

Volumen 1, Número 2 – Octubre – Diciembre - 2017

ISSN 2523-2428

# Revista de Ingeniería Civil

**ECORFAN®**



**ECORFAN-Republic of Peru**

## **Indización**

- RESEARCH GATE
- GOOGLE SCHOLAR
- HISPANA
- MENDELEY

## **ECORFAN-Perú**

### **Directorio Principal**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

### **Director Regional**

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD.

### **Director de la Revista**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

### **Edición Tipográfica**

IGLESIAS SUAREZ- Fernando, BsC

### **Edición de Logística**

SERRUDO GONZALES- Javier, BsC

Revista de Ingeniería Civil, Volumen 1, Número 2, de Octubre a Diciembre 2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2428. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 31 de Diciembre 2017.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

## **Consejo Editorial**

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario, PhD  
*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM-México*

ROMAN-KALISCH, Manuel Arturo, PhD  
*Universidad Autónoma de Yucatán-México*

SOUSA-GONZÁLEZ, Eduardo, PhD  
*Universidad Autónoma de Nuevo León-México*

ARANCIBIA-VALVERDE, María Elena, PhD  
*Universidad Pedagógica Enrique José Varona de la Habana-Cuba*

SALINAS-AVILES, Oscar Hilario, PhD  
*Centro de Investigación en Energía-UNAM-México*

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman, PhD  
*Federal University of Mato Grosso-Brazil*

PÉREZ-ROBLES, Juan Francisco, PhD  
*CINVESTAV-IPN-México*

PARTIDA-RUVALCABA, Leopoldo, PhD.  
*Universidad Tecnológica de Culiacán-México*

MARTÍNEZ-RIVERA, María de los Ángeles, PhD  
*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IP- México*

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor PhD  
*Universidad Central de Venezuela-Venezuela*

DE LA FUENTE-SALCIDO, Norma Margarita, PhD  
*Universidad Autónoma de Coahuila-México*

## **Consejo Arbitral**

MPC, PhD

*Universidad de Valladolid- Spain*

GGO, PhD

*Universidad Autónoma Metropolitana- México*

DGS, PhD

*Universidad de Guadalajara- México*

RLR, PhD

*Universidad Autónoma de Sonora-México*

CBMT, PhD

*Universidad Autónoma de Baja California-México*

HGV, BsC

*Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología-México*

GOH, PhD

*Facultad de Química, UNAM-México*

EZNG, PhD

*Instituto Nacional de Cardiología-México*

## Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Revista de Ingeniería Civil.

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión de la Editora en Jefe.

Como primer artículo está Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del Agua por KAMPFNER, Oscar, HERNÁNDEZ, Isabel, VÁZQUEZ, Mónica y TÉLLEZ, Laura, como siguiente artículo esta Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo por MENDOZA, Isabel y CHÁVEZ, Sandra, como siguiente artículo esta Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil por ÁLVAREZ, Luis, MEDINA, Juan y MORALES, Luis, como siguiente artículo esta Esfuerzos en placas de anclaje de anuncios espectaculares causadas por la acción del viento por BALTAZAR-MALDONADO, Jorge y BALTAZAR-SALAZAR, Jorge con adscripción *Instituto Tecnológico de Pachuca*.

## Contenido

Artículo	Página
Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del Agua <b>KAMPFNER, Oscar, HERNÁNDEZ, Isabel, VÁZQUEZ, Mónica y TÉLLEZ, Laura</b>	1-8
Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo <b>MENDOZA, Isabel y CHÁVEZ, Sandra</b>	9-14
Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil <b>ÁLVAREZ, Luis, MEDINA, Juan y MORALES, Luis</b>	15-26
Esfuerzos en placas de anclaje de anuncios espectaculares causadas por la acción del viento <b>BALTAZAR-MALDONADO, Jorge y BALTAZAR-SALAZAR, Jorge</b>	27-32
<i>Instrucciones para Autores</i>	
<i>Formato de Originalidad</i>	
<i>Formato de Autorización</i>	

## **Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del Agua**

KAMPFNER, Oscar†\*, HERNÁNDEZ, Isabel, VÁZQUEZ, Mónica y TÉLLEZ, Laura

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### **Resumen**

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) nace el 16 de enero de 1989 como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para atender todos los asuntos relacionados con la administración de las aguas nacionales y sus bienes inherentes. La creación de Conagua obedece a que el gobierno federal reconoció el valor estratégico del agua, con la premisa de que un país sin agua no puede desarrollarse. Las dependencias que le antecedieron se encargaron de la construcción de infraestructura que requería el país; sin embargo, la tarea que actualmente tiene es la preservación del agua, con la participación de los 3 órdenes de gobierno y la sociedad organizada. Uno de los objetivos rectores de Conagua es "Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones". Para atender este objetivo rector, la Dirección Local de Conagua se ha organizado para atender las contingencias meteorológicas que se presenten en el estado de Hidalgo; de manera coordinada con el Gobierno del Estado; ha desarrollado la planeación de la administración de riesgos.

**Administración del agua, fenómenos meteorológicos, prevención, administración de riesgos**

### **Abstract**

The Comisión Nacional del Agua (Conagua) was born on January 16, 1989 as a decentralized institution of the Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, to attend all the issues related to the administration of national waters and assets inherent. The creation of the Conagua is because the federal government recognized the strategic value of water, with the premise that a country without water, can not develop. The agencies that preceded, were responsible for the construction of infrastructure required by the country; however, the task currently is the preservation of water, with the participation of the 3 levels of government and organized society. One of the guiding objectives of the Conagua is "Increase water security in the event of droughts and floods". Guiding objective to attend, the Local Direction of Conagua has been organized to attend to the meteorological contingencies arising in Hidalgo State, in coordination with the State Government; planning has developed risk management.

**Water management, weather, prevention, risk management**

**Citación:** KAMPFNER, Oscar, HERNÁNDEZ, Isabel, VÁZQUEZ, Mónica y TÉLLEZ, Laura. Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del Agua. Revista de Ingeniería Civil 2017. 1-2:1-8

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: oscar.kampfner@itpachuca.edu.mx

## Introducción

La República Mexicana por su ubicación geográfica es vulnerable a los diversos fenómenos hidroclimatológicos extraordinarios, y en especial a los ciclones tropicales, cuya temporada inicia formalmente el 15 de mayo para el océano pacífico y el 1° de junio para el atlántico; concluyen el 30 de noviembre en ambos litorales. Para el 2017 se pronostican 14 Ciclones Tropicales para el pacífico y 15 para el atlántico.

En la historia moderna, se recuerdan a huracanes por su magnitud y grado de destrucción; es el caso de Gilberto y Diana en los 80 que golpearon el litoral del Golfo de México. En 1997 se presentó sobre el océano pacífico el huracán Paulina el cual provocó destrucción de infraestructura importante de los estados de Guerrero y Oaxaca; un año después se presentó Mitch ocasionando destrucción en Chiapas. El año 2005 fue una temporada extraordinaria con 27 sistemas (14 huracanes y 13 tormentas tropicales), algunos muy intensos como Emily, Katrina, Rita y Wilma de categoría V, Dennis de categoría IV, y María y Beta de categoría III en la escala de Zafiro-Simpson; durante esta temporada siete ciclones impactaron directamente en las costas de México, el huracán Emily y la tormenta tropical Stan, ambos cruzaron la península de Yucatán provocando daños importantes a la infraestructura de la Ciudad de Cancún y siguieron su trayectoria sobre el Golfo de México, tocando tierra por segunda vez en las costas de los Estados de Tamaulipas y Veracruz.

En 1999 en la región de Tulancingo, Hidalgo, se presentó la depresión tropical No. 11, la cual se mantuvo semiestacionaria por la interacción con el frente frío No. 5, lo que originó precipitaciones que acumularon una altura de 243 mm.

Provocando daños importantes en la infraestructura del Valle de Tulancingo. En 2007 el huracán DEAN trajo volúmenes importantes de agua y de nueva cuenta se tuvieron daños a la infraestructura en la región de Tulancingo. En 2011 se presentó el huracán “Arlene” que provocó fuertes precipitaciones; sin embargo, no hubo daños cuantiosos, ya que la infraestructura de drenaje había sido rehabilitada.

Derivado de estos eventos entre otros, la Comisión Nacional del Agua ha adquirido experiencia en el manejo de estas situaciones de emergencia. Por esta razón, el Gobierno Federal le ha encomendado a Comisión Nacional del Agua (Conagua) el desarrollo de estrategias para minimizar los daños ocasionados por los fenómenos hidroclimatológicos y mitigar los daños que ocasionan.

Su participación en la atención de las situaciones de emergencia, en su ámbito de competencia, ha sido fundamental para evitar que estas aumenten su magnitud y centra sus actividades en dotar de agua potable a la población afectada, llevar acciones de saneamiento y reconstrucción de la infraestructura de agua potable, para reestablecer su funcionamiento, de drenaje y de los sistemas de riego.

En los últimos años, Conagua ha realizado una profunda Planeación Estratégica que le ha permitido transformarse para realizar las actividades encomendadas de manera eficiente y ha definido su misión y visión como:

## Misión

“Administrar y preservar en cantidad y calidad las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, con la participación de los usuarios y la sociedad, y con la vinculación de la gestión de los tres órdenes de gobierno.

Para lograr el uso sustentable del recurso, e implementar acciones para enfrentar los fenómenos hidrometeorológicos extremos”.

### Visión

“Ser normativa en materia de agua, Tener capacidad técnica de excelencia, tener un alto espíritu de servicio, ser promotora de la participación de la sociedad a través de los consejos de cuenca y del movimiento ciudadano por el agua, alertar a la sociedad a través de Protección Civil ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos y lograr la autosuficiencia administrativa, técnica y financiera”.

En el sexenio 2013 - 2018 Conagua ha desarrollado y fortalecido su planeación estratégica, lo que le ha permitido definir claramente sus objetivos estratégicos a alcanzar. En este orden de ideas, uno de los objetivos es “Incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones”, el cual contempla la estrategia “Proteger e incrementar la resiliencia de la población y áreas productivas en zonas de riesgo de inundación y/o sequía”; para atenderla se tiene la línea de acción “Fortalecer o en su caso crear grupos especializados de atención de emergencias capacitados y equipados”

En 1999, la depresión tropical No. 11 se estacionó frente a las costas del Estado de Veracruz, provocando la entrada de humedad en ese estado y en el de Hidalgo principalmente, ocasionando precipitaciones fuertes e intensas durante varios días (del 4 al 7 de octubre); para el caso particular del estado de Hidalgo estas ocurrieron sobre las cuencas de los ríos Metztitlán, Tulancingo y Avenidas, causando daños a la ciudad de Tulancingo y comunidades cercanas, en la región de Metztitlán y comunidades que existen en las proximidades del río Metztitlán, incluyendo las zonas de riego.

La Dirección Local Hidalgo de Conagua, se coordinó con el Sistema Estatal de Protección Civil y otras dependencias del ejecutivo estatal y federal, para desarrollar acciones que mitigaran el impacto de las inundaciones; posteriormente, Conagua continuó con acciones de reconstrucción y prevención, para minimizar posibles daños a la población ante otra lluvia extraordinaria.

La Dirección Local coadyuvó para que de manera oportuna se declarara la zona de desastre y por ende se pudieran aplicar recursos del Fondo Nacional de Desastres Naturales (FONDEN). Los sistemas de agua potable que se reconstruyeron fueron 76 aproximadamente con un costo de \$2,581,717.00; así también se reconstruyó la infraestructura hidroagrícola de los Distrito de Riego 003 Tula, 008 Metztitlán y 028 Tulancingo, con una inversión de \$31,301,320.00.

