



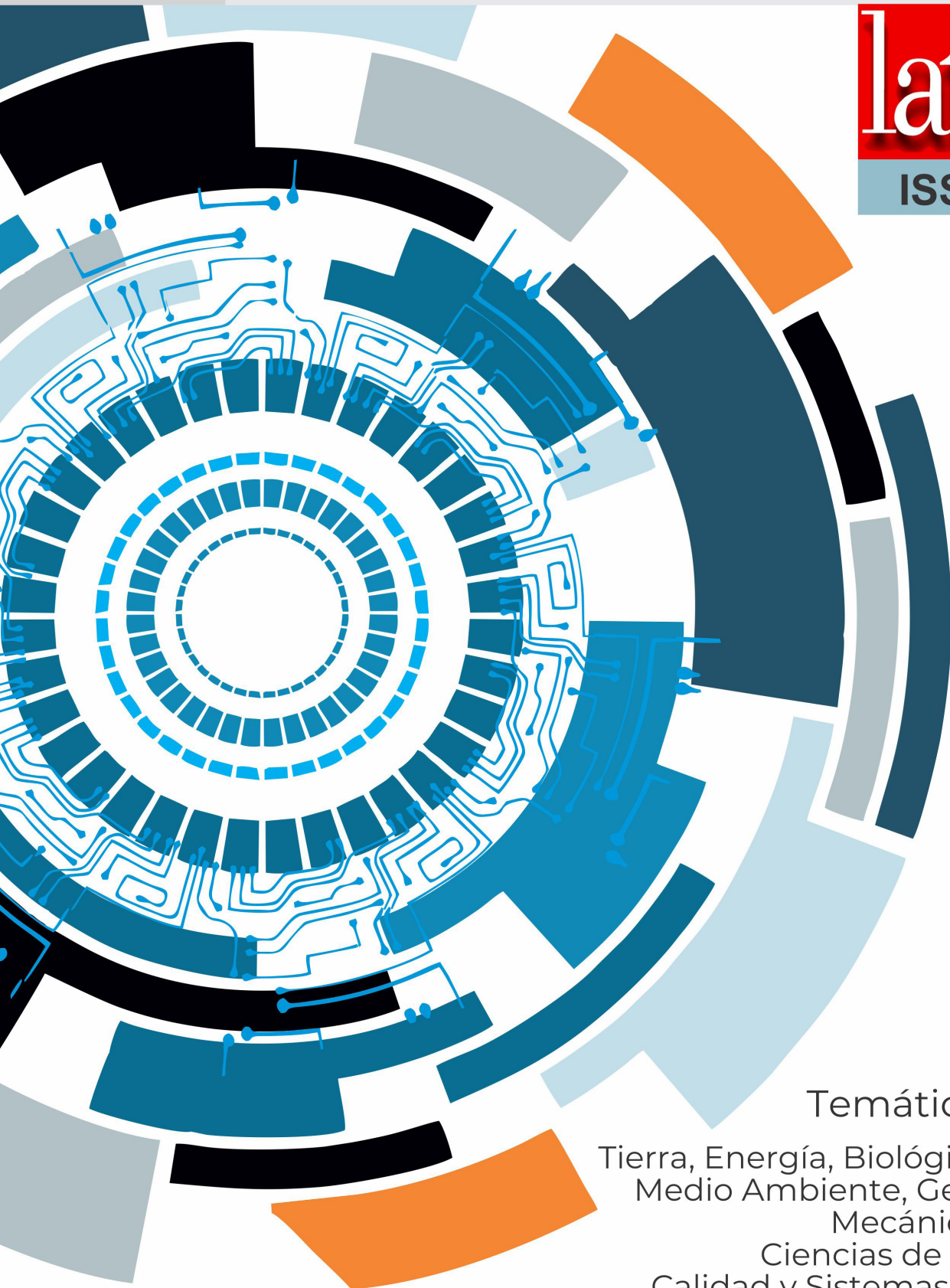
Ingeniantes

Año 5, No. 2, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



Temáticas

Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica,
Medio Ambiente, Gestión Educativa,
Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación,
Calidad y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 5 / No. 2 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, año 5, No. 2, Vol 1. diciembre 2018 - mayo 2019, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: M.I.I Erika Adrianne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adrianne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 07 de diciembre de 2018.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a red, lowercase, serif font. A stylized graphic element, consisting of a vertical orange bar with a small orange circle at the top, is positioned behind the letters "a" and "i".

diciembre 2018

Directorio

Dr. José Alberto Gaytán García

Director General, ITSM, Veracruz, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán

Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

M.C. Reyes Pérez y Cano

Director de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Lic. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Dr. Carlos Yossio Nakase Rodríguez

Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México

Ing. Mayra Lizzeth Mendez Oloarte, ITSM, México

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en

citt.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico: revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH

Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT

Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT

Dr. José Luis Marín Muñiz, CV

Dra. Susana López Cuenca, ITSZ

Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSZ

Dr. Abel García Barrientos, UASLP

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET

Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET

Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET

Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON

Dr. Juan Carlos Gonzalez Hernández, ITM

Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, UACH

Dr. Heriberto Estaban Benito, ITSNa

Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM

Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM

M.I.A. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

M.I.A. Luis Enrique García Santamaria, ITSM

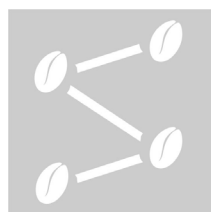
M.I. Daniel Aguayo Siqueiros, ITSM

M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

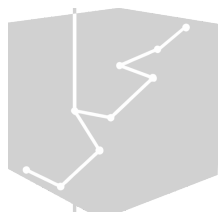
M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM

MSC. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM

Ingeniantes



03



11



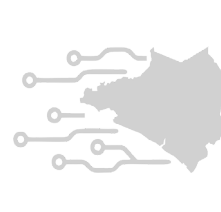
18



27



34



44

Contenido

Mejora del sistema de trazabilidad en la cadena productiva de café basado en APPCC _ 03

Norma Edith Rodríguez Ordaz; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Análisis del maquinado por electroerosión mediante regresión lineal _____ 11

Sandra Lourdes García Ortega, Lázaro Rico Pérez, Carlos Felipe Ramírez Espinoza, Javier Molina Salazar, María Teresa Escobedo Portillo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Estudio de la resistencia a la compresión del travertino tipo puebla procedente de Moratillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México _____ 18

Adolfo Manuel Morales Tassinari; Tomas Flores Cid; María Esperanza Velasco Ordóñez, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

Transmisión de corriente directa HVDC en México. Proyectos actuales y viables _____ 27

L.H. Sánchez-Medel; G. Chicuellar Flores; C.A. Carrillo Molina; C.L. Melchor-Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

Exploring danish actions on improving the efficiency of the energy system for the central region of Mexico _____ 34

Edgar Roberto Sandoval García; Rosa Laura Patricia Edith Franco González; Juan Manuel Fernández Morales, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Búsquedas dinámicas en fuentes de datos abiertos, caso: catastro digital Colima _____ 44

Rosa de Guadalupe Cano Anguiano; José David Osorio Amezcua, Ariel Lira Obando; María Elena Martínez Durán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima



52



61



68



74



81

Reconocimiento facial usando Haar para identificación de intrusos en una galería_____ 52

José Ignacio Vega Luna; Mario Alberto Lagos Acosta; Gerardo Salgado Guzmán, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

Sistema web para la gestión de la producción del café colimense _____ 61

César Amador Sánchez; Patricia Elizabeth Figueroa Millán; Nicandro Fariás Mendoza, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Colima

Gestor integral de casas hogar para adultos mayores (GICHAM) _____ 68

Jesús Uriel Chávez Rodríguez; Rigoberto Ramírez Vega; Ramona Evelia Chávez Valdez; Francisco Cervantes Zambrano; Patricia Elizabeth Figueroa Millán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

Arquitectura de conectividad de los pueblos originarios, un caso de éxito en la aplicación de la arquitectura de conectividad en red en Mecatlán, San Luis Potosí, México _____ 74

María José Aradillas, Universidad Intercultural de San Luis Potosí; Juan Antonio Cabrera Rico, Universidad Politécnica de San Luis Potosí

Metodología para la medición del pensamiento sistémico en empresas manufactureras en México _____ 81

Eduardo Ernesto Cisneros Lascuráin, Universidad Internacional Iberoamericana; Miguel Ángel Cohuo Ávila; Elsy Verónica Martín Calderón; Wendy Argentina Cetina López; Mayra Pacheco Cardín, Instituto Tecnológico Superior de Calkini



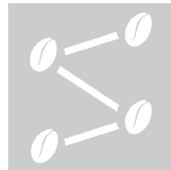
Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Mejora del sistema de trazabilidad en la cadena productiva de café basado en APPCC



Colaboración

Norma Edith Rodríguez Ordaz; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

RESUMEN: En la actualidad la trazabilidad se ha convertido en pieza clave para el aseguramiento de la calidad alimentaria ya que permite que toda la información sobre un alimento se concentre y se pueda llevar hasta el consumidor final. En los últimos años las empresas han incrementado el interés por la trazabilidad, motivadas principalmente por los consumidores, mismos que ven en ella, una manera de aminorar sus preocupaciones respecto a los alimentos que adquieren.

Desde ésta perspectiva se ha realizado el mejoramiento del sistema de trazabilidad en la cadena productiva de una empresa beneficiadora de café, basado en los principios del APPCC, mismo que ayudará a lograr un seguimiento y monitoreo del producto en cada etapa del proceso, salvaguardando su integridad.

En el presente artículo se describe la implementación del sistema APPCC en la empresa exportadora de café y la primera mejora en el sistema de trazabilidad actual, dando la pauta para que se realice en futuros estudios, el diseño de un sistema, que por medio de una base de datos, pueda contemplar cada una de las fases de la metodología APPCC asegurando la inocuidad del café y se dé el correcto seguimiento al flujo de información desde su origen.

PALABRAS CLAVE: APPCC, Beneficio, Inocuidad alimentaria, Punto Crítico de Control, Trazabilidad.

ABSTRACT: Currently traceability has become key to the food quality assurance since it allows all the information about a food is concentrated and can be up to the final consumer. In recent years companies have increased the interest in traceability, motivated mainly by consumers, they see in it, a way to lessen their concerns with respect to foods acquired.

From this perspective it has improved of the system of traceability in the production chain of a coffee dry mill company, based on the principles of HACCP that will help achieve a tracking and monitoring of the product at each stage of the process, while safeguarding the integrity of the product. This article describes the implementation of the HACCP system in the coffee exporting company and the first improvement in the current traceability system, giving the guidelines for future studies, the design of a system that through a database, can contemplate each of the phases of the HACCP methodology that ensuring the safety of the coffee and the correct follow-up to the flow of information from its origin.

KEYWORDS: HACCP, Dry Mill, Food safety, Critical point of control, Traceability.

