimización de la eficiencia flujo-térmica en el área de las tecnologías verdes.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Stjepandić, W. Verhagen y N. Wognum, *Concurrent Engineering in the 21st Century. Foundations, Developments and Challenges*, Zuiza: Springer, 2015.
- [2] K. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, México: Mc Graw Hill, 2013.
- [3] I. Pilatowsky, *Sistemas de calentamiento solar de agua*, México: Trillas, 2013.
- [4] P. Goncharov, I. Artamonov y T. Khalitov, *Ingeniería con NX Advanced Simulation*, United Kingdom: LULU, 2015.
- [5] R. Lacomba, *Arquitectura solar y sustentabilidad*, México: Trillas, 2012.
- [6] J. A. del Ángel y R. Antonio Sarmiento, *Sistema solar de calentamiento del agua del albergue de Temascalapa, Veracruz*, Energética Vol. XXV, 2004.
- [7] G. S. Omar, *Energías Renovables*, México: Trillas, 2004.
- [8] Instructor, Online, *NX 10 Tutorial*, Published by Online Instructor, 2015.
- [9] Instructor, Online, *NX 9 Tutorial*, Published by Online Instructor, 2014.
- [10] CONAE, *Lista de proveedores*, 15 01 2016. [En línea]. Available: [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_lista\\_de\\_proveedores\\_HV](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_lista_de_proveedores_HV).
- [11] T. Perales Benito, *Instalación de paneles solares térmicos*, México: ALFAOMEGA, 2008.

profesional 2016

### calendario escolar

enero	febrero	marzo	abril
D L M M J V S 3 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
mayo	junio	julio	agosto
D L M M J V S 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
septiembre	octubre	noviembre	diciembre
D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	D L M M J V S 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

#### Actividades académicas administrativas

- Reinicio de Actividades
- Inicio de cursos
- Fin de cursos y exámenes
- Reinscripción
- Evaluaciones ordinarias y extraordinarias
- Actividades de gestión académica
- Suspensión de labores
- Vacaciones
- Día de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- Rally de bienvenida

**Inicio de actividades 2017: 3 de enero**  
Aprobado por el H. Consejo Universitario el 23 de noviembre de 2015



Anexo 1. Resumen de la toma de temperaturas.

TEMPERATURA								
20-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA		
	21.7	12:55:28	15	12:55:43	33.7	12:53:00		
	5.7	12:57:35	11.1	12:56:32	30.8	12:53:19		
	20.9	12:58:31	15.4	12:58:17	27.5	12:53:35		
	16.1		13.83333333		30.66666667			
21-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	21.9	13:25:49	29	13:29:25	57.4	13:27:14	39.8	13:24:37
	24	13:26:33	29		53.1	13:28:11	39.3	13:25:10
	22.9	13:28:49			50.8	13:31:29	39.55	
	22.93333333				51.4	13:32:00		
					51	13:32:38		
					52.74			
22-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	AGUA (TINACO)	HORA
	25.1	16:56:16	31.6	16:56:49	66	16:57:54	41.1	16:55:17
	25.1		31.6		68	16:58:21	41.1	
					67.5	16:59:01		
					60.9	17:02:26		
					59.4	17:03:50		
					64.36			
23-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	12.4	09:12:47	22.9	09:13:26	52	09:15:21	22	09:11:45
	12.4		22.9		52		22	
24-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	24.9	17:06:59	28.3	17:07:23	71.7	17:08:09	32.3	17:06:05
	24.9		28.3		72.6	17:08:35	32.5	17:06:28
					72.3	17:09:07	32.4	
					72.2			
25-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	20.3	10:15:10	21.8	10:16:22	57.4	10:18:13	28.3	10:13:49
	22.5	18:07:15	22.2	10:16:47	53.2	10:19:53	35.7	18:06:05
	21.4		24	18:07:56	51.2	10:21:45	32	
			22.66666667		71.9	18:09:32		
					58.425			
26-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	25.4	17:10:24	26.9	17:10:45	72.7	17:12:16	32	17:09:43
	25.4		28.2	17:11:18	72.8	17:13:35	32	
			27.55		72.2	17:14:28		
					63.8	17:30:28		
					65.7	17:31:13		
					69.44			
27-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	15	20:11:42	22.6	20:12:20	72.6	20:13:45	22.5	20:11:09
	15		22.6		72.4	20:14:26	22.5	
					65.9	20:17:01		
					70.3			
28-jun-15								
FECHA	TUBO	HORA	COLECTOR	HORA	AGUA (SALIDA)	HORA	SUELO	HORA
	21.3	09:55:58	25.2	09:56:27	60.2	09:57:37	23	09:55:22
	21.3		25.2		60.1	09:58:14	23	
					61.9	20:28:17		
					61.5	20:28:56		
					60.925			
TEMPERATURA PROMEDIO								
TUBO	20.5037037							
COLECTOR	24.85							
AGUA (SALIDA)	59.07895833							
SUELO	29.06428571							