### La administración de riesgos

Con el propósito de ser más eficientes en la atención de contingencias hidrológicas, se desarrolló el programa denominado “La Planeación para la Administración de Emergencias”, en donde se establecen claramente los recursos humanos y materiales con que cuenta la Dirección Local Hidalgo, para situaciones de emergencia y para la prevención.

Formalmente se instalaron los grupos técnicos-administrativo encargados de coordinar y atender, en el ámbito de su competencia, las posibles emergencias hidrológicas, nombrado “Fuerza de Trabajo” que está al mando del Director Local como capitán de grupo.

El personal que es asignado a cada grupo depende de la magnitud de la emergencia.

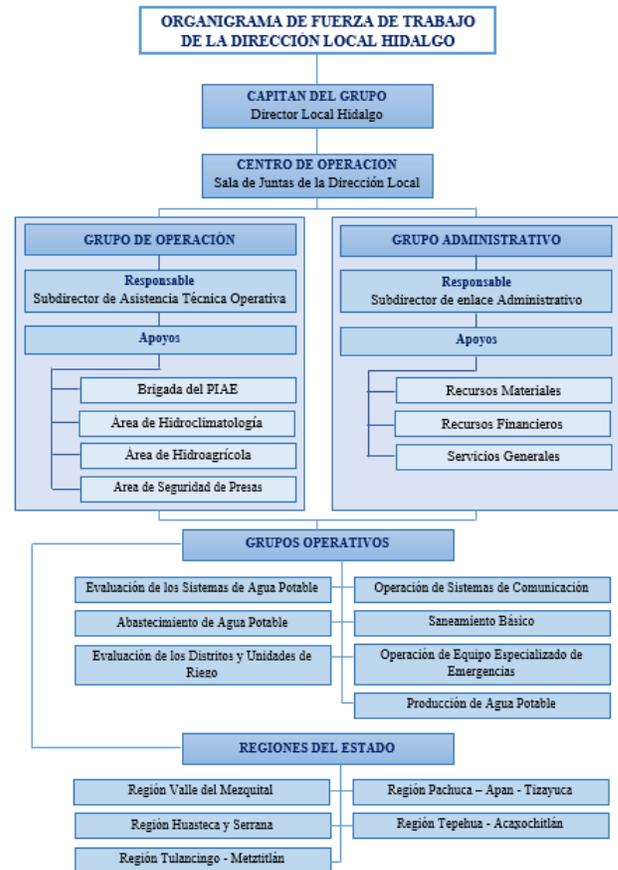
El capitán del grupo es el encargado de coordinar las acciones preventivas, así como las acciones durante y después del evento; se integra al grupo interinstitucional, cuyo jefe en mando es el gobernador del estado, a quien le presenta el informe de daños ocurridos.

El grupo de operación es el encargado de obtener información sobre los daños y presentarle el informe respectivo al capitán del grupo.

El grupo administrativo tiene la responsabilidad de proveer lo necesario para que el personal que interviene en la atención de la emergencia cuente con los recursos necesarios para realizar la tarea encomendada.

Así también, el grupo de tarea cuenta con otras áreas de apoyo:

- Sistemas de comunicación
- Producción de agua potable
- Abastecimiento de agua potable
- Evaluación de distritos y unidades de riego
- Saneamiento básico
- Operación de equipos especializados de emergencia



**Figura 1** Organigrama de la Fuerza de Trabajo

La estructura del grupo “Fuerza de Trabajo”, también se ha organizado de acuerdo a las diferentes regiones del estado, considerando las instalaciones foráneas con las que cuenta la Dirección Local:

- Región Valle del Mezquital
- Región Pachuca-Apan-Tizayuca
- Región Huasteca y Serrana
- Región Tepehua-Acaxochitlán
- Región Tulancingo-Metztitlán

## Operación de la Fuerza de Trabajo

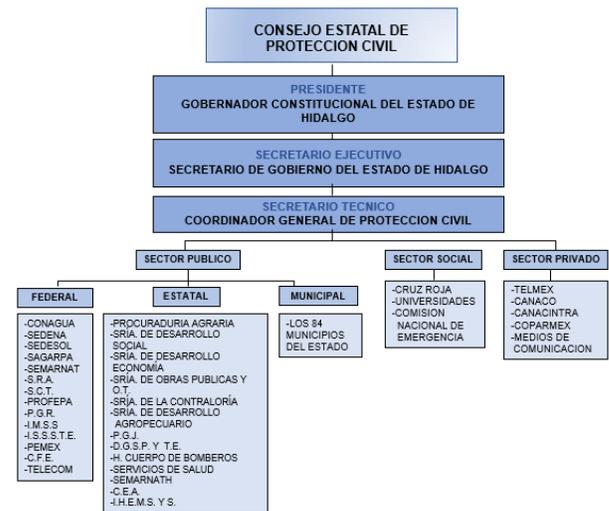
La Fase I denominada Vigilancia Permanente, da inicio a partir del 1° de junio y concluye el 30 de noviembre de cada año y durante esta etapa el grupo de operación da seguimiento a los eventos hidrometeorológicos, con información proporcionada por la Subdirección del Servicio Meteorológico Nacional, así como con apoyo de las imágenes de satélite; siempre y cuando no exista algún sistema que afecte al territorio nacional, se emiten boletines cada 24 o 12 hrs.

La Fase II denominada Alerta Temprana, da inicio al detectarse un ciclón en el Atlántico principalmente, que pudiera acercarse al territorio nacional. En tanto se encuentre a más de 500 kilómetros de las costas nacionales, únicamente se emiten avisos con información proporcionada por la Subdirección del Servicio Meteorológico Nacional cada 6 horas.

La Fase III denominada Alerta Emergente, se inicia cuando un ciclón se encuentra a 500 kilómetros o menos del territorio nacional, a partir de ese momento se emiten avisos con información proporcionada por la Subdirección del Servicio Meteorológico Nacional cada 3 horas; en los avisos se incluye la posición del ciclón, su posible trayectoria, pronóstico y áreas de posibles afectaciones.

El capitán del grupo, con la información recabada informa al consejo estatal de protección civil, a través de su secretario técnico, quien es la instancia responsable de dar a conocer el alertamiento a la población y difundir las recomendaciones, antes, durante y después del fenómeno. Conagua coadyuva también con acciones de información y fomentado una cultura de prevención ante fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios.

El consejo estatal de protección civil está organizado de la siguiente manera:



**Figura 2** Organización del Consejo Estatal de Protección Civil

## Caracterización del estado

El estado comprende una superficie de 20,905.12 kilómetros cuadrados, que constituyen el 1.1% del territorio nacional y tiene 2'235,591 habitantes de los cuales el 50.7% se ubica en zonas rurales y el 49.3% en zonas urbanas. El 94.7 % del territorio hidalguense está localizado en la región hidrológica 26 panuco y el 5.3% en la región hidrológica 27 Tuxpan-Nautla, con una precipitación media anual de 821 milímetros.

El estado está dividido en 84 municipios y 4,749 localidades, de las cuales 4,643 son de menos de 2,500 habitantes, 93 con población entre 2,500 a 20,000 habitantes, 11 que cuentan entre 20,000 a 50,000 habitantes y 2 con más de 50,000.

**Zonas de alto riesgo ante fenómenos extremos**

Como ya se mencionó, la Dirección Local ha regionalizado el estado en función de la distribución de su personal e infraestructura, pero además en cada región definida se ha establecido el tipo de riesgo que se puede presentar. La regionalización definida por Conagua queda como sigue:

Región Huasteca, riesgo por inundación.

- San Felipe Orizatlán
- Jaltocán
- Huejutla de Reyes
- Huazalingo
- Atlapexco
- Yahualica

Región Pachuca-Tizayuca-Apan, riesgo por inundación.

- Tizayuca
- Pachuca de Soto
- Mineral de la Reforma
- Epazoyucan
- Zempoala
- Tlanalapa
- Tepeapulco
- Apan

Región Tula-Actopan-Ixmiquilpan, riesgo por inundación.

- Ixmiquilpan
- Progreso de Obregón
- San Salvador
- Actopan
- Francisco I. Madero
- Mixquiahuala de Juárez
- Ajacuba
- Tlahuelilpan
- Tetepango
- Tlaxcoapan
- Atitalaquia
- Tula de Allende

Región Serrana, riesgo por deslaves.

- Pisaflores
- La Misión
- Lolotla
- Calnali
- Eloxochitlán
- Jacala de Ledesma
- Tepehuacán de Gro.
- Chapulhuacán

- Molango de Escamilla
- Juárez Hidalgo
- Zacualtipán de Ángeles
- San Agustín Metzquititlán
- Xochicoatlán
- Metztitlán
- Tianguistengo
- Tlanchinol
- Tlahuiltepa

Región Tepehua, riesgo por inundación y deslaves.

- San Bartolo Tutotepec
- Huehuetla
- Agua Blanca de Iturbide
- Tenango de Doria
- Metepec

Región Vega de Metztitlán-Tulancingo, riesgo por inundación y deslaves.

- Metztitlán
- Atotonilco el Grande
- Huasca de Ocampo
- Omitlán de Juárez
- Acatlán

- Tulancingo de Bravo
- Acaxochitlán
- Cuautepec de Hinojosa

### Conclusiones

Antes del año 2000, la atención de situaciones de emergencias se realizaba de manera desorganizada y desarticulada por parte de los 3 órdenes de gobierno, quienes aplicaban recursos tanto humanos como económicos, de manera poco eficientes.

A principio de la década del 2000, el Gobierno Federal identificó un área de oportunidad para mejorar la atención de emergencias, dando inicio a lo que denominó “La Planeación de la Administración de Riesgos”, con la premisa de que los fenómenos hidroclimatológicos no se pueden evitar, pero una buena planeación en su atención minimiza los daños. En el sexenio 2000 a 2006, Conagua inició con este proceso y en el caso de la Dirección Local Hidalgo, se dio a la tarea de regionalizar el estado de Hidalgo en función de la infraestructura que tiene a su cargo, con el propósito de revisar el estado que guarda antes de cada época de lluvias; para este efecto designó un encargado para cada región, considerando que la persona asignada la conociera. También conformaron diferentes grupos de trabajo a quienes se les asignaron diferentes funciones (según organigrama de la fuerza de trabajo) para atender antes, durante y después de contingencias una climatológicas.

En el año 2007 se presentó el huracán Dean y la Dirección Local activó los protocolos de la Administración de Riegos para atender esta situación. En la atención a esta emergencia, se presentaron algunas dificultades debido principalmente al mal estado de la infraestructura.

Ya que no se le dio el mantenimiento preventivo requerido. Una vez superada la emergencia, la Dirección Local de la Conagua identificó las áreas de oportunidad que necesitaban atención urgente y reitero a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público la necesidad de rehabilitar el sistema de drenaje en la región de Tulancingo. Entre los años de 2007 a 2010, se realizaron las obras necesarias en este sistema de drenaje y en los diferentes eventos meteorológicos que se han presentado en años reciente en la región de Tulancingo, no se han registrado daños de importancia en la infraestructura urbana.

La experiencia adquirida por la Dirección Local Hidalgo de Conagua, en la atención de emergencias por fenómenos hidrológicos extraordinarios ha sido muy provechosa y ha permitido establecer un orden para su atención, particularmente a través de la creación de grupos especializados en las diferentes tareas que se requieren implementar en estas situaciones, así como de acuerdo con la vulnerabilidad de las regiones geográficas del estado de Hidalgo.

Sería interesante y de mucho provecho llevar a cabo intercambio de experiencias entre estados que hayan atendido emergencias como las descritas y que presenten vulnerabilidad al efecto de fenómenos hidrológicos extraordinarios, con el fin de enriquecer las estrategias a seguir ante estas situaciones y en la que participen los responsables de los gobiernos estatales y municipales.