INTRODUCCIÓN

Según la NC 38-00-03:1999 [1] y la NC 136:2002 [2], el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC) permite identificar, evaluar y controlar peligros significativos para la inocuidad de los alimentos. Es, por tanto, un instrumento para evaluar los peligros y establecer sistemas de control que se centran en la prevención. Para la industria alimentaria, la aplicación del sistema APPCC se ha convertido en una parte fundamental, para su implantación se han utilizado herramientas que ayuden a la identificación de las principales problemáticas, así como herramientas para el aseguramiento de la inocuidad y su seguimiento.

Existe una gran variedad de definiciones de trazabilidad, una de las más importantes es la que enuncia la International Organization for Standardization [3], capacidad para seguir históricamente una aplicación o localización de algo que esté bajo consideración u observación. Según el Codex Alimentarius [4], “trazabilidad es la capacidad para seguir el movimiento de un alimento a través de etapa(s) especificada(s) de la producción, transformación y distribución”. De una manera más puntual, se ha definido a la trazabilidad como una herramienta necesaria para asegurar la transparencia de los mercados y la seguridad de los productos alimentarios [5].

Por otra parte, el sistema de APPCC, que se aplica a la gestión de la inocuidad de los alimentos, utiliza la metodología de controlar los puntos críticos en la manipulación de alimentos, para impedir que se produzcan problemas relativos a la contaminación [6]. Este sistema, que tiene fundamentos científicos y carácter sistemático, permite identificar los peligros específicos y las medidas necesarias para su control, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos. El objetivo primordial del sistema APPCC es la identificación de los peligros relacionados con la seguridad del consumidor que puedan ocurrir en la cadena alimentaria, estableciendo los procesos de control para garantizar la inocuidad del producto.

Actualmente la empresa beneficiadora de café adolece de un sistema de trazabilidad que permita generar los datos necesarios para la identificación y rastreo de cada uno de sus lotes de materia prima y de producto terminado, originando a su vez, que no cumpla con su objetivo primordial de dar seguimiento del café a lo largo de la cadena de suministro, además, imposibilita otros beneficios tales como: protección de la inocuidad del producto y la factibilidad de lograr una certificación, por ejemplo en los sistemas de gestión de calidad, de gestión medioambiental y sistemas de control conocidos como cadena de custodia. La carencia del rastreo de los materiales ha repercutido, entre varios casos, a la constante variación de pesos recibidos de hasta 500 kilos de producto en un lote de 17,250 kg., lo que se puede traducir en aproximadamente \$20,200 pesos MXN¹.



Figura 1. Recepción de un lote con variación de peso. Elaboración propia

Al ser una compañía de giro alimenticio, requiere a su vez, del aseguramiento de la inocuidad del café, por lo tanto, es de suma importancia, la implementación de una herramienta que ayude a la identificación y tratamiento de puntos críticos que preserven la calidad y prevengan la contaminación del café.

Con base en el estudio, se demostrará que aplicando el APPCC como herramienta para el mejoramiento de un sistema de trazabilidad, ayudará a lograr un seguimiento y monitoreo del producto en cada etapa del proceso.

MATERIAL Y MÉTODOS

La implementación de la metodología APPCC se realizó en la empresa beneficiadora de café teniendo como fundamento los principios básicos del APPCC del Codex Alimentarius, los cuales es necesario dividir en las siguientes etapas:



Figura 2. Metodología utilizada basada en APPCC del Codex Alimentarius.

Etapas 1.- Diagnóstico y formación de un equipo APPCC.

El beneficiado del café se define como la transformación del fruto de café maduro (cerezo) a café verde u oro de punto comercial, a través de las siguientes etapas [7]:

- Recolección del fruto,
- Recibo y clasificación del fruto,
- Despulpado del fruto,
- Clasificación del café despulpado,
- Remoción del mucilago del café despulpado,

¹H <http://www.infoasercas.gob.mx/coberturas/cafe.asp> (2017)

- Lavado del café fermentado,
- Clasificación del café lavado,
- Secado del café lavado y trillado.

La empresa donde se realiza el estudio es una compañía trasnacional dedicada al 100% a la comercialización nacional e internacional de café oro. Juega una parte central en el café mexicano de exportación, con una cuota de mercado de alrededor del 20%. Al mismo tiempo, la empresa es uno de los principales proveedores para la industria local.

Cuenta con tres beneficios secos, Tapachula, Huixtla y Veracruz, dos beneficios húmedos; Puebla y Veracruz; y 11 organismos encargados de la compra y acopio de materia prima situados a lo largo de todo el país. El 2 de octubre del año 2001 se funda en la ciudad y puerto de Veracruz la planta contando con un beneficio seco y una bodega de consolidación. Hoy en día, se realiza el beneficio seco del café en dos de sus fases, café pergamino y café oro, para ello contando con 7 bodegas de almacenamiento: producto terminado y de materia prima; un beneficio seco con dos trenes de procesamiento (convencional y certificado) y 120 empleados permanentes que hacen posible las diferentes etapas del proceso desde la recepción hasta su consolidación y embarque.

De acuerdo a las dimensiones de la empresa, la formación de un equipo APPCC debe estar integrado por un equipo multidisciplinario, de manera que las personas que formen parte de él, aporten en líneas generales los conocimientos de cada una de las áreas fundamentales del proceso, por lo tanto, la conformación del equipo se realizó mediante el modelo 3P y 3C, mismo que considera los seis factores clave que determinan la productividad y el desempeño de los equipos de trabajo [8].

En la Tabla 1 se muestra la formación del equipo APPCC, el cual se encuentra conformado por 10 personas.

Tabla 1. Conformación del equipo APPCC.

Elaboración propia.

Cargo	Departamento
Coordinador	Gerente Operativo
Miembros del equipo	Gerente General
	Jefe de aseguramiento de calidad
	Jefe de Beneficio
	Jefe de inventarios
	Jefe de Control de Calidad
	Auxiliar de Inventarios
	Encargado de Recursos Humanos
	Jefe de Mantenimiento
Personal externo	Consultor

Después de una verificación in situ se elaboró un diagrama de flujo del proceso general del café, el cual se muestra en la figura 3, mismo que se divide en 3 procesos principales:

- Recepción.
- Proceso productivo.
- Consolidación y embarque.

El primer proceso se inicia con la recepción del café pergamino, esto puede ser en sacos de yute o plástico de 60 a 69 kilos o en súper sacos llamados "saconas" de 1,000 kilos cada uno, se evalúa físicamente, se envasa dependiendo de la recepción y se toma una muestra de 500 gr para su catación, mediante la catación se terminan los parámetros de recepción para su cotejo con lo contratado y su acomodo en almacén.

En el proceso productivo se inicia con la pre-limpieza, la cual consta de la depuración mecánica de hojas, palos, piedras y cualquier material extraño y se almacena en las bodegas destinadas de café pergamino limpio.

En el trillado se retira el cascabillo o cascara del café para la obtención del café oro, se realiza la clasificación neumática seguida de una clasificación por tamaño. Por medio de la clasificación por densidad se obtienen 3 tipos de café: café de primera, café de segunda y desmanches, el café de segunda vuelve a reclasificarse o se almacena para procesos posteriores, el café desmanche es almacenado para su envasado y embarque, mientras que el café de primera sigue su proceso de clasificación por color, a continuación, se pasa a la tolva de producto terminado. Se toma una muestra de 500 grs. Para su catación, el café se pesa y envasa en sacos de yute de 69 kilos netos.

El café envasado puede ser almacenado para su próximo embarque o es catado para su consolidación y transporte.

Etapas 2.- Determinación de los posibles peligros en cada fase.

Los peligros son clasificados de acuerdo con su naturaleza en Químicos (Q), Biológicos (B), y Físicos (F). Durante el proceso de beneficiado seco, el café puede estar sujeto a contaminación física, química o biológica. La calidad del café verde puede verse comprometida si el producto se procesa con prácticas deficientes.

Peligros químicos en el café:

Las micotoxinas son metabolitos secundarios que son producidos por hongos filamentosos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Muchos de éste tipo metabolitos producen efectos nocivos para los consumidores. En el caso específico del café, la micotoxina más importante es la OTA, producida por *Aspergillus ochraceus* y *A. westerdijkiae*, *A. carbonarius* y algunas otras especies. [9]

Por esta razón, las condiciones de secado, almacenamiento y transportación, deben ser rigurosamente controladas, las variaciones de temperatura y humedad relativa

del aire durante el almacenamiento, pueden provocar una re-humidificación de los granos y como consecuencia, permitir el desarrollo de los hongos. Estas condiciones del café es un importante punto crítico de control.

Peligros biológicos en el café

Los granos de café están expuestos a una diversidad de microorganismos, tales como hongos, levaduras y bacterias, que en condiciones favorables se desarrollan en el grano. El balance entre levaduras y bacterias puede variar ampliamente, encontrándose además hongos filamentosos tales como *Aspergillus* o *Penicillium* particularmente especies mesofílicas de *Aspergillus* productoras de Ocratoxina A (OTA). Que crece mejor bajo ciertas condiciones ambientales [9]. Sin embargo, su presencia no implica una síntesis de micotoxinas, puesto que la producción de metabolitos secundarios no es esencial. De hecho, las condiciones a las cuales este hongo produce OTA son muy específicas. Sin embargo, la presencia de OTA en café verde fue considerada en la identificación de peligros químicos, la cual fue discutida anteriormente.

Los peligros biológicos asociados al café verde no son considerados un riesgo para la salud de los consumidores, ya que como anteriormente se mencionó, el café verde no se consume como tal, los procesos posteriores que incluyen el tostado y la preparación de la bebida, utilizan altas temperaturas que eliminan cualquier peligro biológico presente.

Peligros físicos en el café

El procesamiento primario del café se realiza con la finalidad de disminuir la humedad del producto fresco y permitir su estabilidad durante su almacenamiento y transporte. El secado de los granos de café se realiza por diferentes métodos naturales o mecánicos, el secado natural al sol de café se realiza en las fincas o en el beneficio en instalaciones denominadas patios de secado, en los patios de secado el café puede adquirir diferentes contaminantes físicos como son piedras, metales, plásticos, etc. Todos estos tipos de contaminantes deben ser eliminados antes de llevar a cabo los diferentes procesos de clasificación. Durante el proceso de beneficio seco de café, varias de las etapas están diseñadas para la eliminación de peligros físicos y dejar los granos limpios y libres de estos contaminantes.

Etapas 3 y 4.- Establecimiento de límites críticos para cada PCC y elaboración de medidas correctivas

Una vez determinadas en qué etapas se encuentran los PCC, es decir, dónde vamos a ejercer los controles para evitar los peligros que se han determinado, el paso siguiente es establecer los criterios para su control, las pautas a tener en cuenta para realizar dichos controles. Para ello se establecen los límites críticos, éstos marcaran la frontera entre lo aceptable y lo no aceptable, entre lo seguro y lo no seguro. Un producto será seguro en tanto los valores de los parámetros a controlar en cada PCC se mantengan dentro de los límites críticos.