## Potencializa tus capacidades

### DIPLOMADOS

- **Diplomado Profesional en Enterprise Resource Planning (ERP´s) con SAP Business One**
- **Lean Six Sigma para certificación Green Belt**
- **Aplicaciones en Excel Avanzado y Macros**
- **Simulación de Procesos para la Toma de Decisiones**
- **Manufactura Esbelta**
- **Control Industrial**
- **Diseño Mecánico Industrial**
- **Quality Core Tools para la Industria Automotriz**
- **Construcción y rehabilitación de Pavimentos**



### Informes

Educación Continua de la Facultad de Ingeniería

Edificio ING2 Posgrado y Educación Continua, Segundo Nivel

(222) 229 55 00 ext. 7626 fi.educont@gmail.com <http://www.ingenieria.buap.mx>

**PRÓXIMO INICIO**

# Ingeniería y Tecnología

Facultad de Ingeniería  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

La invitación se apertura a todos los documentos que pueden ser reportados mediante, ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN, ARTÍCULOS DE REVISIÓN, ARTÍCULOS DE BUENAS PRÁCTICAS, INFORMES TÉCNICOS y COMUNICACIONES CORTAS y DE PROSPECTIVA, y que se realizan en el idioma español. Estos trabajos deben ser originales e inéditos y no deben de estar siendo considerados en otra revista para su publicación. El autor es el único responsable de las afirmaciones sostenidas en su artículo. Los comentarios y su respuesta serán situados en <http://www.ingenieria.buap.mx>.

## Requisitos, Plantilla y Estructura del trabajo

- Los originales se remitirán preferentemente por correo electrónico a [posgrado.fi.buap@gmail.com](mailto:posgrado.fi.buap@gmail.com), en su defecto serán entregados directamente al editor responsable en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.
- El formato del artículo enviado debe de prepararse mediante una plantilla que se puede descargar en: <http://www.ingenieria.buap.mx>.
- En la medida de lo posible, se debe evitar utilizar un lenguaje de corte excesivamente especializado y el abuso en la utilización de funciones matemáticas, en beneficio de una más fácil comprensión de las ideas expuestas.

Los artículos pueden ser redactados en castellano o inglés (para autores extranjeros), aunque se dará prioridad de Publicación a los que están en ambos idiomas. Sus requisitos son los siguientes:

- El trabajo se debe acompañar de una Carta (o e-mail) de presentación donde el autor solicita la consideración de su trabajo para su publicación indicando:
  - Que es un trabajo original no publicado en otros medios o revistas.
  - Que el artículo no ha sido enviado simultáneamente a otros medios o revistas.
  - Claramente estos tres apartados: Cuál es la aportación original que el trabajo presenta, por qué se ha llevado a cabo y cuáles son los resultados reales obtenidos.
  - Confirmación de la autoría de todos los autores que figuran en el artículo y su contribución intelectual al mismo.
  - Que todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito remitido.
  - Que en el caso de aceptación para su publicación, los autores ceden los derechos al editor, sin cuyo permiso expreso no podrá reproducirse ninguno de los materiales publicados.
- En el caso de que los autores deseen recomendar a tres expertos en la especialidad de su trabajo como posibles evaluadores, podrán hacerlo en esta carta de presentación indicando sus datos de contacto: nombres, e-mail, teléfono, lugar de adscripción.

Con el objeto de facilitar el proceso de "Revisión entre pares", el autor deberá asignar el código INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA de 6 dígitos correspondiente a la temática del artículo (en concordancia con CONACyT), seleccionándolo de entre los códigos disponibles en el sitio <http://www.ingenieria.buap.mx>.

## Formato del artículo

Para la presentación del trabajo se debe utilizar la plantilla Word de formato de artículo, descargable en: <http://www.ingenieria.buap.mx>. Las extensiones para el envío de artículos pueden ser .doc (msword), .rtf, o .txt.

## Cabecera:

- Título del artículo: (en castellano e inglés). El título será breve y conciso con una longitud máxima de 15 palabras. Si es necesario se puede añadir a continuación un subtítulo separado por un punto. Evitar el uso de expresiones vacías, símbolos, fórmulas, abreviaturas o acrónimos.
- Nombre y dos apellidos de cada uno de los autores. Se acompañará un breve currículum y fotografía del autor, si éste así lo deseara, al final de la bibliografía.
- Nombre completo del centro de trabajo de cada uno de los autores, el cual tendrá su referencia debajo del nombre del autor.
- E-mail y número de teléfono.
- El Resumen (en español e inglés) del trabajo será de una extensión máxima de 300 palabras. Se describirá de forma concisa, el motivo y el objetivo de la investigación, la metodología empleada, los resultados más destacados y las principales conclusiones.
- Palabras clave (en castellano e inglés): Debajo del resumen se especificarán de 3 a 5 palabras clave o frases cortas que identifiquen el contenido del trabajo para su inclusión en los repertorios y bases de datos nacionales e internacionales.