## Referencias

Gobierno de la República. (2013). Plan Nacional de Desarrollo. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Comisión Nacional del Agua. (2014). Programa Nacional Hídrico. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.

Comisión Nacional del Agua. (2012). "Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México.

## Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo

MENDOZA, Isabel†\* y CHÁVEZ, Sandra

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### Resumen

La industria de la construcción es de las más contaminantes debido a la extracción y fabricación de materiales que producen grandes cantidades de residuos, representando un problema debido a que son vertidos al ambiente de manera irresponsable, no sólo afectando los suelos y agua, sino también el paisaje. Derivado de lo anterior la siguiente investigación tuvo el objetivo de mostrar la factibilidad de reutilización de residuos de construcción y demolición, como agregados de concreto nuevo, con base en la ASTM International y NMX vigentes, para aplicarse en obras civiles con consumos de cementos bajos hasta  $f_c=150$  kg cm-2 y disminuir el impacto ambiental generado por su inadecuado manejo. Para mostrar la factibilidad de la propuesta, se prepararon cilindros de concreto utilizando la práctica normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del concreto. Los resultados mostraron que los agregados, producto del reciclaje de concreto premezclado, producen concretos reciclados clase dos, en obras de construcción como: banquetas, guarniciones, plantillas de concreto pobre, pisos de casa habitación, canchas deportivas y otros usos que se le puedan asociar a obras con concreto de baja resistencia menores a  $f_c=150$  kg cm-2.

### Concreto reciclado, demolición, resistencia

**Citación:** MENDOZA, Isabel y CHÁVEZ, Sandra. Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. Revista de Ingeniería Civil 2017. 1-2:9-14

### Abstract

The construction industry is the pollutants due to the processes of extraction and manufacture of materials that produce waste which are discharged into the environment irresponsibly, affecting soil, water and landscape. Due to the above the aims of this research was demonstrate the feasibility of re-use hydraulic concrete, as new concrete aggregate, based ASTM International and NMX valid, in the civil Works applied with low consumption of cement  $f_c=150$  kg cm-2 and decrease the environmental impact caused by improper handling. The results show the feasibility of proposal, the concrete cylinders were prepared with Standard Practice for the preparation and curing of test tube for concrete analysis. The aggregates elaborated of recycling ready-mix concrete, class two, in construction works such as sidewalks, curbs, templates lean concrete, house room floors, sports courts and other uses associated with concrete of under low resistance to  $f_c=150$  kg cm-2.

### Concrete recycled, demolition, resistance

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: imendoza@itesa.edu.mx

## Introducción

Mundialmente el concreto es uno de los materiales más ampliamente producido y utilizado en la construcción de obras civiles pero también generador de grandes volúmenes de residuos de demolición y desperdicio (Valdés et al., 2011). En algunos países europeos se ha implementado el reciclado de residuos de construcción y demolición logrando reducir notablemente los costos. El reciclar material de construcción y demolición con el fin de darle un nuevo uso, ha tenido gran aceptación en la construcción, debido a que es 100% reciclable, siempre que no esté contaminado y puede ser utilizado con diferentes fines, entre ellos como agregado para un nuevo concreto.

En México el uso de agregados triturados provenientes de obras civiles, se ha utilizado para generar concreto hidráulico reciclado, un material que puede abatir costos y abaratar la edificación (Martínez Molina et al., 2015) además de disminuir la contaminación debido a que representa múltiples ventajas ambientales, pues los residuos no llegarán a cuencas o vertederos a cielo abierto para su disposición final, evitando también el consumo de recursos naturales no renovables, generando así otro beneficio ambiental porque se lograría reducir la demanda y extracción de materias primas naturales como la grava y la arena para el uso en el sector de la construcción (Robayo et al., 2015; Xiao et al., 2012 & Seddik et al., 2012).

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2014), los residuos de la construcción son considerados de manejo especial, los beneficios al manejar adecuadamente y reutilizar éste tipo de residuos son diversos; desde el punto de vista ambiental se generaría mayor impacto.

Pues se reducirían los focos de contaminación alrededor de las ciudades y los problemas de salubridad relacionados con esto (aire, suelo y agua contaminada) (Aldana & Serpell, 2012 & Thomas et al., 2013). Económicamente se podría lograr una reducción considerable en los costos de manejo y disposición final por parte de las autoridades municipales encargadas. Los beneficios sociales incluyen la disminución de vertederos de escombros no autorizados, reduciendo los riesgos ambientales y evitando la desvalorización de los predios cercanos a estos lugares. Por otra parte, al clasificar los residuos de construcción y demolición pueden ser transformados en agregados reciclados de concreto tanto gruesos como finos para la producción de mezclas de concreto y mortero, bases, sub-bases granulares y elementos prefabricados (Malasev et al., 2012; Deshpande et al., 2011 & Lederle & Hiller, 2013).

Experimentalmente los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidos de la utilización de residuos de demolición como adiciones, sustituciones y aditivos empleados en nuevas mezclas de concreto hidráulico y mortero bases cemento y cal, en estados fresco y endurecido, muestran las ventajas de su uso; así lo han mostrado Levy & Hélene (2007). Bedoya & Dzul (2015) apuntan a la posibilidad efectiva de utilizar agregados reciclados en la producción de nuevos concretos para uso masivo en la construcción debido a que se cumplen los límites máximos de sustitución del 50%; aunque Vázquez et al. (2015) han logrado realizar la sustitución de la totalidad del agregado tradicionalmente utilizado. Resultados similares obtuvieron Barbudo et al. (2013) quienes mostraron que una sustitución de 100% de agregado natural es posible sin afectar las principales propiedades mecánicas, siempre y cuando se utilice una mezcla reductora de agua, no necesariamente de alto rendimiento.

A su vez Letelier et al. (2014) realizaron diferentes metodologías que permitían mejorar las propiedades mecánicas del concreto con áridos reciclados, siendo estas mejoras visibles a un mayor tiempo de curado. Martínez & Mendoza (2006) proponen el reciclaje del concreto premezclado para fabricar agregados gruesos como una posible solución por su inadecuado manejo, encontrando que el comportamiento del concreto con agregados reciclados es similar a los naturales, lo que sugiere que puede ser utilizado como un concreto clase dos, de acuerdo con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF, 2014).

Los residuos de construcción han sido utilizados también en la construcción de viviendas, lo anterior ha sido mostrado por Domínguez & Martínez (2006) quienes mencionan que la reinsertión de los residuos al ciclo productivo de la construcción es una alternativa con la calidad necesaria, y el módulo de vivienda representa un ejemplo demostrativo para la transferencia de tecnología a la sociedad, al tener una evidencia palpable de su uso, además de los beneficios ecológicos y económicos implícitos. Además de los usos tradicionales de los residuos de concreto de demolición y construcción, López Domínguez et al. (2017) mencionan que es factible el empleo de estos residuos en proyectos de infraestructura de caminos, como componentes en bases hidráulicas y como material de restauración.

### Metodología

La siguiente investigación se realizó en los laboratorios de concreto del Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. La investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo experimental con alcance transversal. Las unidades de estudio fueron cilindros de concreto de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Las muestras fueron obtenidas de residuos de demolición del mismo instituto. El método utilizado para preparar los cilindros de concreto fue mediante la práctica normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del concreto.

Las mezclas se diseñaron para resistencias a la compresión de 150 kg cm<sup>-2</sup> con un revenimiento de 7 a 10 cm y tamaño máximo de agregado grueso de 3/4" (20 mm) y 1" (25 mm). Se elaboraron nueve muestras por ensayo, obteniendo el promedio de cada uno.

Las pruebas realizadas a los concretos fueron la prueba de revenimiento de acuerdo con la norma ASTM-C143M-00 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete). Las propiedades mecánicas en estado endurecido fue la resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días de acuerdo con las Norma ASTM-C39M-01 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), la cual establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia nominal a la compresión del concreto, en especímenes cilíndricos. Para la preparación y cabeceo de cilindros se utilizó la norma ASTM-C617-98 (Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens).

### Resultados

#### Proporcionamientos

El agregado grueso reciclado fue utilizado al 100%. El diseño de la mezcla para una  $f'c=150$  kg cm<sup>2</sup>, se presenta en la Tabla 1.

Bultos de cemento	Botes de grava	Botes de arena	Botes de agua
1	4.5	2.5	1.5
½	2.25	1.25	0.75
¼	1.125	0.75	0.375
1/8	0.565	0.575	0.20
1/16	0.262	0.287	0.10

**Tabla 1** Proporcionamiento de las mezclas de concreto

### Granulometría

La granulometría de los agregados gruesos, se realizó de acuerdo con la Tabla 2. En el reciclado fino fue aceptable su granulometría para utilizarse en la mezcla.

Malla	Peso total (g)	% que pasa el tamiz
1"	244.0	12.20
¾"	976.0	48.80
½"	241.5	12.08
3/8"	11.5	0.58
4"	9.5	0.48
No. 4	518.0	25.90
Material total	2000.5	100

**Tabla 2** Granulometría de los agregados gruesos

### Revenimiento

Los resultados del revenimiento de las mezclas de concreto estuvieron dentro de la tolerancia indicada en la norma ASTM-C-143M-00. En ambos materiales se encontró dentro de los límites de  $\pm 2.5$  cm mostrando una consistencia adecuada (Tabla 3).

Material	Revenimiento (cm)
Reciclado	7.5
Natural	9.0

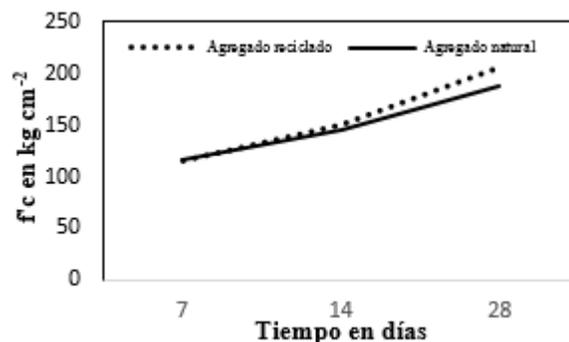
**Tabla 3** Promedio del revenimiento de los ensayos

### Resistencia a la compresión

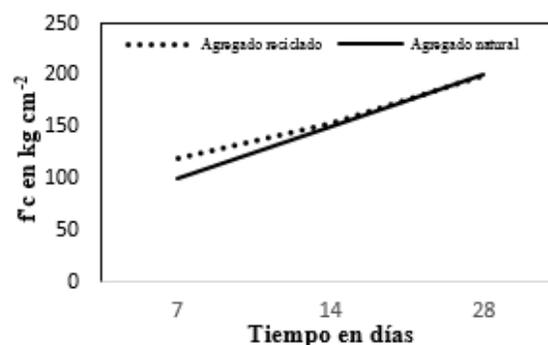
Los resultados de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto a los 7, 14 y 28 días se observa en la Tabla 4, de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM-C-39M-01. El comportamiento se presenta en las Figuras 1 a 3.