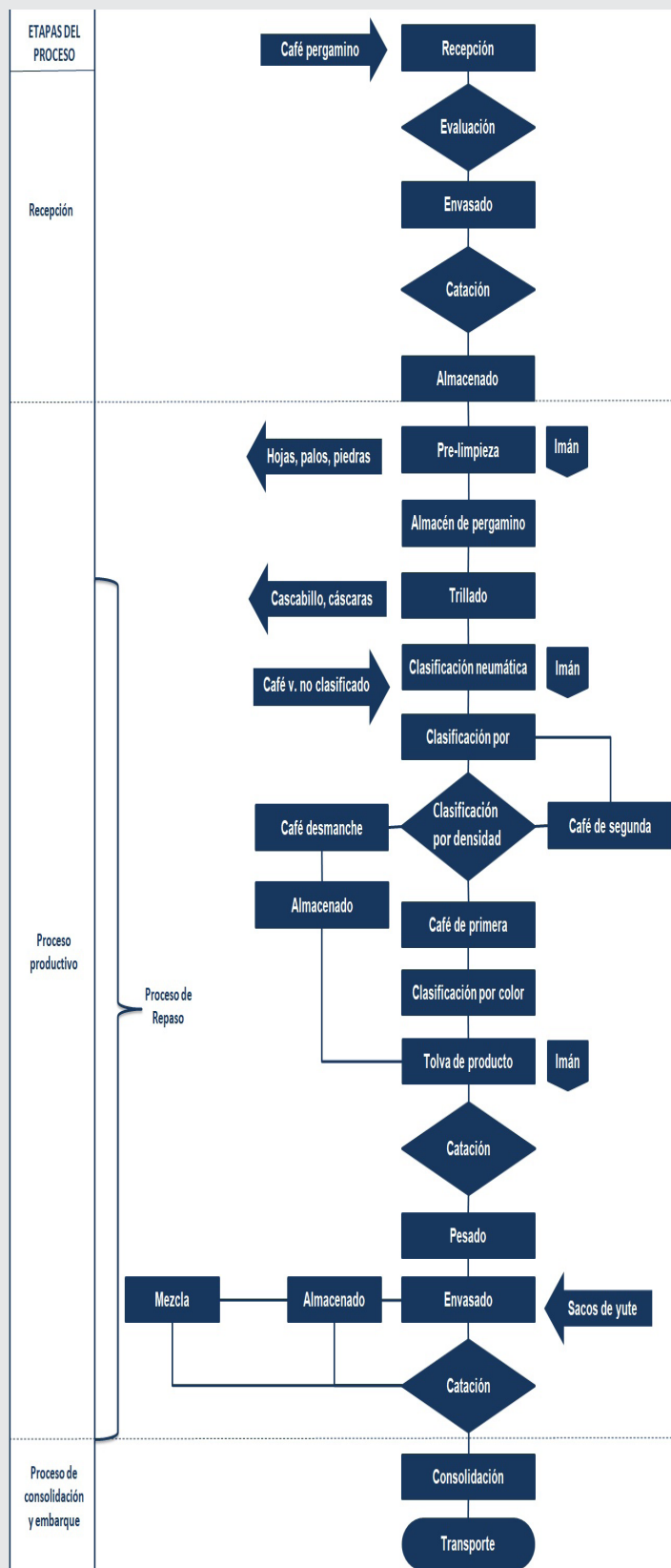


Figura 3. Diagrama de proceso general de café (elaboración propia)

Los peligros del tipo biológico, químico o físico que pudieran presentarse en cualquiera de las fases de producción y cuya eliminación o reducción hasta niveles aceptables sea esencial para asegurar la inocuidad del alimento, se identificarán y valorarán de acuerdo a la magnitud de sus consecuencias: [10]



Figura 4. Valores de gravedad. (Guía APPCC en el sector de café tostado)

En las siguientes tablas se enuncian cada una de las etapas del proceso, la identificación de los peligros, la evaluación de riesgos, su probabilidad y su gravedad, el programa de apoyo que previene el peligro, la confirmación si el peligro será controlado o reducido en la etapa posterior, así como si es el control de la etapa esencial para la inocuidad del café.

Tabla 2 Límites de control y medidas correctivas.

Elaboración propia.

ETAPA DEL PROCESO	IDENTIFICACION DE PELIGROS	EVALUACIÓN DE RIESGOS		PROGRAMA PRE-REQUISITO QUE LO CONTROLA	¿EL PELIGRO SERÁ CONTROLADO O REDUCIDO EN UNA ETAPA POSTERIOR?	¿ES EL CONTROL DE LA ETAPA ESENCIAL PARA LA INOCUIDAD? Si: PCC
		Probabilidad	Gravedad			
Recepción: Café pergamino / Café verde (oro)	B - Plagas provenientes del sifón y tolva de recepción	B	B	Programa de orden y limpieza	Manejo integrado de plagas	No
	Q - Lubricantes de la maquinaria	B	M	Mantenimiento de equipo. Programa de orden y limpieza. Higiene del personal	No	No
	F - Metales, piedras, vidrio, hilos, palos, en sifón y tolva de recepción	B	B	Programa de orden y limpieza. Higiene del personal	Pre-limpieza en máquinas e imanes	No
Envasado en bolsas big bag o Súper sacos	B - Ninguno					
	Q - Ninguno					
	F - Ninguno					
Almacenamiento	B - Desarrollo de hongos, contaminación con excretas de animales, ataque de insectos	M	M	BPM, BPA, Manejo integrado de plagas. Control de temperatura y humedad dentro del almacén.	Clasificación por tamaño, densidad y color que elimina granos defectuosos y fluorescentes. Reporte de catación antes de maquila.	Si
	Q - Formación de micotoxinas, contaminación con hidrocarburos por empaque o montacargas	B	A	Procedimiento de recepción de empaque. Programa de orden y limpieza. Control de planta física. Control de humedad y temperatura dentro del almacén. Programa de mantenimiento	Clasificación por tamaño, densidad y color que elimina granos defectuosos y fluorescentes.	Si

Tabla 3. Límites de control y medidas correctivas.

Elaboración propia.

ETAPA DEL PROCESO	IDENTIFICACION DE PELIGROS	EVALUACIÓN DE RIESGOS		PROGRAMA PRE-REQUISITO QUE LO CONTROLA	¿EL PELIGRO SERÁ CONTROLADO O REDUCIDO EN UNA ETAPA POSTERIOR?	¿ES EL CONTROL DE LA ETAPA ESENCIAL PARA LA INOCUIDAD? Si: PCC
		Probabilidad	Gravedad			
Trillado	B - Ninguno					
	Q - Lubricantes de la maquinaria	B	B	Programa de orden y limpieza. Programa de mantenimiento de equipo, control de químicos, uso de grasa "food grade". Check list pre-operacional	No	Si
	F - Metales desprendidos de la máquina	B	B	Programa de mantenimiento de equipo	Imanes en las siguientes etapas del proceso	No
Clasificación neumática	B - Ninguno					
	Q - Ninguno					
	F - Metales desprendidos de la máquina	B	B	Programa de mantenimiento de equipo	Imanes en las siguientes etapas del proceso	No
Clasificación por tamaño	B - Ninguno					
	Q - Lubricantes de la maquinaria	B	B	BPM, Control de químicos, uso de grasa "food grade". Check List pre-operacional	No	Si
	F - Metales desprendidos de la máquina	B	B	Programa de mantenimiento de equipo	Imanes en las siguientes etapas del proceso	No
Clasificación por densidad	B - Ninguno					
	Q - Ninguno					
	F - Metales desprendidos de la máquina, plástico quebradizo de las lámparas	B	B	Programa de mantenimiento de equipo, programa de plástico y vidrio quebradizo	Imanes en las siguientes etapas del proceso	No

Tabla 4 Límites de control y medidas correctivas.

Elaboración propia.

ETAPA DEL PROCESO	IDENTIFICACION DE PELIGROS	EVALUACIÓN DE RIESGOS		PROGRAMA PRE-REQUISITO QUE LO CONTROLA	¿EL PELIGRO SERÁ CONTROLADO O REDUCIDO EN UNA ETAPA POSTERIOR?	¿ES EL CONTROL DE LA ETAPA ESENCIAL PARA LA INOCUIDAD? Si: PCC
		Probabilidad	Gravedad			
Clasificación por color	B - Dejar pasar los granos atacados por hongos e insectos	B	M	Programa de mantenimiento (calibración)	Tratamiento térmico que se aplica a los granos durante el tostado	Si
	Q - Dejar pasar granos fluorescentes contaminados con micotoxinas	B	M	Programa de mantenimiento (calibración)	Tratamiento térmico que se aplica a los granos durante el tostado	Si
	F - Ninguno					
Envasado	B - Ninguno					
	Q - Ninguno					
	F - Introducción de materiales extraños	B	M	BPM, Programa de orden y limpieza	No	No
Almacenamiento	B - Desarrollo de hongos, infestación de insectos, excretas de animales	B	M	BPM, BPA, Manejo integrado de plagas, control de temperatura y humedad dentro del almacén.	Tratamiento térmico que se aplica a los granos durante el tostado	No
	Q - Micotoxinas, contaminación con hidrocarburos	B	M	BPM, BPA, Procedimiento de recepción de empaques, Procedimiento de marcado de costalera, capacitación.	Tratamiento térmico que se aplica a los granos durante el tostado	No
	F - Ninguno					

Etapas 5.- Formulación de un sistema de verificación.

A continuación, se enlista el flujo de producto e información para procesamiento de café pergamino, llevado a cabo como el sistema de verificación el cual deberá indicar la información necesaria para dar el adecuado seguimiento del café pergamino (materia prima) así como el producto final (café oro o verde).