## Texto del artículo:

El artículo tendrá una extensión máxima de 6,000 palabras (En casos excepcionales, se podrá concertar con el editor responsable de RITFIBUAP una extensión superior, la cual será sometida a la aprobación del Consejo de Redacción.)

Todas las siglas citadas deberán ser aclaradas en su significado.

Se utilizarán cifras arábigas para la paginación y para la numeración de los apartados y sub-apartados del artículo. La utilización de unidades de medida seguirá la normativa del Sistema Internacional.

## Imágenes, figuras y gráficas

Se recomienda para imágenes, gráficas y fotografías una calidad mínima de 300 ppi; esas se deben adjuntar por separado en un archivo anexo, agregando en ambos archivos la referencia correspondiente (ej: Figura 1, Imagen 1, Fotografía 1, etc.). Los dibujos de líneas deben tener una resolución mínima de 800 dpi (preferiblemente 1200 dpi).

## Referencias bibliográficas

Estas se adaptaran de acuerdo al formato de referencias Harvard o IEEE.

[1] Alaniz-Álvarez (2003). La Revista Mexicana de Ciencias Geológicas a través de los índices de impacto del Institute for Scientific Information. Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVI, Núm. 1, 2003, P. 87-98.



**BUAP****INGENIERÍA**  
FACULTAD

A Ingenieros y Profesionistas de áreas afines,  
interesados en cursar:

## Maestría en Ingeniería

con opción terminal en:

- Construcción
- Geotecnia
- Estructuras\*
- Sistemas Eléctricos de Potencia\*
- Tránsito y Transporte

**CONACYT**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

**Convocatoria**

\* Opciones terminales inscritas al  
PNPC de CONACYT

Programa Nacional de Posgrado de Calidad  
con oportunidad de tramitar becas para  
estudiantes de tiempo completo

# MAESTRÍAS

## 2017

### Requisitos

El curso propedéutico se llevará a cabo los viernes de 17:00 a 21:00 horas y los sábados de 8:00 a 14:00 horas. Los aspirantes a inscribirse al curso propedéutico y que ya se hayan entrevistado con el coordinador de la maestría de su interés, deben acudir a la Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado ubicada en el edificio ING2 planta alta, del 20 de junio al 8 de julio, de lunes a viernes de 9:00 a 15:00 horas, para entregar la siguiente documentación:

- Formato de admisión que deberá solicitar al correo [posgradoicv@gmail.com](mailto:posgradoicv@gmail.com)
- Título profesional\*
- Cédula profesional\*
- Acta de nacimiento\*
- Certificado de calificaciones de Licenciatura (promedio mínimo de 8.5), si no aparece su promedio general, es necesaria una constancia de promedio del programa de licenciatura
- Currículum Vitae resumido (una cuartilla)
- CURP
- 2 fotografías tamaño infantil blanco y negro
- Cursar y aprobar con calificación mínima de 8.5 las materias del curso propedéutico
- Alumnos extranjeros deberán presentar documentos apostillados o legalizados en la embajada de su país
- Pago de derechos (imprimir su ficha bancaria en la página [www.ingenieria.buap.mx](http://www.ingenieria.buap.mx) – sistema de pagos referenciados)

\*copia notarial en tamaño carta de buena calidad

### Calendario de Actividades

15 DE JUNIO AL 9 DE JULIO Y DEL

1 AL 25 DE AGOSTO 2016

ENTREVISTAS\* E INSCRIPCIÓN AL CURSO PROPEDEÚTICO

2 DE SEPTIEMBRE AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2016

CURSO PROPEDEÚTICO

80 HORAS

DURACIÓN DE CURSO PROPEDEÚTICO

15 DE NOVIEMBRE DE 2016

PUBLICACIÓN DE ACEPTADOS

16 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 2016

INSCRIPCIÓN A LA MAESTRÍA

8 DE ENERO DE 2017

INICIO DE CLASES DE LA MAESTRÍA

\*PARA ENTREVISTA DEBERÁ AGENDAR SU CITA VÍA TELEFÓNICA

### Costo

Concepto	Nacionales	Extranjeros
Curso propedéutico	\$3,500.00	770 USD

### Informes:

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
de la Facultad de Ingeniería  
Edificio ING2, planta alta, Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla  
Teléfono: (222) 229 5500 ext. 7618  
correo electrónico: [posgradoicv@gmail.com](mailto:posgradoicv@gmail.com)

[www.ingenieria.buap.mx](http://www.ingenieria.buap.mx)



Por la identidad en Ingeniería