Mezcla	Tiempo en días		
	7	14	28
E1CR150	115.18	150.67	206.09
E1CN150	117.00	145.00	188.50
E2CR150	120.21	154.16	200.55
E2CN150	99.95	150.03	200.00
E3CR150	101.72	154.16	177.41
E3CN150	91.96	178.83	200.00

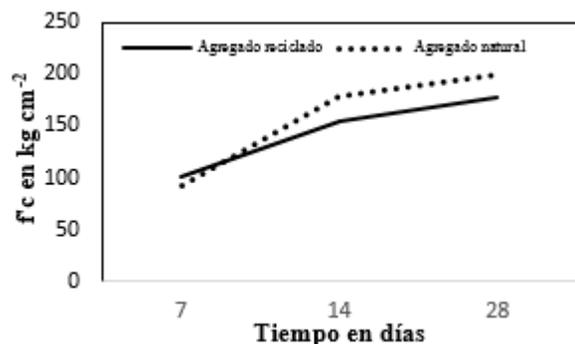
**Tabla 4** Resistencias a la compresión de los concretos en  $f_c$  en  $\text{kg cm}^{-2}$



**Figura 1** Resistencia del ensayo 1 obtenida a los 7, 14 y 2 días



**Figura 2** Resistencia del ensayo 2 obtenida a los 7, 14 y 28 días



**Figura 3** Resistencia del ensayo 3 obtenida a los 7, 14 y 28 días

La resistencia a los 7 días es mayor en los concretos naturales, mientras que a los 28 días la resistencia de los reciclados es ligeramente mayor, lo cual muestra que éstos tienen un comportamiento similar a los concretos naturales. Resultados similares obtuvieron Domínguez y Martínez (2006) al reciclar el 100% del agregado grueso, asegurando un ahorro económico y su uso en obras de construcción como: banquetas y guarniciones, plantillas de concreto, pisos de casa habitación, canchas deportivas y otros usos que se le puedan asociar a obras con concreto de una resistencia menores a  $f'c=150$  kg cm<sup>-2</sup>.

### Agradecimiento

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, por el apoyo económico otorgado para la realización del presente proyecto.

### Conclusiones

El crecimiento de las ciudades, crea una demanda continua de construcción, así como los derrumbes ocasionados por fenómenos naturales como los terremotos, por lo que los residuos de construcción y demolición al ser implementados como agregados para elaborar concreto nuevo.

Ayudaría a reducir significativamente los recursos naturales no renovables, además de los beneficios sociales y ambientales generados.

### Referencias

Aldana, J. & Serpell, A. (2012). Topics and tendencies of construction and demolition waste: a meta analysis. *Revista de la construcción*, 12(22), 4-16.

ASTM-C39M-01. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

ASTM-C143M-00. Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.

ASTM-C-167-98. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

Barbudo, A., De Brito, G., Evangelista, L. Bravo, M., & Agrela, M. (2013). Influence of water-reducing admixtures on the mechanical performance of recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 59, 93-98.

Bedoya, C., & Dzul, L. (2015). Concrete with recycled aggregates as urban sustainability project. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30, (2), 99-108.

Deshpande, N., Kulkarni, S., & Patil, N. (2011). Effectiveness of using coarse recycled concrete aggregate in concrete. *International Journal of Earth and Engineering*, 4(96), 913-919.

Domínguez, L. J. A., & Martínez, L. E. (2006). Reciclaje de residuos de construcción y demolición para la construcción de viviendas. 1st International Conference on Advanced Construction Materials. Monterrey, México.

- Lederle, R., & Hiller, J. (2013). Reversible shrinkage of concrete made with recycled concrete aggregate and other aggregate types. *ACI Materials Journal*, 110(4), 423-433.
- Letelier, V., Osses, R., Valdés, G., & Moricomi, G. (2014). Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados. *Ingeniería y Ciencia*, 10(19), 179-195.
- LGPGIR. (2014). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- López Domínguez, M. G., Pérez Salazar, A., Garnica Anguas, P. & Granel Covarrubias, E. (2017). Reaprovechamiento de residuos de demolición y construcción en la infraestructura de caminos. *Entretexos*, 8 (24), 39-50.
- Malasev, M., Radonjanin, V., & Marinkovic, S. (2012). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. *Sustainability*, 2, 1204-1225.
- Martínez Molina, W., Torres Acosta, A. A., Alonso Guzmán, E. M., Chávez García, H. L. Hernández Barrios, H., Lara Gómez, C., Martínez Alonso, W., Pérez Quiroz, J. T., Bedolla Arroyo, J. A., & González Valdéz, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista ALCONPAT*, 5(3), 235-248.
- Martínez, S. I. E. & Mendoza, E. C. J. (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(3), 151-164.
- RCDF. (2014). Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Recuperado de <http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/regladecons.pdf>.
- Robayo, S. R. A., Matthey, C. P. E., Silva, U. Y. F., Burgos, G. D. M., & Delvasto, A. S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura*, 19(44), 157-170.
- Seddik, M., Ouchagour, Y., & Limbachiya, M. (2012). Performance of portland/silica fueem cement concrete produced with recycled concrete aggregate. *ACI Material Journal*, 109(1), 91-101.
- Thomas, C., Setién, J., Polanco, J., Alaejos, P., & Sánchez de Juan, M. (2013). Durability of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 1054-1065.
- Valdés, G., Reyes, O., & González, G. (2011). Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción. *Ingeniería y Desarrollo*, 29(1), 17-33.
- Vásquez Hernández, A., Botero Botero, L. A. & Carvajal Arango, D. (2015) Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197-220.
- Xiao, J., Li, W., & Huang, X. (2012). An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011). *Construction and Building Materials*, 31, 364-383.

## Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil

ÁLVAREZ, Luis†\*, MEDINA, Juan y MORALES, Luis

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### Resumen

La piezoelectricidad son impulsos eléctricos generados por la deformación de ciertos cristales minerales, es una fuente de energía limpia, totalmente renovable; Este fenómeno fue estudiado por primera vez en el siglo XIX por los hermanos Curie; Se ha descubierto que permite la generación de energía eléctrica acumulable y se obtuvieron buenos resultados en experimentos aplicados en lugares en los que existe gran tránsito de personas y vehículos, los resultados prometedores impulsan el deseo de implementar esta tecnología en un mayor número de lugares específicos. El objetivo es generar, acumular y utilizar energía eléctrica en sitios de alto tráfico y que la energía producida sea consumida por la infraestructura donde se generó. Las mejores aplicaciones pueden ser en autopistas donde la energía generada sea utilizada en la iluminación de la misma; en Avenidas de alto tráfico, esta energía puede utilizarse para el funcionamiento de los semáforos; También existen otros usos para este tipo de energía como en el campo de la medicina utilizándose en ultrasonidos, ecografías y mastografías; En Topografía se utiliza para medir distancias de forma telemática. El uso generalizado de esta tecnología producirá un menor consumo de energías no renovables y mejor cuidado de los recursos naturales.

**Piezoelectricidad, energía renovable, minerales cristalinos, generación de energía eléctrica**

### Abstract

The piezoelectricity are electrical impulses generated because the deformation of some glazin minerals, it's a clear energy source, completely renewable; First time, this phenomenon was studied by the brothers Curie at the century XIX; In present time its has discovered that this phenomenon permits generate accumulative electrical energy and got good results in experiments made in places with a big traffic of vehicles and persons, the promising results incentive the idea to implement this tecnology in many places especificated. The main purpose is generate, collect and use electrical energy in place with big traffic and that the energy generated be used by the infraestructure which generated. The best applications maybe in highways, where the energy generated can be used in lighthing itself; In boulevards with big traffic this energy can be used for lighthing semaphores. Also exits many uses for this energy in others áreas like medicine in ultrasonography and ulstrasound scan; In the área of topography its can measure distances in telematic way; The use of this tecnology will generate a minor use of electricity not renewable and a bests care of naturals resources.

**Piezoelectricity, Energy renewable, Glazin minerals, Generate of electrical energy**

**Citación:** ÁLVAREZ, Luis, MEDINA, Juan y MORALES, Luis. Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil. Revista de Ingeniería Civil 2017. 1-2:15-26

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: kokyalvarez@yahoo.com

## Introducción

Durante el último siglo, el desarrollo mundial tecnológico y las fuentes de energía utilizadas han generado altos índices de polución que gradualmente dañaron las capacidades auto-renovables de la naturaleza, causando un pronunciado deterioro ambiental, que afectó notablemente el hábitat humano y el de innumerables especies animales y vegetales.

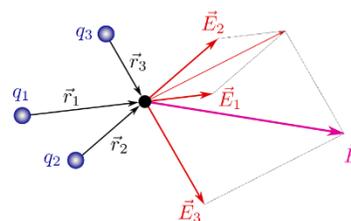
Este daño se generó debido a que, en la mayoría de países, para cubrir el déficit de energía eléctrica, se utilizaron generadores de energía a base de combustibles fósiles, los que producen grandes cantidades de polución y contaminación, dañando directamente la atmósfera y la naturaleza en general.

Esta innegable realidad ha originado una intensa búsqueda de fuentes de energía alternas a las tradicionales; En las últimas tres décadas han destacado la generación de energía eólica y la solar; Sin embargo, al principio de la producción de ambas, la generación es cara. Actualmente, se ha descubierto una nueva fuente de energía renovable, denominada piezoelectricidad.

## Antecedentes

David Brewster fue la primera persona que demostró efectos piezoeléctricos utilizando un compuesto llamado sal de la Rochelle, al principio este fenómeno fue denominado piroelectricidad (sinónimo de piezoelectricidad), y descrito como la propiedad que convierte la energía térmica en energía eléctrica, producida por un campo eléctrico en el material, provocado por el movimiento de cargas positivas y negativas a los lados de la superficie. Esta propiedad de reaccionar mediante cambios de temperatura ha producido usos de piroelectricidad en espectrometría, radiometría, pirometría.

Termometría, detección de dirección, medición de temperatura remota, conversión de energía solar.



**Figura 1** El Campo eléctrico total es igual debido a un grupo e cargas es igual al vector resultante de la suma de cargas de los campos eléctricos de todas las cargas. Ref.12

Los materiales piroeléctricos se clasifican en cuatro ramas, las cuales son: mono cristales, cerámicos, polímeros y material de película fina.



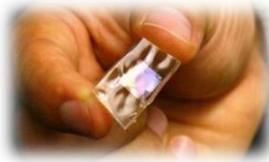
**Figura 2** Materiales cerámicos. Ref. 13



**Figura 3** Monocristales. Ref. 14



**Figura 4** Película fina. Ref. 15

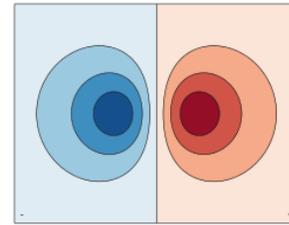


**Figura 5** Polímeros. Ref. 16

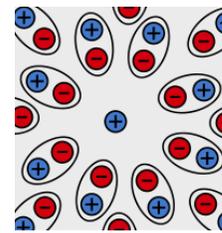
### Definición

La piezoelectricidad, (cuyo nombre significa electricidad a presión) se genera cuando se somete a esfuerzos de compresión los cristales de minerales piezoeléctricos naturales como el cuarzo, turmalina, rubidio, sal de Seignette y los piezoeléctricos fabricados artificialmente como cerámicos, PZT, ZnO, y PVDF; Esta acción mecánica ocasiona polarización eléctrica de la masa del cristal mineral, produciendo un diferencial potencial y carga eléctrica en la superficie del cristal, que se manifiesta por la generación de chispas; los cristales recuperan su forma cuando se retira la presión sobre él. El mismo efecto se obtiene cuando a los cristales se les aplican esfuerzos de tensión. La fuerza sobre el cristal puede aplicarse longitudinal o transversalmente, la deformación producida es proporcional a la fuerza aplicada. En los materiales piezoeléctricos existe un acoplamiento entre las variables mecánicas y eléctricas; la deformación mecánica depende de la tensión mecánica, y ésta del campo eléctrico; simultáneamente el desplazamiento eléctrico depende del campo, que también depende de la deformación mecánica. El cristal debe ser asimétrico, para que se produzca la generación de cargas. Dentro de los 32 grupos de cristales, existen 21 que no tienen centro de simetría, de ellos, 20 tienen la propiedad piezoeléctrica; diez son polares y tienen una polarización instantánea, debido a que poseen un dipolo.