Tabla 5. Sistema de verificación de café pergamino

Operador	Etapas	Registros	Documento generado
Proveedor de Finca	Compra de café	Número de kilos enviados Número de sacos enviados Fecha de envío Calidad de café enviada Datos del transporte Procedencia Destino	Aviso de salida
Recibidor en almacén de café	Recibo de café en bodega y desembarque	Proveedor Procedencia Clase de café No. de sacos Kg enviados Kg recibidos	Nota de báscula
Control de calidad	Catación del café recibido	Rendimiento Tamaño Imperfecciones taza	Reporte de catación
Recibidor en bodega matriz	Clasificación por Estibas de acuerdo a tipo de calidad	Datos de cada nota de báscula del café que conforman la estiba. Procedencia Ubicación física en bodega	Inventario físico Inventario en sistema diamante
Trade	Compra de café	-Kilos comprados -Precio de café -Calidad -Precio de café a comprar	-Factura
Gerente operativo	Marcado de sacos	-fecha -Lote -No. de sacos -Rango -No. de lote a envasar -No. de maquila	Orden de marcado de sacos
Gerente operativo	Orden de maquila	Procedencia Notas de báscula a maquilar Total de kg a maquilar	Orden de maquila
Control de calidad	Análisis de café maquilado	Defectos físicos Rendimiento	Reporte de catación de café maquilado

Tabla 6. Sistema de verificación de café verde

Operador	Etapas	Registros	Documento generado
Proveedor de Finca	Compra de café	Número de kilos enviados Número de sacos enviados Fecha de envío Calidad de café enviada Datos del transporte Procedencia Destino	Aviso de salida
Recibidor en bodega matriz	Recibo de café en bodega matriz y desembarque	Proveedor Procedencia Clase de café No. de sacos Kg enviados Kg recibidos	Nota de báscula
Control de calidad	Catación del café recibido	Rendimiento Tamaño Imperfecciones taza	Reporte de catación
Recibidor en bodega matriz	Clasificación por Estibas de acuerdo a tipo de calidad	Datos de cada nota de báscula del café que conforman la estiba. Procedencia Ubicación física en bodega	Inventario físico Inventario en sistema diamante
Trade	Compra de café	-Kilos comprados -Precio de café -Calidad -Precio de café a comprar	-Factura
Gerente operativo	Marcado de sacos	-fecha -Lote -No. de sacos -Rango -No. de lote a envasar -No. de maquila	Orden de marcado de sacos
Jefe de inventarios	Recepción de café oro maquilado, asignación número de lote y ubicación de almacenamiento	No. de lote Calidad Parámetros de calidad Procedencia	Recibo de control interno (RCI) Etiqueta de identificación de cada lote
Trade	Determinación de venta	Lotes por embarcar	Reporte de venta
Tráfico	Facturación	Cliente, Producto vendido, Importe	Factura

Etapas 6.- Establecimiento de un sistema de documentación y registro.

De acuerdo a los puntos del sistema APPCC, se elabora un sistema de documentación y registro basado en los puntos críticos de control con información que permita dar un seguimiento a cada uno de los lotes a través de la cadena productiva del café en la empresa. Un ejemplo del etiquetado actual se muestra en la figura 5, donde se puede observar que carece de información que permita reconocer a simple vista su procedencia, ya que solo se muestra la información del No. de Recibo de Control Interno y el tipo de almacenaje:

- Tonga (Café pergamino en sacos)
- Block (Café pergamino en saconas)
- Estiba (Café verde en sacos)

En este caso sería un café pergamino en saconas en el block 699 con el número de Recibo de Control Interno 035270.



Figura 5. Etiquetado actual.

En la figura 6 se muestra la primera etiqueta de mejora con información más detallada incluyendo ubicación (número de bodega se encuentra almacenado el café), el numero de block, el número de sacona o súper saco del total del block, sección de acomodo, el número del recibo del café y remitente.

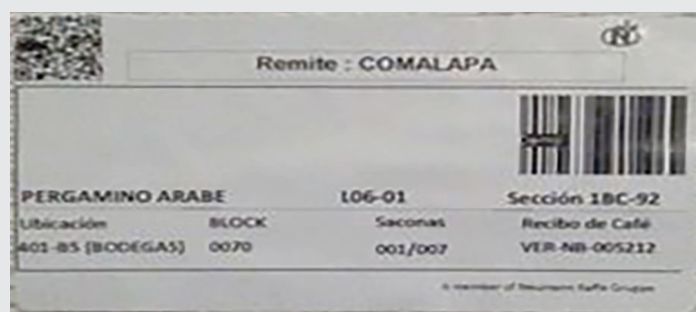


Figura 6. Etiquetado mejora 1

RESULTADOS

Se ha determinado con base al análisis de la implementación del sistema APPCC, que el etiquetado actual carece de información que permita la identificación y rastreo de cada uno de sus lotes de materia prima y de producto terminado, así como el aseguramiento de la inocuidad del café.

De acuerdo con las primeras pruebas se ha confirmado que con la adición de información en el etiquetado se ha podido lograr un mejor rastreo evitando de esta manera merma en la materia prima recibida, así como en los embarques de producto terminado, resultando de ello una localización del 70% de cada uno de los embarques de los meses enero a marzo, en los cuales se ha determinado mermas solo de 50 a 120 kilos en lotes de 17,250 kilos cada uno, económicamente hablando se evitaron pérdidas de \$20,000 pesos MNX.

Adicional a los resultados tangibles, es importante mencionar que la concientización del personal que labora en la empresa se ha incrementado, ya que se ha observado un número inferior de errores al ingresar información de una bodega a otra evitando de esta manera confusiones y pérdida de tiempo al cumplir con sus labores de recepción y acomodo en cada una de las bodegas de café.

CONCLUSIONES

Por consiguiente, se sugiere dar seguimiento al caso de estudio en la empresa para poder generar un sistema complementario (una base de datos) donde se analice a profundidad cada uno de los reportes y formatos generados en cada etapa del proceso, con el fin de lograr la trazabilidad desde la compra de café hasta la entrega del embarque en puerto, tomando en cuenta cada uno de las fases del sistema APPCC y su implementación a profundidad en cada una de las bodegas, para asegurar de ésta manera la inocuidad del café pergamino y café oro.

Como recomendación para lograr una implementación efectiva del sistema APPCC, se debe de realizar un análisis exhaustivo de causa raíz para cada uno de los puntos críticos de control, para determinar los verdaderos orígenes de dichos peligros, de ésta manera, poder impedir la presencia de riesgos que puedan impactar negativamente en la calidad del café.

En adición, la estandarización de los formatos y documentos que se llevan para el control interno, ayudaría al manejo efectivo de la información, evitando re-trabajo y contratiempos en el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] *Norma Cubana. NC 38-00-03.1999. Principios generales de higiene de los alimentos.*

[2] *Norma Cubana. NC 136. 2002. Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP) y Directrices para su aplicación. Principios generales de higiene de los alimentos.*

[3] *Norma Internacional ISO 9000, Sistema de gestión de la calidad Fundamentos y vocabulario. Ginebra (2005)*

[4] *Codex Alimentarius. CAC/RCP-1-1969. 1997. Principios Generales de Higiene de los Alimentos. 2da. Edic., Rev. 3. (1997).*

[5] *Cañizares Sevilla, E.; Ortiz Berrocal, F; López Infante, I. (2013). Introducción a la trazabilidad en la industria agroalimentaria. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera, 1-19*

[6] *Campos, D. F. (2011). Aplicación del sistema de autocontrol APPCC en industrias de frutas y hortalizas. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.*

[7] *Quintero, G. I. (2000). Beneficie correctamente su café y conserve la calidad de su bebida.*

[8] *Franco Gutiérrez, C. A. (2014). Modelos para el análisis y diagnóstico de equipos de trabajo. Estudios Gerenciales, núm. 91, abril-junio, 35-48.*

[9] *Soriano del Castillo, J.M (2007) Micotoxinas en alimentos.*

[10] *Asociación Española de Tostadores de Café y Federación Española del Café. (2016). Guía de Análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC) en el sector de café tostado. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, 1-30.*



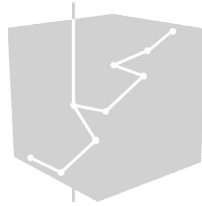
Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Análisis del maquinado por electroerosión mediante regresión lineal



Colaboración

Sandra Lourdes García Ortega, Lázaro Rico Pérez, Carlos Felipe Ramírez Espinoza, Javier Molina Salazar, María Teresa Escobedo Portillo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN: Se presenta el diseño de un sistema de reconocimiento facial usando el algoritmo de Eigenfaces y las características de Haar, implantado a través de una tarjeta Raspberry Pi 3, una cámara de video y la biblioteca de funciones de visión por computadora OpenCV. Para la identificación mediante características de Haar, utilizaron las imágenes positivas capturadas por la cámara de video. Para el entrenamiento del sistema se usó una base de datos de rostros de AT&T. Cada imagen está en formato png cuyo tamaño es 92x112 píxeles con niveles de gris de 256 por píxel. Las imágenes se organizan en 40 carpetas del sistema de archivos de la Raspberry, con 10 imágenes cada una, siendo un total de 400 imágenes de rostros con variaciones de luz, expresiones faciales y detalles como anteojos y vello facial. El resultado indica la coincidencia de un rostro capturado con otro de la base de datos usada en el entrenamiento. La precisión lograda en la identificación fue 83%, capturando 100 diferentes fotos, de rostros previamente identificados, y reconociendo 83 de las muestras realizadas en tres minutos en promedio.

PALABRAS CLAVE: Eigenfaces, Haar, OpenCV, Raspberry Pi 3, reconocimiento facial.

ABSTRACT: The design of a facial recognition system is presented using the Eigenfaces algorithm and the Haar characteristics, implanted through a Raspberry Pi 3 card, a video camera and the OpenCV computer vision library. For identification using Haar features, they used the positive images captured by the video camera. A database of AT & T faces was used to train the system. Each image is in png format whose size is 92x112 pixels with gray levels of 256 per pixel. The images are organized in 40 folders of the Raspberry file system, with 10 images each, with a total of 400 images of faces with variations of light, facial expressions and details such as glasses and facial hair. The result indicates the match of a captured face with another of the database used in the training. The accuracy achieved in the identification was 83%, capturing 100 different photos of faces previously identified, and recognizing 83 of the samples taken in three minutes on average.

KEYWORDS: Eigenfaces, facial recognition, Haar, OpenCV, Raspberry Pi 3.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una amplia variedad de literatura sobre los procesos de electroerosión por alambre. Sin embargo, a pesar de la existencia de esas teorías de maquinado, los operadores de este tipo de máquinas siguen seleccionando los parámetros de corte basados en su experiencia, resultando en acabados superficiales que no cumplen con los requerimientos demandados por los clientes y afectando el desempeño financiero de la empresa. Entre los trabajos encontrados en la literatura, se han utilizado diversas herramientas de análisis, especialmente de predicción; Así, en una investigación se utilizó la metodología de superficie de respuesta para predecir la rugosidad superficial y la tasa de remoción de material para una aleación A413 empleada en la industria

automotriz y aeroespacial; los modelos matemáticos obtenidos fueron satisfactorios [1]. En otro estudio se obtuvo un modelo no lineal para predecir la rugosidad superficial sobre un compuesto de aluminio reforzado; los resultados obtenidos son cercanos a los resultados experimentales [2]. En otra investigación, se usó un diseño Taguchi para predecir la rugosidad superficial y la velocidad de corte del alambre sobre un material de diamante policristalino; los resultados mostraron que cuando se incrementa la velocidad de corte a 4.7mm/min, no se afecta drásticamente a la rugosidad superficial [3]. Asimismo, un arreglo ortogonal Taguchi fue utilizado para obtener un modelo matemático predictor de la rugosidad superficial y velocidad de corte sobre una aleación de aluminio 5083 [4]. Una técnica de optimización multi-respuesta fue usada para modelar el comportamiento de la rugosidad superficial y la tasa de remoción de material en material de titanio puro [5]. En otro estudio, se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta para modelar materiales con baja conductividad eléctrica [6]. También, una red neuronal fue diseñada para predecir el comportamiento de la rugosidad superficial en el material Al7075 [7]. Mediante el análisis relacional, se optimizó el proceso de electro-maquinado sobre un aluminio HE30 [8]. Finalmente; se analizó y modeló la tasa de remoción del material de aleación de aluminio 7018 [9]. Como se puede apreciar en la literatura anteriormente mencionada, a pesar de que se han hecho estudios con respecto al modelado del proceso de maquinado por electroerosión por alambre, es factible aplicar estos métodos de análisis sobre otros materiales y de este modo, enriquecer más el estado del arte de este fenómeno en estudio. Por lo tanto, en el presente proyecto de investigación se propone obtener un modelo matemático para predecir la rugosidad superficial (Ra) y la tasa de remoción de material (MRR) sobre el material aluminio 6061 en el proceso de electroerosión con alambre. El Aluminio 6061 es un material muy empleado en la industria maquiladora de Ciudad Juárez.