Por ejemplo, al frotar dos cuerpos, se arrancan electrones de un cuerpo y se pasan al otro, por lo que el primero queda con cargas positivas. La polarización es un reordenamiento de cargas que ocurre cuando un objeto con esta carga se acerca a uno neutro. Si los cuerpos son malos conductores de electricidad la carga no puede repartirse ni viajar.



**Figura 6** Dipolo eléctrico. Ref. 17



**Figura 7** Polarización. Ref. 18

El fenómeno de piezoelectricidad fue conocido desde 1881 por los hermanos Jaques y Pierre Curie, quienes le denominaron piezoelectricidad, del griego piezo que significa comprimir; Sus observaciones determinaron que los cristales generan cargas negativas y positivas en las diferentes caras del cristal asimétrico y que este fenómeno tiene una propiedad inversa: cuando el cristal es sometido a una carga eléctrica responde con vibraciones mecánicas, es decir, con sonido.

Los hermanos Curie dieron inicio a la creación de los circuitos digitales y poco después, crearon diversos artefactos como el volímetro piezoeléctrico y piezoelectrómetro, que posteriormente, y con ayuda de esos instrumentos.

Originó el descubrimiento de la radio. Dichos descubrimientos fueron ocultados por más de tres décadas.

El profesor P. Langevin, Francia 1927, realizó la primera aplicación con la piezoelectricidad, utilizando platos de cuarzo en forma de X, para detectar y generar ondas sonoras en el agua. El objetivo era crear un artefacto para detectar ondas sonoras originadas por submarinos, esto lo llevó a desarrollar el sonar.

En la actualidad los esfuerzos se concentran en la generación y acumulación a gran escala de este tipo de electricidad; Pavegen e Innovatech, en Inglaterra e Israel respectivamente, son empresas que llevan la delantera en esta nueva tecnología.

La piezoelectricidad abarca tres áreas:

Tensiones, deformaciones y comportamiento eléctrico. Analíticamente, se tiene:

$$(D = \epsilon E) \quad (1)$$

D = densidad de flujo eléctrico.  
 $\epsilon$  = permisividad.  
 E = campo eléctrico

$$(S = \varsigma T) \quad (2)$$

S es la deformación.  
 T es la tensión.

$\varsigma$  = coeficiente de elasticidad ( $m^2/N$ )

Estas ecuaciones pueden combinarse, relacionando solo la carga y la deformación, obteniendo:

$$\{S\} = [s^E] \{T\} + [d^T] \{E\} \quad (3)$$

$$\{D\} = [d] \{T\} + [\epsilon^T] \{E\} \quad (4)$$

Experimentos realizados por los hermanos Curie, demostraron que la cantidad de la carga de la superficie de la materia cuando se aplica una fuerza mecánica es proporcional a la cantidad mecánica ejercida en el material.

$$P_p = d T$$

En donde

$P_p$  = vector de polarización en función de la magnitud, es igual a la densidad de la carga,

d = deformación piezoelectrica, y

T = tensión a la que el material está siendo sometido.

Así, la piezoelectricidad tiene 2 fenómenos:

1) Cuando al mineral se le inducen esfuerzos de compresión, se genera electricidad.

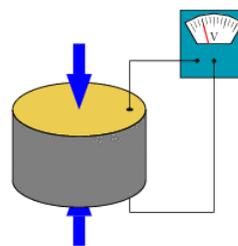


Figura 8 Compresión mecánica. Ref. 19

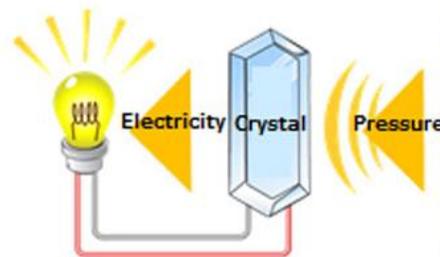
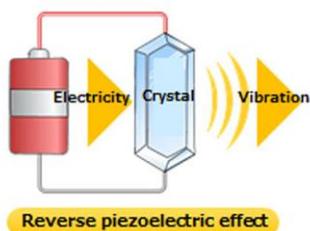


Figura 9 Resultados de la compresión mecánica; Una carga eléctrica es producida en la superficie del cristal debido a la aplicación de una fuerza mecánica. Ref. 20

2) Cuando al mineral se le induce carga eléctrica, se produce sonido



**Figura 10** Efecto inverso; Si el mineral es sometido a carga eléctrica producirá sonido. Ref. 20

El efecto inverso consiste en que el cristal se deforme a causa de un campo eléctrico.

$$S_p = d E$$

(5)

$S_p$  = deformación a causa del efecto piezoeléctrico, y

$E$  = magnitud del campo eléctrico en el cristal.

### Características de los materiales piezoeléctricos

El cuarzo ( $Si - O_2$ ) está compuesto por seis átomos de oxígeno y tiene 2 cargas negativas cada uno. Algunos cristales poseen propiedades piezoeléctricas; Los cristales piezoeléctricos se cortan en forma de láminas para ser usados como transductores.

Estas láminas se cortan mediante un determinado proceso y son llamados cristales, que son usados como patrones, para generar una frecuencia de resonancia mecánica.

El cuarzo tiene como característica la formación de hexágonos cerrados en sus extremos por romboides. La estructura del cuarzo permite obtener mediante cortes, láminas con propiedades piezoeléctricas.

Un cristal de cuarzo puede tener varias resonancias, puesto que las oscilaciones pueden ser longitudinales, transversales y de flexión, dando al cristal la forma adecuada, se puede lograr la frecuencia deseada.

Los cristales solubles se obtienen por cultivo, estos deben ser saturados en caliente y por enfriamiento o evaporación, para que a su vez, crezcan dentro de las mismas.

El crecimiento debe ser lento si se pretende que el cristal sea lo más perfecto posible, pero para acelerar el proceso se pueden partir trozos cortados de cristales grandes que actúan como gérmenes.

De los cristales solubles, el más corriente es la sal de la Rochelle, en su composición llamado tartrato mixto de potasio y sodio.

La sal de la Rochelle es estable en un 35% y con 85% en humedad, ya que por encima de ésta, el cristal absorbe agua de la atmósfera y se disuelve lentamente.

Para evitar ese proceso de desintegración, se recubren los cristales con ceras que retardan la deshidratación.

La temperatura máxima a la que pueden estar sometidos estos cristales son de  $45^\circ$  a  $55^\circ$  C porque después pierden todas sus propiedades piezoeléctricas.

Las cerámicas como el titanato de bario presentan propiedades piezoeléctricas, estos se fabrican por procesos cerámicos y pasan por un proceso de polarización enfriándolos a una temperatura muy baja en un campo eléctrico fuerte.

Estas cerámicas se usan como transductores, sin embargo su sensibilidad es menor a la de la sal de la Rochelle, pero posee otras ventajas como una gran resistencia mecánica, resistencia a la humedad, y exposición a temperaturas muy altas, mayores a las de 70° C.



**Figura 11** Cerámica piezoeléctric. Ref. 21



**Figura 12** Cristales de cuarzo. Ref. 22



**Figura 13** Cristales solubles. Ref. 23

Existe otra clasificación de materiales avanzados de acuerdo a sus propiedades y aplicaciones como es el caso de hojas metálicas piezoeléctricas.

Son compuestos por una lámina piezoeléctrica, una capa protectora y dos capas metálicas que sirven como electrodos, los cuales pueden ser de cobre y níquel o simplemente pintura de plata.

Su proceso de fabricación comienza con la extracción de gránulos de resina polimérica en forma de lámina, después el material tiene que ser dilatado a una quinta parte de su espesor, posteriormente es sometido a temperaturas muy bajas por debajo del punto de fusión y finalmente, se polariza mediante un campo eléctrico para alinear los cristales.

### Planteamiento del problema

Existen recursos minerales naturales que no han sido suficientemente explotados, con propiedades físico-químicas que permiten la generación de energía eléctrica renovable y sin producir contaminación ambiental, razón por la que se les denomina “energías limpias”.

### Justificación

La deforestación ambiental es actualmente un problema mundial que requiere mayor atención que la recibida hasta el presente; El acelerado deterioro de la naturaleza es más grave de lo que las diferentes instituciones especializadas reportan en diversas instancias.

Un efecto directo en el ámbito de la Ingeniería Civil es el abatimiento de los niveles de aguas freáticas, dificultando cada vez más, la explotación de mantos acuíferos para el consumo humano.

El medio ambiente a nivel mundial es dañado gradualmente por la creciente demanda de energía eléctrica, generada por el crecimiento geométrico de la población mundial, el crecimiento habitacional sin planes de desarrollo y los sistemas económicos que buscaron su expansión de poder, sin atender las necesidades de equilibrio de la naturaleza.

Hoy día, es necesario buscar alternativas energéticas que satisfagan la demanda actual sin continuar afectando la flora y fauna del planeta.

**Objetivo**

Estudiar las características de la energía piezoeléctrica, su generación, acumulación y usos posibles para establecer una relación costo-beneficio que determine la conveniencia de su explotación.

**Hipótesis**

Implementar la generación de energía piezoeléctrica en lugares en los que existe alto tránsito de personas y vehículos, iniciar su utilización en el funcionamiento de la infraestructura donde es generada, lo que produciría un ahorro energético y económico a las personas e instituciones y existiría mejor cuidado de la naturaleza y, por consiguiente, de hábitats de numerosas especies vegetales y animales.

La generación de electricidad piezoeléctrica consta de tres fases: transferencia de la energía mecánica, transformación de la energía mecánica a eléctrica y transferencia de la energía eléctrica para su utilización; El rendimiento tiene un rango probable entre el 90 y 95 por ciento debido a las pérdidas por transmisión de energía en cada fase.

Los campos de aplicación al presente son diversos: encendedores electrónicos, detectores de vibraciones, inyectores de combustible, ultrasonido industrial, relojes de cuarzo, actuadores (automatización), tweeters (sonido) y topografía para medición de distancias, en el campo médico se utiliza para ecografía, fisioterapia y ultrasananoterapia.

Los reporte más actualizados aseguran que los cerámicos piezoeléctricos presentan mejores propiedades que los cristales después de ser polarizados y permiten geometrías y dimensiones flexibles porque se fabrican por sinterización de polvos.

Entre estos se encuentran el Titanato de Bario PT (PbTiO<sub>3</sub>), y el Titanato Zirconato de Plomo (PZT's).

De manera experimental puede crearse una alfombra por la que transite un flujo importante de personas, los materiales (en cantidades aproximadas serían los siguientes):

**Materiales a utilizar**

- 1) 1 Placa de madera de 2.5 cm de grosor de 60 x 60 cm.
- 2) 4 rectángulos de madera de 6 cm de grosor de 60x 20 cm.
- 3) 1 Placa de acrílico flexible de 60 x 60 cm.
- 4) 20 Discos piezoeléctricos de 0.5 cm de radio.
- 5) 20 Discos piezoeléctricos de 1 cm de radio.
- 6) 5 ignitores piezoeléctricos con salida frontal.
- 7) 5 LEDs de pastilla que trabajan con 2.0 V. color rojo.
- 8) 5 LEDs de pastilla que trabajan con 2.0 V. color azul.
- 9) 5 LEDs de pastilla que trabajan con 2.0 V. color verde.
- 10) 5 LEDs de pastilla que trabajan con 2.0 V. color blanco.
- 11) 5 metros de cable de 1mm de diámetro calibre 18 AWG con conducción de hasta 16 Amperios, color blanco.

12) 5 metros de cable de 1mm de diámetro calibre 18 AWG con conducción de hasta 16 Amperios, color rojo.

13) 6 Capacitores de 10 $\mu$ F a 12 V. Plastilina epóxica para pegar en madera ( $\mu$ F = microfaradio)

### Metodología

El diseño actual consiste en fabricar losetas de cerámica con múltiples celdas piezoeléctricas, montadas sobre una caja de concreto de 20 cm de alto, instaladas en serie dentro de su parte interna, las que a su vez están conectadas a un acumulador eléctrico para su posterior utilización; De esta manera, un conjunto de losetas pueden ser instaladas en sitios donde recibirán gran cantidad de movimientos para generar electricidad. El gran potencial de generación y acumulación de esta energía se encuentra en vías muy transitadas como pistas de aeropuertos, autopistas, vías de ferrocarriles, pasillos y estaciones de metro, vías de autobuses, banquetas o pasillos de alto tránsito humano. Las losetas están diseñadas para resistir movimientos, ambientes extremos y agua pluvial; Este sistema tiene la ventaja que su infraestructura es mínima y puede adaptarse a instalaciones nuevas o existentes.

Un proyecto prototipo, que generalmente se propone para fabricar una loseta que reciba tránsito humano y que tenga celdas piezoeléctricas, puede realizarse de la forma siguiente:

Paso 1 Construir una plataforma de 60x60 cm con una altura de 20 cm para que esta quede hueca, en la parte inferior se hará la conexión eléctrica de todos los cables y capacitores.

Paso 2 Colocar los discos e ignitores piezoeléctricos de tal manera que el área en que se encuentren, sea el área en donde la persona va a apoyar su peso.

Paso 3 Los discos piezoeléctricos irán conectados por debajo de la plataforma; Se hacen una serie de agujeros utilizando taladro, estos agujeros tendrán un diámetro no mayor a 5 mm, para que el cable quede ajustado, y se van a hacer dos por lado ya que estos estarán conectados en paralelo.

Paso 4 Los ignitores piezoeléctricos estarán colocados en cada lado del área cuadrada formada por los discos piezoeléctricos, se colocarán 2 por lado dejando un espacio entre ellos.

Paso 5 Los LED's de pastilla irán colocados en el área externa a la parte de los discos piezoeléctricos y se le colocará un capacitor para que los LED's hagan una serie y no se apaguen inmediatamente después de pisar.

Paso 6 Se colocaran 5 LED's por lado y sumando nos quedaran 20 LED's en total.

Paso 7 Para que los LED's puedan prender se conectarán a los ignitores piezoeléctricos que al tener una presión generará una corriente que se almacenará en los capacitores y hará que los LED's enciendan.

Paso 8 En la parte inferior de la plataforma se conectarán los cables resultantes de la conexión en paralelo de los discos, a un circuito el cual tendrá 6 capacitores los cuales servirán para almacenar la energía producida por materiales piezoeléctricos para su utilización futura.

Paso 9 Una alternativa a los capacitores utilizados en circuitos sería una pila recargable de 12 V para que pueda almacenarse la energía.

Paso 10 El acrílico será colocado al final, este irá en la parte superior de la plataforma, su función principal será la de proteger a los materiales piezoeléctricos para que cuando la persona apoye su peso éstos no se rompan.

Paso 11 El acrílico deberá ser flexible ya que éste tiene la capacidad de deformarse bastante aunque el espacio entre el acrílico y los materiales piezoeléctricos no lo sea. La resistencia aproximada del acrílico es de 0.36 kg/cm<sup>2</sup>, con una deformación máxima de 2 mm. Cuando transita una persona.

Si se utilizan losetas cerámicas, deben tener una resistencia mínima a la tracción de 155 MPa y de 1,930 MPa a compresión, resistencia que corresponde a la mínima de las cerámicas comercializadas comúnmente.

### Discusión

El costo promedio para fabricar esta plataforma prototipo es de \$ 1,100.0 Mxn, y probablemente pueda producir una corriente de 10 V con el peso de una persona de 60 kg; Si una plataforma de este prototipo fuera colocada en la entrada principal del Instituto Tecnológico de Pachuca (ITP), se espera que en un día pueda generarse una cantidad suficiente para que una lámpara de 100 V. funcione durante varias horas, lo que representaría un aprovechamiento energético considerable. Se estima que el promedio de personas que visitan diariamente las instalaciones del ITPachuca y circulan por encima del prototipo, pueden producir esta cantidad de energía en un día normal.

El propósito es que la energía así producida sea utilizada en las necesidades de la infraestructura donde se genere, por ejemplo, la energía producida en calles puede ser utilizada para el funcionamiento de semáforos; la generada en autopistas, en la iluminación de las mismas.

Así, el consumo actual de energía que se utiliza en esos sitios, se mantendría igual, pero disminuirá el consumo de la energía del servicio público tradicional.

El voltaje aproximado que se puede producir lo podemos ver en la siguiente fórmula:

$$V = - (g33hT) \quad (6)$$

Donde:

V= voltaje

g33 = constante de voltaje del piezoeléctrico

h = altura del elemento cerámico

T = presión sobre el elemento

Si una persona promedio pesa 70 kg entonces la fuerza con la que pisaría estaría dada por:

$$F = mg \quad (m = \text{masa}; g = \text{gravedad})$$

$$\text{Entonces:} \quad F = (70 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 700 \text{ N}$$

La presión sobre el área de los cristales es dada por:

$$P = F/A \quad (2)$$

P= presión

A = area total

F = la fuerza ejercida.

$$\text{Entonces:} \quad P = 700 \text{ N} / 0.04 \text{ m}^2$$

$$P = 17,500 \text{ p}$$

La altura o grosor del elemento cerámico, en este caso de los discos piezoeléctricos, es un dato que ya se conoce que sería de:

$$h = 0.14\text{mm}$$

$$h = 0.00014\text{ m}$$

Entonces, para el voltaje real que se produciría en el material piezoeléctrico aproximado es:

$$V = - (g33hT)$$

$$V = -(+/- 2)*(0.00014)*(17,500)$$

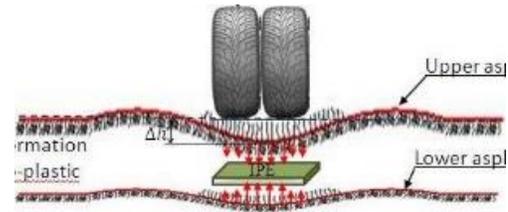
$$V = -(+/- 2)*(1.75)$$

$$V = 3.5\text{ v}$$

### Generación de energía piezoeléctrica en carreteras

El proyecto de recolección de energía toma lugar en Israel por la compañía INNOWATTECH ALTERNATIVE, quienes toman como base la energía gastada que se genera en el movimiento de un vehículo (debido a que no existe un motor que genere el 100% de eficiencia). El vehículo genera una deformación en el pavimento a la hora de desplazarse sobre él, de esta forma se desperdicia gran parte de esta energía en la resistencia que presenta el vehículo.

El proyecto denominado Energy Harvesting Systems pretende generar nueva energía canalizando otra que es desperdiciada en porcentajes mínimos, y esta puede alimentar un sistema eléctrico como lo pueden ser farolas de iluminación.



**Figura 15** Generación piezoeléctrica por tránsito vehicular; Deformaciones en las capas superior e inferior de un camino con pavimento elasto-plástico viscoso. Ref. 24

### Conclusiones

En la medida que se produzcan y utilicen las fuentes de energía alternativas como la piezoeléctrica, se disminuirá la generación de energía no renovable, especialmente las producidas con combustibles fósiles y se beneficiará directamente la atmósfera; Esto producirá una mayor conservación de los recursos naturales, el rescate de hábitats y especies animales y vegetales que fueron afectados por la devastación ecológica.

El uso de tecnología LED contribuye efectivamente a maximizar el rendimiento de la energía eléctrica, razón por la que puede combinarse eficazmente con la energía piezoeléctrica.

Los efectos directos ocasionarían beneficios en reforestación, menor existencia de desechos contaminantes como las baterías comunes, menor polución y reproducción de especies animales, los cuales han sido afectados, de una u otra forma, por la producción energética actual.

Igualmente se produciría cierto efecto económico generalizado en la industria, comercio, gobierno y hogares.

**Referencias**

- Ref. 1 Jaime Calleja. Fuentes de energía | LA ENERGÍA  
Website title: Agrega.educacion.es  
URL:[http://agrega.educacion.es/repositorio/03122014/bb/es\\_2014120312\\_9220433/fuentes\\_de\\_energa.html](http://agrega.educacion.es/repositorio/03122014/bb/es_2014120312_9220433/fuentes_de_energa.html)
- Ref. 2 Combustibles fósiles.Cricyt.edu.ar  
URL:<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/CombustFos.htm>
- Ref. 3 La importancia de las energías renovables. ACCIONA. Acciona.com.  
<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- Ref. 4  
Piezoelectricidad.Es.wikipedia.org.<https://es.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricidad>
- Ref. 5  
Héctor Toledo.Piezoelectricidad.Tecnopia.com.mx.<http://www.tecnopia.com.mx/antecedentes/piezoelectricidad.htm>
- Ref. 6 Aplicaciones de la piezoelectricidad | Ocio Inteligente.Ociointeligente.wordpress.com.<https://ociointeligente.wordpress.com/tag/aplicaciones-de-la-piezoelectricidad/>
- Ref. 7 Materiales Piezoeléctricos.Ayuda Electronica.Circuitos Electronicos, Ingenieria Electronica.Ayudaelectronica.com.<http://ayudaelectronica.com/materiales-piezoelectricos/>
- Ref. 8 La Energía Producida Al Caminar y La Piezoelectricidad.<https://www.youtube.com/watch?v=jXv0Y1Z6X9Q>
- Ref. 9  
ECOURBANO.Ecourbano.es.[http://www.ecourbano.es/pro\\_inside.asp?cat=4&cat2=&id\\_pro=102&tipus=4](http://www.ecourbano.es/pro_inside.asp?cat=4&cat2=&id_pro=102&tipus=4)
- Ref. 10 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua<http://sirio.uacj.mx/IIT/electricaComputacion/espectrotecnologico/ForoEnergiaRenovable/Martes%20%20Macroaula%20II/Energ%C3%ADa%20El%C3%A9ctrica%20Producida%20por%20Dispositivos%20Piezoel%C3%A9ctricos.pdf>,
- Ref. 11 C.U.M.,UNAM  
<http://www.acmor.org.mx/cuamweb/reportescongreso/2010/fisico-mate/110-%20CUM-%20Pisando%20y%20Generando.pdf>.
- Ref.12 Física 5to. año-WordPress.com. (2013). Campo Eléctrico. 09/10/2017, de <https://juanmora5to.wordpress.com/category/campo-electrico/> Sitio web: [https://www.google.com.mx/search?biw=1094&bih=510&tbm=isch&sa=1&q=campo+electrico+de+piezoelectricidad&oq=campo+electrico+de+piezoelectricidad&gs\\_l=psy-ab.3...123022.128804.0.129931.21.20.1.0.0.296.2000.8j8j1.17.0....0...1.1.64.psy-ab..3.4.524...0i13k1.0.TNoqY-snXVo#imgrc=Puq6SMQn61Oq1M:](https://www.google.com.mx/search?biw=1094&bih=510&tbm=isch&sa=1&q=campo+electrico+de+piezoelectricidad&oq=campo+electrico+de+piezoelectricidad&gs_l=psy-ab.3...123022.128804.0.129931.21.20.1.0.0.296.2000.8j8j1.17.0....0...1.1.64.psy-ab..3.4.524...0i13k1.0.TNoqY-snXVo#imgrc=Puq6SMQn61Oq1M:)
- Ref.13 Materfad, Centro de Materiales, Barcelona. (2000). Componentes Piezocerámicos, Componentes cerámicos piezoeléctricos hechos a medida. 9/10/2017, de [info@materfad.com](mailto:info@materfad.com) Sitio web: [https://www.google.com.mx/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiZu5fAk-TWAhUY84MKHdJaCCEQjhwIBQ&url=http%3A%2F%2Fes.materfad.com%2Fmaterial%2F459%2Fcomponentes-piezoceramicos&psig=AOvVaw2YedE4\\_5ZWHt9\\_Ib7aLMYo&ust=1507659505500643](https://www.google.com.mx/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiZu5fAk-TWAhUY84MKHdJaCCEQjhwIBQ&url=http%3A%2F%2Fes.materfad.com%2Fmaterial%2F459%2Fcomponentes-piezoceramicos&psig=AOvVaw2YedE4_5ZWHt9_Ib7aLMYo&ust=1507659505500643)