METODOLOGÍA

Esta investigación se llevó a cabo en el laboratorio de sistemas de manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. El experimento se realizó sobre 60 probetas de aluminio 6061 mediante un diseño experimental. Estas probetas fueron maquinadas con una máquina de electroerosión por alambre modelo Robofil 310 de 5 ejes. En este experimento las variables de control fueron, la tensión en el alambre (WB) y la velocidad del mismo (WS). Las variables de respuesta fueron: La rugosidad superficial (Ra) y la Tasa de remoción de Material (MRR). Otros parámetros de las máquinas como tensión de mecanizado (V), polaridad, duración del impulso (A), tiempo entre dos impulsiones (B), velocidad máxima de avance (S), tensión media de referencia de servo control (Aj), tiempo de impulsión corta (Tac), corriente de impulsión de encendido (IAL) y estrategia (ST) se mantuvieron constantes.

Las probetas de aluminio 6061 tienen una densidad de 2.70 g/cm³ y una pulgada de diámetro. La composición química del material es la mostrada en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del aluminio 6061

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min	0.40		0.15		0.80	0.04				
Max	0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.15	Resto

Se realizaron 6 corridas de 10 probetas cada una, segmentando el experimento en dos grupos: en el primero varió la tensión mecánica del hilo (WB); en el segundo, la velocidad de alimentación del hilo (WS). Los parámetros constantes son: tensión de mecanizado (V), polaridad, duración del impulso (A), tiempo entre dos impulsiones (B), velocidad máxima de avance (S), tensión media de referencia de servo control (Aj), tiempo de impulsión corta (Tac), corriente de impulsión de encendido (IAL) y estrategia (ST).

Para el desarrollo de esta investigación, en una máquina de electroerosión por hilo (WEDM), se cortaron 60 probetas para analizar los datos y para determinar las ecuaciones de regresión lineal de los datos. Una vez definidas las ecuaciones, se procedió a comprobar que tienen un margen de error inferior al 15%.

En la figura 1 se esquematiza el funcionamiento de la máquina de electroerosión por alambre o hilo.

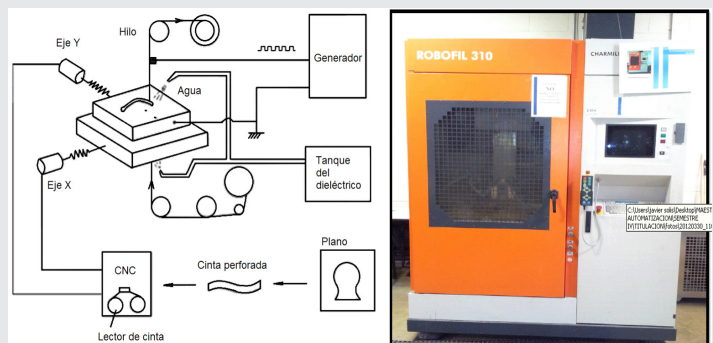


Figura 1. Funcionamiento de una máquina de hilo izquierda y WEDM derecha

Con el uso de una WEDM se puede obtener en un solo maquinado un producto final; la electroerosión por hilo permite una reducción de costos de fabricación que oscila entre el 30 y el 60% respecto a métodos convencionales.

Los parámetros de arranque de la WEDM Robofil 310 se muestran en la tabla 2. Estos valores son los sugeridos para el corte de aluminio utilizando alambre de cobre. En el estudio fueron variables WB y WS. Las mediciones de la rugosidad media aritmética (Ra) fueron realizadas con un equipo SurfTest 301 marca Mitutoyo, el cual cumple con las normas internacionales

DIN, ISO, ANSI y JIS. Finalmente, la tasa de remoción de material es medida en mm³/min.

Tabla 2. Parámetros arrojados por la WEDM al programar corte de aluminio

Parámetro	Valor	Unidades
V	80	khz
IAL	16	amp
B	8	μs
A	1	μs
Tac	0.4	μs
A _i	40	amp
S	10	m/min
Inj	1	Sin unidad
WB	0.8	daN
WS	9	m/min

Variación de la tensión mecánica del hilo (WB).

Para el primer grupo del experimento, se mantuvieron todos los parámetros constantes excepto por la tensión mecánica del hilo (WB). Este parámetro se varió de 0.3 daN a 2 daN con incrementos de 0.57 daN. En la tabla 3 se muestran los resultados del promedio del Ra en X y Y de 30 muestras, en 3 bloques de 10.

Tabla 3. Ra y MRR cuando WB=0.6 daN, WB=1.17 daN y WB=1.75 daN

Muestra #	WB=0.6 daN		WB= 1.17 daN		WB=1.75 daN	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
1	129.50	3.75	136.50	3.91	135.00	3.60
2	144.00	3.80	138.50	3.77	144.50	3.85
3	141.00	3.88	138.00	3.85	128.50	3.66
4	124.50	3.90	138.50	3.91	138.50	3.95
5	138.00	3.77	139.00	3.68	143.00	3.96
6	133.00	3.88	141.00	3.84	137.00	3.55
7	138.00	3.86	135.00	3.68	140.00	3.88
8	142.00	3.90	144.00	3.71	133.50	3.91
9	138.00	3.77	136.50	3.84	142.00	3.88
10	139.50	3.66	131.50	3.91	138.50	3.91
Promedio	136.75	3.817	137.85	3.81	138.05	3.815

A continuación, los datos se analizaron para determinar si una ecuación de regresión lineal promediando las 3 primeras corridas, puede definir el comportamiento del parámetro de corte WB.

Variación de la velocidad de alimentación del hilo (WS)
Para el segundo grupo, se mantuvieron todos los parámetros constantes mientras que WS se varió de 2 m/min a 15 m/min con incrementos de 4 m/min. En la tabla No 4 se muestran los resultados del promedio de WS en las 30 muestras, en 3 bloques de 10.

Tabla 4. Ra y MRR cuando WS=13 m/min, WS=9 m/min y WS=5 m/min

Muestra #	WS=13 m/min		WS=9 m/min		WS=5 m/min	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
1	133.00	2.66	131.00	3.77	133.50	4.66
2	138.50	2.55	134.00	3.88	137.00	4.50
3	132.50	2.67	135.50	3.88	135.50	4.60
4	138.00	2.88	132.50	3.95	148.00	4.95
5	141.50	2.95	146.50	3.96	142.00	4.51
6	138.00	2.60	149.00	3.55	135.50	4.58
7	133.50	2.58	142.00	3.69	138.00	4.52
8	134.00	2.94	128.50	3.90	154.50	4.68
9	134.50	2.64	140.00	3.75	138.00	4.85
10	145.00	2.80	130.00	3.90	144.50	4.59
Promedio	136.85	2.72	136.90	3.82	140.65	4.64

El promedio del segundo grupo de datos se analizó para determinar si es posible definir el comportamiento del parámetro de corte WS mediante una ecuación de regresión.

RESULTADOS

Esta sección muestra los resultados de los experimentos realizados. Los datos se analizaron en el software estadístico Minitab para la obtención de una ecuación de regresión lineal que explique el comportamiento de la variación de los parámetros WS y WB.

Prueba de normalidad de WB y WS

Para determinar si el método de medición fue consistente, se realizó la prueba de normalidad a los datos de las mediciones promediadas. En la figura 2 se muestra el resultado de la prueba de normalidad de WB con la rugosidad superficial (Ra) y la figura 3 muestra el resultado para WS con la tasa de remoción de material (MRR)

La confirmación se realizó por medio de una gráfica de probabilidad normal, con un intervalo de confianza del 95%. Esta confirma que los datos son normales siempre y cuando los puntos y/o valores queden dentro de los límites, para el caso de esta investigación las mediciones quedaron dentro de los límites como se muestra en la figura anterior y se consideran normales.

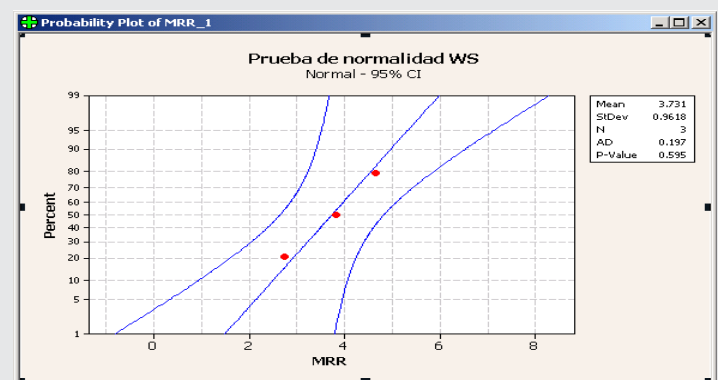


Figura 2. Gráfica de prueba de normalidad para MRR

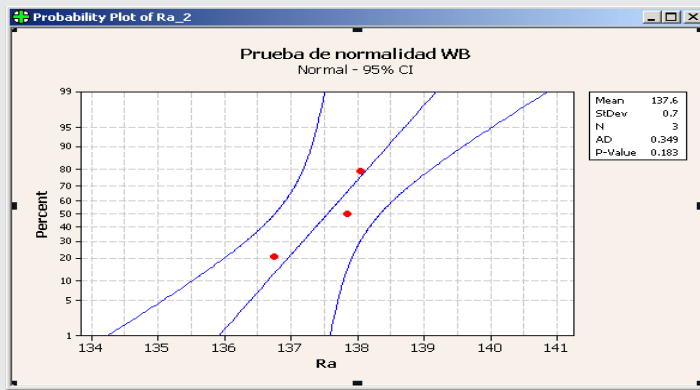


Figura 3. Gráfica de prueba de normalidad para Ra

Resultados y Análisis de WS

La rugosidad superficial Ra variando WS da como resultado la ecuación de regresión lineal de la ecuación (1):

$$Ra = -0.425WS + 142.40 \quad \text{Ec. (1)}$$

Como se observa en la figura 4, se tiene una desviación estándar de $S=1.51$ y un coeficiente de terminación de $r^2=76\%$, por lo que se puede deducir que esta ecuación determina en un alto grado el comportamiento de la rugosidad al momento de variar el parámetro WS. En un 76% de los casos, se puede encontrar el punto de caída de WS. También hay una correlación negativa de Pearson de WS y Ra de 0.872, esto es, existe una correlación negativa alta entre la variable de entrada y salida. Asimismo, se determinó la tasa de remoción de material en la ecuación (2)