Ref.14 Universidad Autónoma de Madrid. (2008). Laboratorio de Rayos X de Monocristal. 9/10/2017, de Excelencia UAM, CSIC Sitio web:  
[https://uam.es/ss/Satellite/es/1242668321033/1242667832136/UAM\\_Laboratorio\\_FA/laboratorio/Laboratorio\\_de\\_Difraccion\\_de\\_Rayos\\_X\\_de\\_Monocristal.htm](https://uam.es/ss/Satellite/es/1242668321033/1242667832136/UAM_Laboratorio_FA/laboratorio/Laboratorio_de_Difraccion_de_Rayos_X_de_Monocristal.htm)

Ref. 15 Forfar 1W 2V película fina flexible Panel solar Solar Cell Panel Cargador de batería Juguetes. (2017). Forfar 1W 2V película fina flexible Panel solar Solar Cell Panel Cargador de batería Juguetes. 9/10/2017, de Amazon.com Sitio web:  
[https://www.google.com.mx/search?q=película+ fina+flexible&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6ruqWneTWAhWpj1QKHc\\_5DLMQ\\_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=NNTIibqGwh6F2M:](https://www.google.com.mx/search?q=película+ fina+flexible&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6ruqWneTWAhWpj1QKHc_5DLMQ_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=NNTIibqGwh6F2M:)

Ref. 16 EcoAlternativa. (2010). La microgeneración por efecto piezoeléctrico más cerca. 9/10/2017, de EcoAlternativa Sitio web:  
[https://www.google.com.mx/search?q=piezoeléctricidad&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiysPqPnuTWAhXqrlQKHcg2ASEQ\\_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=bh9c042a2PpmrM:](https://www.google.com.mx/search?q=piezoeléctricidad&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiysPqPnuTWAhXqrlQKHcg2ASEQ_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=bh9c042a2PpmrM:)

Ref. 17 Wikipedia. (2017). Dipolo eléctrico. 9/10/2107, de Wikipedia Sitio web:  
[https://www.google.com.mx/search?q=Dipolo+eléctrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj96qDynuTWAhUCqFQKHd6pA20Q\\_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=1hRykVQgGdHodM:](https://www.google.com.mx/search?q=Dipolo+eléctrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj96qDynuTWAhUCqFQKHd6pA20Q_AUICigB&biw=1094&bih=510#imgrc=1hRykVQgGdHodM:)

Ref. 18 La Mano Biónica. (2012). La importancia de ser ferroeléctrico. 9/10/2017, de La Mano Biónica Sitio web:  
<https://lamanobionica.files.wordpress.com/2012/12/red-histc3a9resis.gif>

Ref. 19 Wikipedia. (2017). Piezoelectricidad. 9/10/2017, de Wikipedia Sitio web:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricidad>

Ref. 20 Verbatim. (2014). El Cristal De Cuarzo, Detrás De La Tecnología De Precisión De Epson. 9/10/2017, de WordPress Sitio web:  
<http://www.yousuariofinal.com/archives/1479>.

Ref. 21 CHENG-CHENG ULTRASONICS. (2017). Cerámicas piezoeléctricas. 9/10/2017, de CHENG-CHENG ULTRASONICS Sitio web:  
<http://cc-ultrasonics.com/4-piezoelectric-ceramics/175779>

Ref. 22 institutomaurer.com.mx. (2017). Propiedades del cuarzo y usos curativos. 9/10/2017, de En buenas manos Sitio web:  
<http://www.enbuenasmanos.com/propiedades-del-cuarzo>

Ref. 23 Kagro Minerals. (2017). Cristales solubles en agua mínimos del nitrato de calcio del fertilizante del 98% para el explosivo. 9/10/2017, de Ciencia y tecnología Co., Ltd. de Wuhan Kangzheng Sitio web:  
<http://spanish.chemicalsmaterials.com/sale-7522263-98-min-water-soluble-fertilizer-calcium-nitrate-crystals-for-explosive.html>

Ref. 24 Socitek Ingenieros. (2012). ENERGÍA GENERADA POR EL PASO DE VEHÍCULOS. 9/10/2017, de Socitek Ingenieros Sitio web:  
<http://socitekingenieros.blogspot.mx/2012/06/>

## Esfuerzos en placas de anclaje de anuncios espectaculares causadas por la acción del viento

BALTAZAR-MALDONADO, Jorge†\* y BALTAZAR-SALAZAR, Jorge

*Instituto Tecnológico de Pachuca*

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Abril, 2017

### Resumen

Las construcciones sometidas a la acción de vientos fuertes pueden sufrir daños totales o parciales. Si bien los códigos fijan procedimientos de cálculo adecuados para protegerlos, pero siempre existen daños producidos por errores de proyectos, fallas constructivas o fatiga de los elementos. En Pachuca, se han registrado vientos a más de 77 kilómetros por hora, y provocado daños a edificios, caída de anuncios espectaculares, etc. Las principales causas, son las siguientes: no existe una normatividad vigente para el diseño en el estado de Hidalgo, malos procesos constructivos, malos diseños, en consecuencia, no existe una autoridad competente que verifique las condiciones de seguridad de las construcciones. El objetivo es verificar la presión de viento máxima sobre los anuncios espectaculares, que afectan principalmente a la conexión en la base (pernos y placa base) y en la conexión superior (unión poste-paleta). En cuanto a la metodología se propone presentar un análisis de un anuncio espectacular para determinar la presión máxima de viento que soporta. La contribución principal es presentar un modelo analítico aplicable y simple, partiendo de la mecánica de materiales para revisar la seguridad estructural de un anuncio espectacular.

**Viento, anuncio espectacular, seguridad**

### Abstract

Constructions subject to the action of strong winds may suffer total or partial damage. Although the codes establish adequate calculation procedures to protect them, but there are always damages caused by project errors, constructive failures or fatigue of the elements. In Pachuca, winds have been recorded at more than 77 kilometers per hour, causing damage to buildings, spectacular advertisements etc. The main causes are as follows: there is no current regulations for design in the state of Hidalgo, bad construction processes, bad designs, consequently, there is no competent authority to verify the safety conditions of buildings. The objective is to check the maximum wind pressure on the spectacular advertisements, which mainly affect the connection in the base (bolts and base plate) and in the top connection (post-pallet attachment). As for the methodology it is proposed to present an analysis of a spectacular advertisement to determine the maximum wind pressure it supports. The main contribution is to present an applicable and simple analytical model, starting from the mechanics of materials to review the structural safety of a spectacular advertisement.

**Wind, spectacular advertisement, safety**

**Citación:** BALTAZAR-MALDONADO, Jorge y BALTAZAR-SALAZAR, Jorge. Esfuerzos en placas de anclaje de anuncios espectaculares causadas por la acción del viento. Revista de Ingeniería Civil 2017. 1-2:27-32

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico:

## Introducción

El viento es el movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente, en la troposfera, producido por causas naturales. Se trata de un fenómeno meteorológico. La causa de los vientos está en los movimientos de rotación y de traslación terrestres que dan origen a su vez a diferencias considerables en la radiación solar o insolación, principalmente de onda larga (infrarroja o térmica), que es absorbida de manera indirecta por la atmósfera.

En el diseño, el viento es una acción accidental desde el punto de vista de las combinaciones de carga en que interviene y de los factores de carga que se deben adoptar.

La presión ocasionada por el viento es proporcional al cuadrado de la velocidad y debe ser calculada, principalmente, en las superficies expuestas de una estructura. Debido a la rugosidad de la tierra, la velocidad del viento es variable y presenta turbulencias. Sin embargo, se asume que el anuncio asume una posición deformada debido a una velocidad constante y que vibra a partir de esta posición debido a la turbulencia.

Al analizar o diseñar una estructura, nos referimos a las fuerzas que actúan sobre ella ya sea como cargas o reacciones. Las cargas son fuerzas activas que se aplican a la estructura debido a alguna causa externa, como la gravedad, viento, etc. Las reacciones son fuerzas pasivas que se inducen en los soportes de la estructura, cuyas magnitudes y direcciones se determinan por la naturaleza de la propia estructura.

Otra parte del proceso de diseño es el perfeccionamiento, que es la tarea de diseñar la mejor estructura para cumplir con una meta particular, como peso mínimo.

Por ejemplo, puede haber muchas estructuras que soportarán una carga dada. Por supuesto, una meta como peso mínimo generalmente se debe equilibrar con consideraciones más generales, incluyendo los aspectos estético, económico, ambiental, político y técnico del proyecto de diseño particular.

Por otra parte, en la ciudad de Pachuca se han registrado vientos a más de 77km/h, sin embargo, el manual de CFE Diseño de obras civiles, determina que para la región se debe considerar una velocidad de 100 km/hr para el diseño de elementos estructurales.

## Hipótesis

Determinar la presión máxima de viento que puede soportar el sistema de soporte con perno para el anuncio espectacular si se desea un factor de seguridad de 2, con respecto a la carga última que puede soportar. Si la carga del manual de CFE diseño por viento es de 35 kg/m<sup>2</sup> para una velocidad de 100 km/hr.

## Planteamiento del problema

Un anuncio con un peso de 15 ton aproximadamente ubicado en la ciudad de Pachuca, Hgo. en los salones de eventos Macros esta soportado en su base por 4 pernos anclados en una zapata de concreto (Figura 2). La presión del viento  $p$  actúa normal a la superficie del anuncio; la resultante de la presión uniforme del viento es la fuerza  $F$  en el centro de presión.

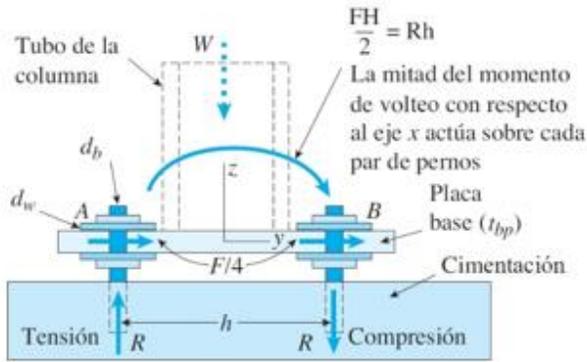


Figura 1 Esfuerzos de tensión en la base

La fuerza del viento se supone que desarrolla fuerzas cortantes iguales  $F/4$  en la dirección y en cada perno (Figura 1).