$$MRR = 0.2396WS + 1.575 \quad \text{Ec. (2)}$$

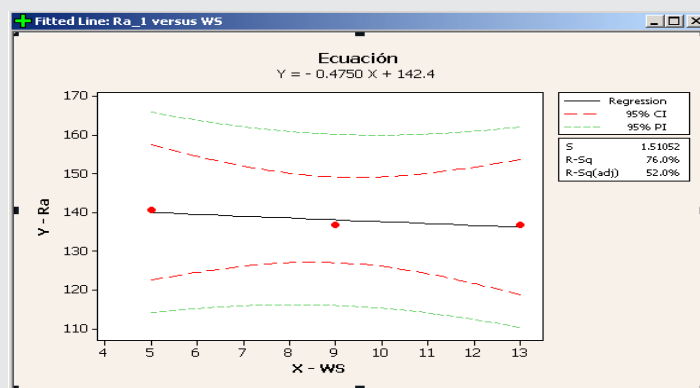


Figura 4. Gráfica de regresión lineal de Ra vs WS

Como se observa en la figura 5, se tiene una desviación estándar de $S=0.11$ y un coeficiente de determinación de $r^2=99.3\%$, por lo que se puede decir que al variar el parámetro de WS, esta ecuación determina en un 99.3% el comportamiento de la rugosidad. También se encontró una correlación de Pearson de WS y MRR de 0.997, es decir, existe una correlación positiva alta entre la variable de entrada y salida. Ambas ecua-

ciones de regresión lineal solo satisfacen la velocidad del cable para el rango de 5 m/min a 13 m/min.

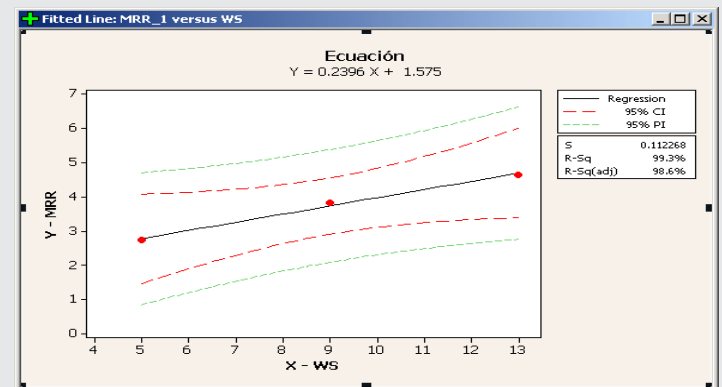


Figura 5. Gráfica de regresión lineal de MRR vs WS

Resultados y análisis de WB

La variación de la tensión del hilo WB para rugosidad superficial da como resultado la ecuación (3)

$$Ra = -1.128WB + 136.20 \quad \text{Ec. (3)}$$

Como se observa en la figura 6 existe una desviación estándar de $S=0.372$ y un coeficiente de terminación de $r^2=85.9\%$ por lo que se puede decir que al momento de variar el parámetro de WS, esta ecuación determina en un alto grado el comportamiento de la rugosidad, es decir que en un 85.9% de los casos se puede encontrar el punto de caída de WS. También existe una correlación de Pearson de WB y Ra de 0.927. Existe una correlación positiva alta entre la variable de entrada y salida.

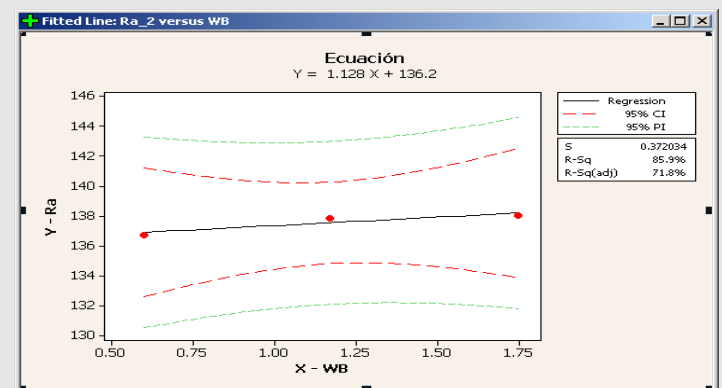


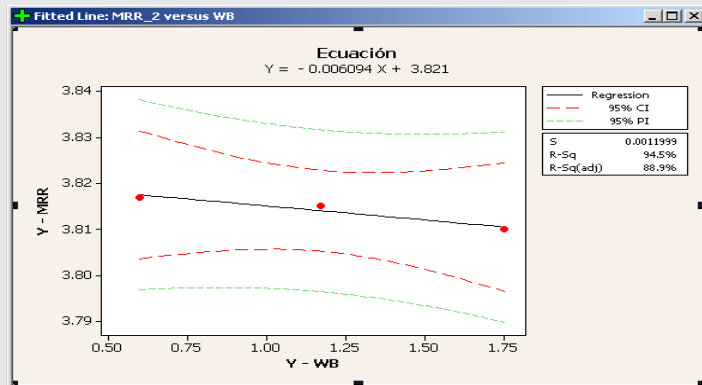
Figura 6. Gráfica de regresión lineal de Ra vs WB

Para la tasa de remoción de material MRR se obtiene la ecuación (4):

$$MRR = -0.006094WB + 3.821 \quad \text{Ec. (4)}$$

Como se observa en la figura 7 existe una desviación estándar de $S=0.001$ y un coeficiente de terminación de $r^2=94.5\%$, por lo que se puede decir que esta ecuación determina en un alto grado, el comporta-

miento de la rugosidad al momento de variar el parámetro de WS, es decir, en un 94.5% de los casos es posible encontrar el punto de caída de WS. También se puede afirmar que existe una correlación Pearson negativa de WB y Ra de 0.972. Existe una correlación negativa alta entre la variable de entrada y salida. Ambas ecuaciones de regresión lineal solo satisfacen la tensión del cable para el rango de 0.6 daN a 1.75 daN. Validación de los resultados



Para verificar la confiabilidad de las ecuaciones de regresión encontradas, se corrieron las pruebas de validación, encontrando los resultados mostrados en las tablas 5 y 6.

Como se puede ver en la tabla 5, el porcentaje de error va de 6.05% a 0.97% para Ra y de 0.42% a -5.80% para MRR, este porcentaje de error se calcula mediante la ecuación (5):

$$M. Error = \frac{(prueba resultados - predicción resultados)}{pr} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde “predicción resultados” es la ecuación de regresión lineal encontrada, sustituyendo los valores de WS para Ra y MRR, es decir, las ecuaciones (1) y (2). Ejemplo:

$$Ra = -0.475 WS + 142.40$$

$$Ra = -0.475(14) + 142.40 = 139.07 \mu m$$

El valor “prueba resultados” es el detectado por el rugosímetro en la probeta cortada mediante la variación de WS. Ejemplo:

$$M. Error = \frac{145 - 139.07}{145} * 100 = 4.08$$

Como se puede ver en la tabla 6 el porcentaje de error para WB va de 1.87% a -0.17% para Ra y de 0.26% a -0.02% para MRR. Este porcentaje de error se calcula mediante la ecuación (5), donde predicción de resultados se sustituye por las ecuaciones de regresión lineal (3) y (4).

Tabla 5 Resultados del experimento al variar WS

Prueba de validación #1	WS	Ra Predicho	Ra encontrado	% de error	MRR predicho	MRR encontrado	% de error
1	13	136.22	145	6.05	4.68	4.7	0.42
2	10	137.65	139	0.97	3.91	3.81	-2.62
3	7	135.75	139	2.33	4.92	4.65	-5.80

Tabla 6 Resultados del experimento al variar WB

Prueba de validación #1	WS	Ra Predicho	Ra encontrado	% de error	MRR predicho	MRR encontrado	% de error
1	0.7	135.41	138	1.87	3.816	3.815	-0.02
2	1	135.07	137	1.40	3.814	3.816	0.05
3	1.65	134.33	134.1	-0.17	3.81	4.817	0.26

CONCLUSIONES

Las ecuaciones de regresión lineal encontradas son altamente confiables, debido a que los porcentajes de error son menores al 10%. Es importante mencionar que se encontró que la tensión del alambre (WB) y velocidad del alambre (WS) no son variables influyentes en el tiempo de maquinado. Sin embargo, es importante tomar en cuenta a ambas variables con la finalidad de mantener la tensión del alambre en un punto medio para evitar que el alambre se rompa cuando la tensión es muy alta y así evitar tiempos muertos durante el maquinado de las piezas. También, se observó que disminuyendo la velocidad de alimentación de cable se puede tener un buen acabado de las piezas a un menor costo, ya que se utiliza menos cable para cortar una superficie determinada.

La implementación de estas ecuaciones permitirá predecir el resultado de maquinar las piezas mediante la variación de ambas variables: acabado superficial Ra y la cantidad de material removido (MRR).

Como sugerencia para próximas investigaciones se recomienda ampliar el rango de análisis ya que este proyecto se limita al análisis del comportamiento en tensión de alambre WB de 0.6 daN a 1.75 daN, siendo el alcance de 0.3 daN a 2 daN y la velocidad del alambre (WS) se analizó de 5 m/min a 13 m/min, teniendo un intervalo de 2 m/min a 15 m/min. También se sugiere obtener una ecuación de regresión lineal multi-variable para ver el comportamiento en la inter-relación de ambas variables.

BIBLIOGRAFÍA

[1] *An investigation of material removal rate and surface roughness of squeeze casted A413 alloy on WEDM by multi response optimization using RSM.* R. Soundararajan, A. Ramesh, N. Mohanraj, N. Parthasarathi. *Journal of Alloys and Compounds* 2016

[2] *Semi-empirical modeling of surface roughness in wire electro-discharge machining of ceramic particulate reinforced Al matrix composites.* *Procedia CIRP* 42 (2016) 280 – 285; Nilesh G. Patila, P.K. Brahmankarb

[3] *The prediction of surface finish and cutting speed for wire electro-discharge machining of Polycrystalline Diamond.* M. Galindo-Fernandez, C. Diverb, W. Leahyc; *Procedia CIRP* 42 (2016) 297 – 304

[4] *Experimental investigation and multi-objective optimization of wire electrical discharge machining (WEDM) of 5083 aluminum alloy.* G. Selvakumar, G. Sornalatha, S. Sarkar, S. Mitra; *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 24(2014) 373_379

[5] *Multi-response optimization and modeling of trim cut WEDM operation of commercially pure titanium (CPTi) considering multiple user's preferences.* Rupesh Chalisgaonkar, Jatinder Kumar; *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18 (2015) 125-134

[6] *Modelling of surface roughness in Coated Wire Electrical discharge machining through Response Surface Methodology.* Dain Thomas, Rajeev Kumar, G.K. Singh, Prashant Sinha, Sachin Mishra *Materials Today: Proceedings, Volume 2, Issues 4-5, 2015, Pages 3520-3526*

[7] *Prediction of Machining Characteristics using Artificial Neural Network in Wire EDM of Al7075 based In-situ Composite.* Vishwa R. Surya, K.M. Vinay Kumar, R. Keshavamurthy, G. Ugrasen, H.V. Ravindra. *Materials Today: Proceedings, Volume 4, Issue 2, Part A, 2017, Pages 203-212*

[8] *Multiple Response Optimization of Wire EDM on Aluminium HE30 by using Grey Relational Analysis* V. Chengal Reddy, N. Deepthi, N. Jayakrishna. *Materials Today: Proceedings, Volume 2, Issues 4-5, 2015, Pages 2548-2554*

[9] *Modelling and analysis of material removal rate and surface roughness in wire-cut EDM of armour materials.* Ravindranadh Bobbili, V. Madhu, A.K. Gogia. *Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 18, Issue 4, December 2015, Pages 664-668.*



Mecánica *de* Materiales

Ingeniantes

Estudio de la resistencia a la compresión del travertino tipo puebla procedente de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México

RESUMEN: El presente estudio tiene como finalidad determinar la resistencia a la compresión del travertino tipo Puebla procedente de la cantera localizada en Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante ensayo de compresión uniaxial. Para el ensayo se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C170/C170M-16 Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone; además, se utilizaron 24 probetas cúbicas con dimensión de 50 ± 0.5 mm en cada lado. Se realizaron ensayos de compresión uniaxial en 12 probetas secas (6 con carga paralela y 6 con carga perpendicular a la veta) y en 12 probetas saturadas (6 con carga paralela y 6 con carga perpendicular a la veta). El resultado obtenido fue que el travertino tipo Puebla procedente de la cantera de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, tiene una resistencia a la compresión de 64.51 MPa. De acuerdo con este resultado, el material de esta cantera cumple con la resistencia mínima recomendada por la norma ASTM C568/C568M-10; por lo que, se recomienda su uso para pisos y/o columnas para interiores y/o exteriores.

PALABRAS CLAVE: Cantera, ensayo de compresión uniaxial, resistencia a la compresión, travertino tipo Puebla.



Colaboración

Adolfo Manuel Morales Tassinari; Tomas Flores Cid; María Esperanza Velasco Ordóñez, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

ABSTRACT: This study has the purpose to determine the compressive strength of the travertine type Puebla from the quarry located in Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, by uniaxial compression test. For the test, the procedure of the standard ASTM C170/C170M-16 Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone was applied; in addition, 24 cubic specimens with a size of 50 ± 0.5 mm on each side were used. Uniaxial compression tests were performed on 12 dry specimens (6 with parallel load and 6 with load perpendicular to the vein) and on 12 saturated specimens (6 with parallel load and 6 with load perpendicular to the vein). The result obtained was that the travertine type Puebla from the quarry of Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, has a compressive strength of 64.51 MPa. According to this result, the material of this quarry meets the minimum strength recommended by ASTM C568/C568M-10; so, its use is recommended for floors and/or columns for interiors and/or exteriors.

KEYWORDS: Compressive strength, quarry, travertine type Puebla, uniaxial compression test.

INTRODUCCIÓN

La roca es uno de los materiales que más abundantes en la naturaleza y desde la antigüedad han sido consideradas como elementos constructivos y ornamentales; por lo que, la proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica [1]. En este sentido, las rocas se clasifican por su origen en: a) rocas ígneas, formadas por el enfriamiento y la solidificación del magma del interior de la Tierra; b) rocas metamórficas, son aquellas que

sufrieron cambios en la mineralogía y estructura por la presión y temperatura a grandes profundidades al interior de la Tierra; c) rocas sedimentarias, formadas por sedimentos y partículas mediante la meteorización de otras rocas, la acumulación de material de origen biológico, la precipitación de sustancias químicas o bioquímicas, o una combinación de ellas [2].

Ahora bien, un tipo de roca sedimentaria es el travertino, que se define como una roca de calcita parcialmente cristalina porosa o celularmente estratificada de origen químico, formada por la precipitación de calcita en soluciones de agua calientes o tibias en el fondo de estanques poco profundos [3]. El travertino es una roca muy valiosa en la industria de la piedra dimensional debido a su llamativo carácter textural muy poroso con una paleta diversa de tonos claros y suaves tonos tierra; además, es suave y fácil de trabajar, por lo que ha sido una piedra de construcción y decorativa favorita desde la época preclásica hasta el presente [4].

Los travertinos como material de construcción son utilizados desde la antigüedad, así tanto griegos como romanos los utilizaron como roca de uso estructural en sus templos y palacios; además, como aplacados e incluso pavimentos [5]. También, se pueden utilizar como arcos, molduras, columnas, detalles y otros elementos de diferentes formas [6]. En el ámbito científico, los travertinos son susceptibles de datación por lo que son usados para determinar las velocidades con que se producen fenómenos geológicos tales como: la velocidad del descenso de su nivel de agua y de la evolución espacial de su línea de costa; la velocidad de encajamiento y las velocidades locales de erosión; además, la velocidad de acumulación de sedimentos [7].

En la localidad de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existe una cantera de travertino tipo Puebla; en la Figura 1, se muestra una fotografía de la cantera de dicha localidad.



Figura 1. Cantera de travertino tipo Puebla.

Es importante mencionar que, las propiedades de una roca derivan de las características puramente petrográficas; de los minerales que las forman, de su tamaño y morfología; del volumen de poros, de su forma y de la naturaleza de los fluidos que rellenan estos poros [8]. En la Figura 2, se muestra una fotografía de la superficie del travertino tipo Puebla de la cantera ubicada en la localidad de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México:



Figura 2. Superficie del travertino tipo Puebla

Las propiedades mecánicas de una roca caracterizan el comportamiento mecánico y de deformaciones, entre estas propiedades se encuentran: la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión, la resistencia al choque y el módulo de elasticidad [9]. En este sentido, la mayoría de las especificaciones arquitectónicas requieren que el travertino cumpla con ciertas especificaciones antes de que se acepte su uso; por lo que, es posible que se requiera cumplir con los estándares relacionados con la resistencia a la compresión [10].

La resistencia a la compresión de un piso es la carga de compresión máxima que puede soportar el material del piso sin aplastar ni deformar más de lo permitido [11]. Por lo que, para estimar la resistencia a la compresión de una roca, se aplican métodos y/o ensayos que se realizan en campo y/o laboratorio [12]; de esta forma, uno de los ensayos más utilizados en laboratorio para determinar la resistencia a la compresión es el ensayo de compresión uniaxial que consiste en aplicar una fuerza axial de compresión mediante una máquina de compresión sobre el área de una probeta cúbica o cilíndrica.

Existen diversas investigaciones sobre la resistencia a la compresión en diversos tipos de rocas de distintos países, por ejemplo en la comarca de Macael, Almería, España, el mármol tipo Blanco Macael Rio tiene una resistencia a la compresión de 74.1 MPa [13]. También, en la ciudad de Odukpani en el Calabar Flank, sudeste de Nigeria la dolorita intrusiva tiene una resistencia a la compresión de 130 MPa [14]. Además,

en Estancia Túnel, Isla Grande de Tierra de Fuego, la hornblendita tiene una resistencia a la compresión de 70.51 MPa [15].

En México, se han realizado investigaciones sobre la resistencia a la compresión en diferentes tipos de materiales; por ejemplo, en el estado de Yucatán la piedra caliza tiene una resistencia a la compresión de $282.67 \pm 161.15 \text{ kg/cm}^2$ [16]. Además, en San Juan Ixcaquixtla, Ixcaquixtla, Puebla, el travertino tipo Dorado Tepexi tiene una resistencia a la compresión de 66 MPa [17]; mientras que, en El Ejido, Tepexi de Rodríguez, Puebla, el travertino tipo Puebla tiene una resistencia a la compresión de 60 MPa [18].

En la actualidad, para que las empresas de la transformación y comercialización de materiales pétreos naturales puedan expandir sus mercados al extranjero o para entrar a procesos de licitación en la industria de la construcción, requieren que sus productos cumplan con ciertas propiedades. En este sentido, de acuerdo con la norma ASTM C1527/C1527M-11 Standard Specification for Travertine Dimension Stone, para que cualquier travertino pueda ser usado como piso en interiores debe de tener una resistencia a la compresión mínima de 34 MPa y para pisos en exteriores debe tener una resistencia a la compresión mínima de 52 MPa [19].

De esta forma, el presente estudio tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión del travertino tipo Puebla de la cantera ubicada en la localidad de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, mediante un ensayo de compresión uniaxial a probetas cúbicas con dimensión de $50 \pm 0.5 \text{ mm}$ aplicando el procedimiento recomendado por la norma ASTM C170/C170M-16 Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone. De acuerdo con esta norma, se deben realizar ensayos de compresión uniaxial en probetas secas y saturadas aplicándoles cargas de compresión paralela y perpendicular a la veta [20].

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Pruebas de Materiales del Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez. Además, se utilizaron los siguientes equipos y materiales: pulidora marca MTI modelo UNIPOL-820, vernier digital marca POINT modelo DC-KH6, horno de secado marca MEMMERT modelo UP500, báscula digital marca METTLER TOLEDO modelo SP30002-S, máquina de compresión marca MATEST, termómetro digital marca MATEST, agua destilada marca HERCOTEC y lijas con tamaño de grano 400; de la Figura 3a) a la 3h), se muestran las fotografías de los equipos y materiales empleados.



Figura 3. a) Pulidora; b) Vernier digital; c) Horno de secado; d) Báscula digital; e) Máquina de compresión; f) Termómetro digital; g) Agua destilada; h) Lijas con tamaño de grano 400.

Preparación de las Probetas.

La empresa Industrias del Travertino S.A., procesó las probetas mediante muestras obtenidas de la cantera de la localidad de Moralillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. De las probetas que la empresa procesó se seleccionaron 24 probetas con base en el color característico; además, que cada probeta tuviera una dimensión de $50 \pm 0.5 \text{ mm}$ en cada una de sus caras. Las 24 probetas se lijaron en las dos caras que iban a quedar en contacto con los dados de la máquina de compresión; en la Figura 4, se muestra el lijado de una de las caras de una probeta:



Figura 4. Lijado y pulido de las probetas.

Después, se les asignó un número para que fueran identificadas durante los ensayos de compresión; además, se marcó la orientación de la veta. En la Figura 5, se muestra la fotografía de las probetas preparadas:



Figura 5. Probetas preparadas.

Obtención del peso seco y saturado.