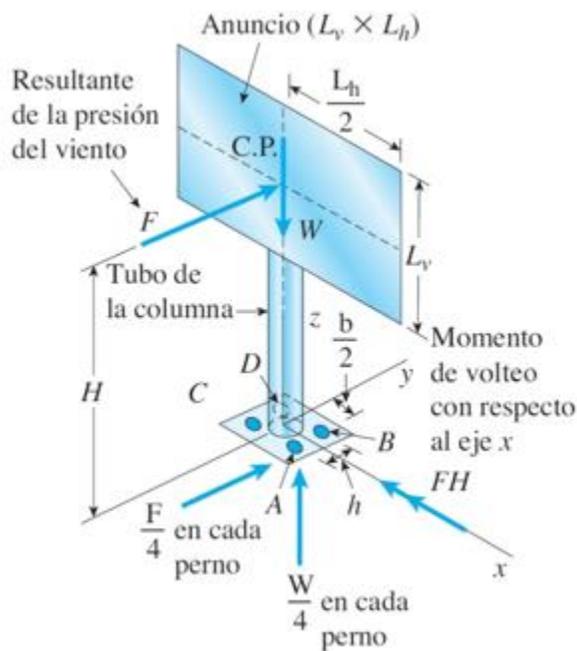


Figura 2 Anuncio espectacular

El efecto de volteo de la fuerza del viento también ocasiona una fuerza de elevación  $R$  en los pernos  $A$  y  $C$  y una fuerza hacia abajo ( $-R$ ) en los pernos  $B$  y  $D$  (Figura 3).

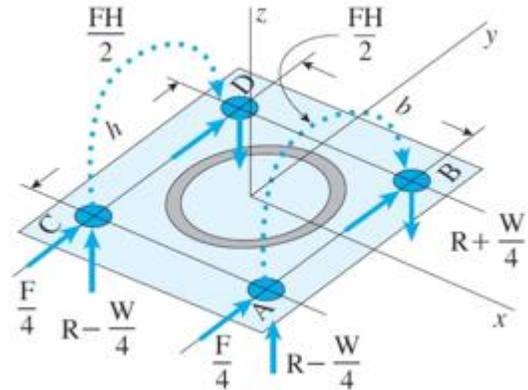


Figura 3 Esfuerzos en la placa base

Los efectos resultantes del viento y los esfuerzos últimos derivados para cada condición de esfuerzo son: esfuerzo normal en cada perno, cortante a través de la placa base, cortante horizontal y de soporte en cada perno y soporte en la parte inferior de la arandela.

**Metodología a desarrollar**

Se empleó un análisis lineal partiendo de las ecuaciones de estática para diseño por cargas axiales y cortante directo.

**Datos obtenidos del manual de construcción en acero IMCA**

Esfuerzo normal en cada perno  $\sigma_u = 6327 \text{ kg/cm}^2$ , cortante a través de la placa base  $\tau_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$ , cortante horizontal y de soporte en cada perno,  $\tau_{hu} = 3796 \text{ kg/cm}^2$  y  $\sigma_{bu} = 6327 \text{ kg/cm}^2$ , soporte en la parte inferior de la tuerca en  $B$  o  $D$   $\sigma_{bw} = 6327 \text{ kg/cm}^2$ .

### Datos de las dimensiones del anuncio espectacular

Diámetro del perno  $d_b = 35mm$ , diámetro de la arandela  $d_w = 60mm$ , espesor de la placa base  $t_{bp} = 25.4mm$ , dimensiones de la placa base  $h = 1.30m$   $b = 1.30m$ , peso propio del anuncio  $W = 15 ton$ , altura del poste  $H = 18.90m$ , dimensiones del anuncio  $L_v = 8m \times L_h = 12m$ , diámetro del tubo de la columna  $d = 30in$ , espesor del tubo de la columna  $t = 1/4in$ .

### Ecuaciones generales para la determinación de los esfuerzos producidos en la base del anuncio espectacular

Los esfuerzos permisibles de diseño se dividen entre un factor de seguridad de 2 lo cual nos da un resultado de:

Esfuerzo normal en cada perno  $\sigma_a = 3164 kg/cm^2$ , cortante a través de la placa base  $\tau_a = 2040 kg/cm^2$ , cortante horizontal y de soporte en cada perno,  $\tau_{ha} = 1898 kg/cm^2$  y  $\sigma_{ba} = 3164 kg/cm^2$ , soporte en la parte inferior de la tuerca en B o D  $\sigma_{bwa} = 1758 kg/cm^2$ .

La fuerza resultante y la reacción resultante en términos de la presión máxima de viento están dadas por:

$$F = P_{max} L_v L_h \quad (1)$$

$$R = FH/2h \quad (2)$$

$$\text{por lo tanto, } R = P_{max} L_v L_h / 2h \quad (3)$$

Los esfuerzos se calculan como se describe a continuación:

1. Calcular la presión de viento máxima  $P_{max}$  basado en el esfuerzo normal en cada tornillo (mayor en B&D)

$$\sigma = \frac{R + \frac{W}{4}}{\frac{\pi}{4} d_b^2} \quad (4)$$

$$R_{max} = \sigma_a \left( \frac{\pi}{4} d_b^2 \right) - \frac{W}{4} \quad (5)$$

$$P_{max1} = \frac{\sigma_a \left( \frac{\pi}{4} d_b^2 \right) - \frac{W}{4}}{\frac{L_v L_h H}{2h}} \quad (6)$$

2. Calcular la presión de viento máxima  $P_{max}$  basado en el esfuerzo cortante en la placa base (mayor en B&D)

$$\tau = \frac{R + \frac{W}{4}}{\pi d_w t_{bp}} \quad (7)$$

$$R_{max} = \tau_a (\pi d_w t_{bp}) - \frac{W}{4} \quad (8)$$

$$P_{max2} = \frac{\tau_a (\pi d_w t_{bp}) - \frac{W}{4}}{\frac{L_v L_h H}{2h}} \quad (9)$$

3. calcular la presión de viento máxima  $P_{max}$  basado en el cortante horizontal de cada tornillo

$$\tau_h = \frac{\frac{F}{4}}{\left( \frac{\pi}{4} d_b^2 \right)} \quad (10)$$

$$F_{max} = 4\tau_{ha} \left( \frac{\pi}{4} d_b^2 \right) \quad (11)$$

$$P_{max3} = \frac{\tau_{ha} \left( \frac{\pi}{4} d_b^2 \right)}{L_v L_h} \quad (12)$$

4. Calcular la presión de viento máxima  $P_{max}$  basado en el soporte horizontal de cada tornillo

$$\sigma_b = \frac{\frac{F}{4}}{(t_{bp} d_b)} \quad (13)$$

$$F_{max} = 4\sigma_{ba}(t_{bp} d_b) \quad (14)$$

$$P_{max4} = \frac{4\sigma_{ba}(t_{bp} d_b)}{L_v L_h} \quad (15)$$

5. Calcular la presión de viento máxima  $P_{max}$  basado en el soporte de la base inferior de la tuerca para A o C y la parte inferior de la arandela para B o D.

$$\sigma_{bw} = \frac{R + \frac{W}{4}}{\frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_b^2)} \quad (16)$$

$$R_{max} = \sigma_{bwa} \left[ \frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_b^2) \right] - \frac{W}{4} \quad (17)$$

$$P_{max5} = \frac{\sigma_{bwa} \left[ \frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_b^2) \right] - \frac{W}{4}}{\frac{L_v L_h H}{2h}} \quad (18)$$

## Resultados

Las presiones máximas de viento fueron las siguientes:

$$P_{max1} = 38.74 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{max2} = 135.086 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{max3} = 760.781 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{max4} = 1172 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_{max5} = 42.102 \frac{kg}{m^2}$$

Por lo tanto, están por encima de la máxima que es de 35kg/cm<sup>2</sup>.

## Agradecimiento

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Empresa EMBOTELLADORA LAS MARGARITAS S.A. DE C.V., por las facilidades prestadas para el desarrollo de la presente investigación.

## Conclusiones

Los esfuerzos normales en los tornillos resultan ser los más desfavorables, por esta razón se recomienda aumentar el número de tornillos para soportar mayor presión de viento en los anuncios espectaculares, garantizando mayor seguridad y funcionamiento como se observa en la figura 4 y 5.

Es importante contar con una metodología de diseño de placas de anclajes para poder comprobar los resultados que arrojan los programas de cálculo debido a que no presentan las consideraciones de análisis para la determinación de esfuerzos en pernos y arandelas, ya que sólo consideran la placa base.

Se deben utilizar factores de seguridad para tomar en cuenta una variedad de incertidumbres, como variaciones en las propiedades de los materiales.

Magnitudes o distribuciones inciertas de las cargas, probabilidad de sobrecarga accidental, etcétera.

Por otra parte, para el análisis estructural de los demás elementos (Poste, armaduras etc.) se debe emplear un software de análisis estructural (Figura5).



**Figura 4** Anuncio espectacular Pachuca, Hidalgo, México.



**Figura 5** Placa base de Anuncio espectacular Pachuca, Hidalgo, México.



**Figura 6** Modelo 3D analizado en Ram Elements 13.5

### Referencias

Guere J. & Goodno B. (2009), *Mechanics of Materials*. Stamford, USA: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

Ferdinand P., Russell E., J. Mazurek D., (2012), *Vector Mechanics for Engineers: Statics*. New York, NY: McGraw Hill

Kennet M. & Chia-Ming U. (2005), *Fundamentals Of Structural Analysis*. New York, NY: McGraw Hill

## Instrucciones para autores

---

### [Título en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor  
*Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva*

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

#### **Resumen**

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

#### **Abstract**

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

#### **Keywords**

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman  
y Negritas No.11**

---

**Cita:** Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayúsculas -2do Nombre de Autor. Título del Artículo.  
Título de la Revista. 2017, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

---

---

† Investigador contribuyendo como primer autor.

# Instrucciones para autores

## Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

## Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

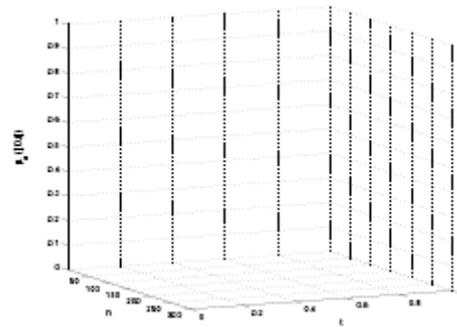
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

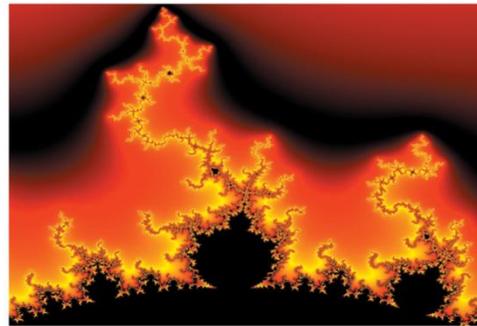
En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]



**Grafico 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

## Instrucciones para autores

---

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

### **Metodología a desarrollar**

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

### **Resultados**

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

### **Anexos**

Tablas y fuentes adecuadas.

### **Agradecimiento**

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

### **Conclusiones**

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

### **Referencias**

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

### **Ficha Técnica**

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

**Formato de Originalidad**



Cusco, Perú a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

---

Firma (Signature):

---

Nombre (Name)

### Formato de Autorización



Cusco, Perú a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20 \_\_\_\_

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN- Perú a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN- Perú to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

\_\_\_\_\_  
Firma (Signature)

\_\_\_\_\_  
Nombre (Name)

# Revista de Ingeniería Civil

“Atención de emergencias por la Dirección Local Hidalgo de Comisión Nacional del Agua”

**KAMPFNER, Oscar, HERNÁNDEZ, Isabel, VÁZQUEZ, Mónica y TÉLLEZ, Laura**

“Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo”

**MENDOZA, Isabel y CHÁVEZ, Sandra**

“Aplicaciones de la piezoelectricidad en Ingeniería Civil”

**ÁLVAREZ, Luis, MEDINA, Juan y MORALES, Luis**

“Esfuerzos en placas de anclaje de anuncios espectaculares causadas por la acción del viento”

**BALTAZAR-MALDONADO, Jorge y BALTAZAR-SALAZAR, Jorge**

*Instituto Tecnológico de Pachuca*