Para la prueba de compresión, 12 probetas se secaron en un horno de secado a una temperatura de 60 ± 2 °C durante 48 horas para secarlas; al mismo tiempo, 12 probetas se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas para saturarlas. En la Figura 6a), se muestra una fotografía de las probetas dentro del horno de secado; mientras que en la Figura 6b), se muestra una fotografía de las probetas sumergidas en agua destilada:



Figura 6. a) Probetas dentro del horno de secado

Para garantizar que las 24 probetas estuvieran acondicionadas, se pesaron con la báscula digital en la hora 46, 47 y 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48 las 24 probetas estaban acondicionadas para la prueba de compresión. Cabe mencionar que, el pesado de las



Figura 6. b) Probetas dentro de agua destilada.

probetas se realizó a temperatura ambiente promedio de 22 °C. En la Figura 7a) se muestra una fotografía del peso seco de la probeta PA17; mientras que, en la Figura 7b) se muestra una fotografía del peso saturado de la probeta PA22.

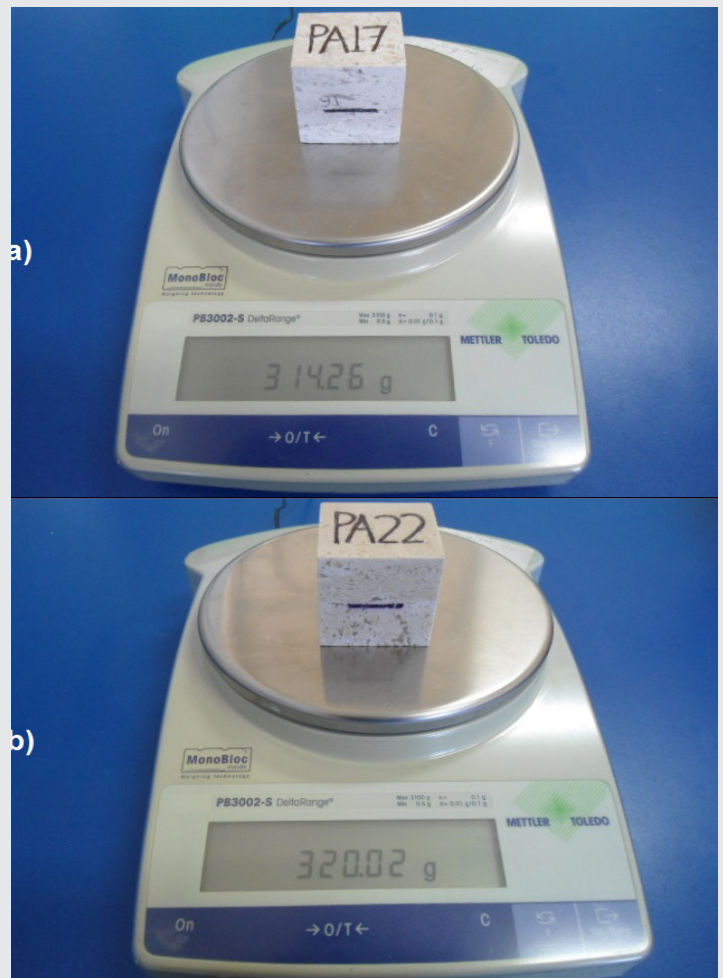


Figura 7. a) Peso seco de la probeta PA17;
b) Peso saturado de la probeta PA22.

Cabe mencionar que, el peso seco y el peso saturado de las probetas se obtuvieron a temperatura ambiente.

Compresión de las probetas.

Cada probeta fue ubicada en la máquina de compresión, de tal forma que la probeta estuviera centrada en los dados y que la marca de la veta estuviera al frente de la máquina. En la Figura 8a) y Figura 8b), se muestran las fotografías de las probetas PA03 y PA23 respectivamente colocadas en la máquina de compresión durante al ensayo de compresión uniaxial.

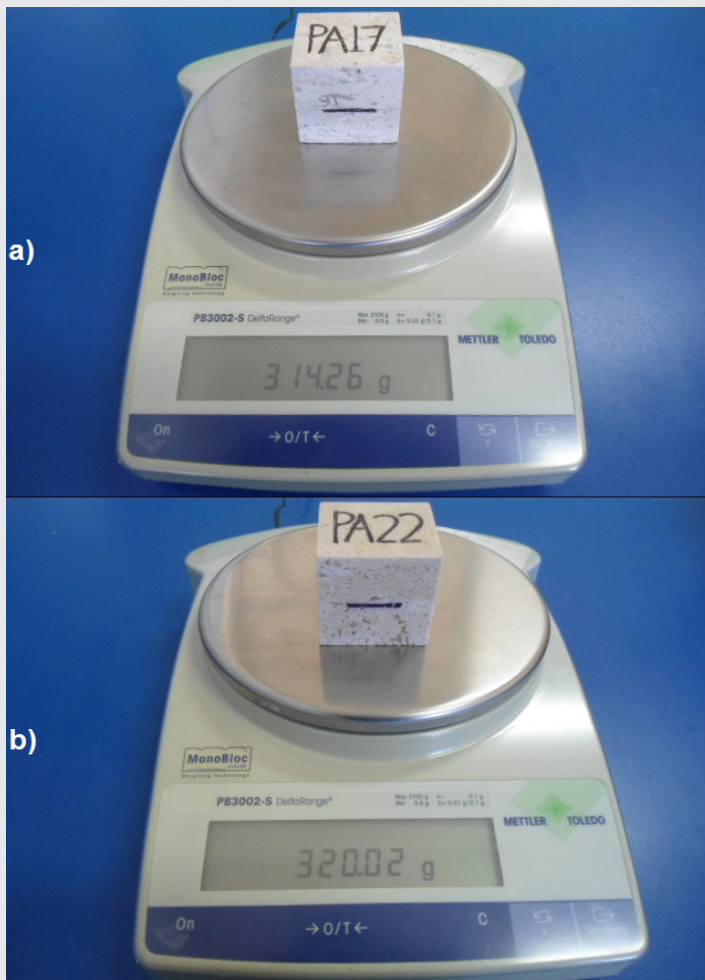


Figura 8. a) Probeta PA03 durante el ensayo de compresión uniaxial; b) Probeta PA23 durante el ensayo de compresión uniaxial.

Cabe mencionar que, el ensayo de compresión se realizó a temperatura ambiente de 22 °C. De la Figura 9a) a la Figura 9d) se muestran las fotografías de las probetas PA02, PA10, PA17 y PA22 respectivamente después de la prueba de compresión uniaxial.

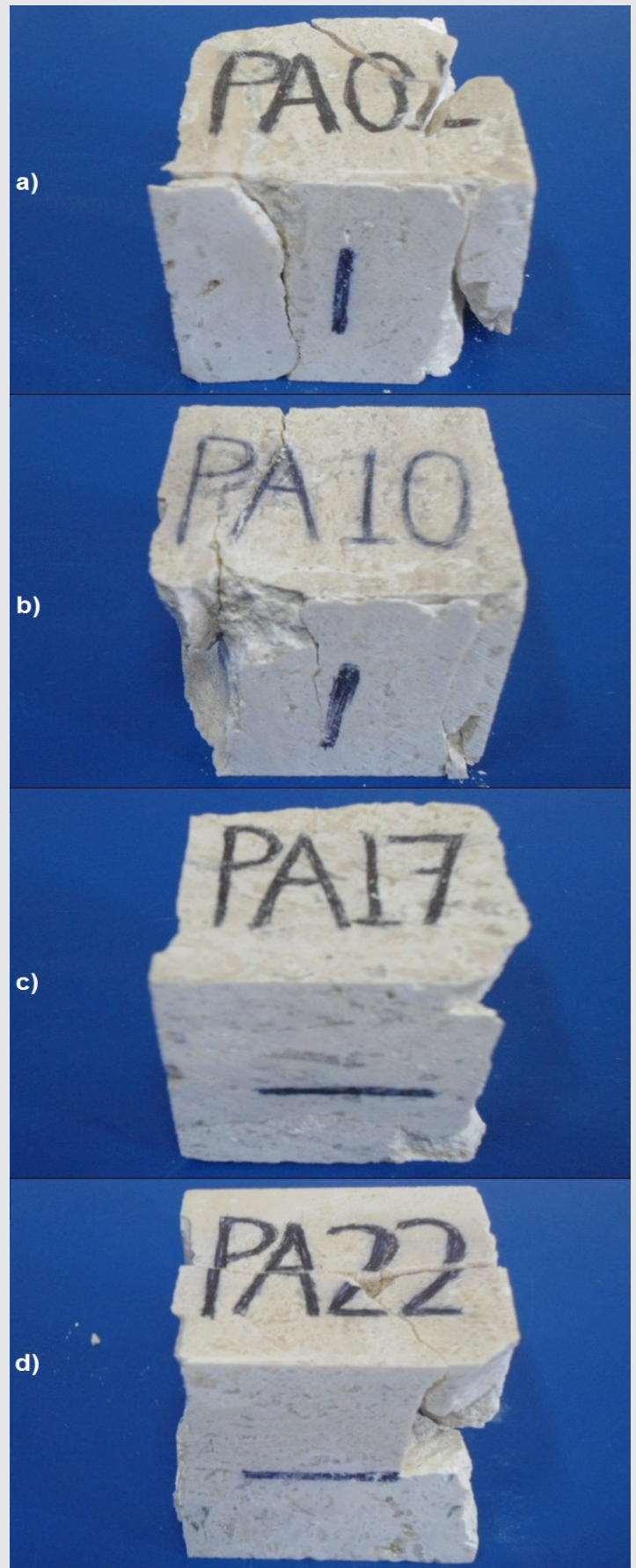


Figura 9. a) Probeta PA02; b) Probeta PA10; c) Probeta PA17; d) Probeta PA22.

RESULTADOS

De acuerdo con la norma ASTM C170/C170M-16, a partir de la carga de compresión (W) y del área de la sección transversal de compresión (AC) se obtiene la resistencia a la compresión (S) mediante la Ecuación 1 [20].

$$S = \frac{W}{A} \quad \text{Ec. (1)}$$

De acuerdo con la norma ASTM C170/C170M-16, se realizaron ensayos en 6 probetas secas con carga paralela a la veta y en 6 probetas secas con carga perpendicular a la veta; además, ensayos en 6 probetas saturadas con carga paralela a la veta y en 6 probetas saturadas con carga perpendicular a la veta. En la Tabla 1 y Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión en probetas secas y saturadas:

En la Tabla 1 se muestra que, la resistencia a la compresión promedio en probetas secas con carga paralela a la veta es de 125.96 MPa con una desviación estándar de 25.25 MPa; mientras que, la resistencia a la compresión promedio en probetas secas con carga perpendicular a la veta es de 99.28 MPa con una desviación estándar de 31.12 MPa. Además, en la Tabla 2 se muestra que, la resistencia a la compresión promedio en probetas saturadas con carga paralela a la veta es de 104.49 MPa con una desviación estándar de 24.66 MPa; mientras que, la resistencia a la compresión promedio en probetas saturadas con carga perpendicular a la veta es de 64.51 MPa con una desviación estándar de 21.02 MPa.

Tabla 2. Peso seco de probetas del ciclo 1 al ciclo 5.

Tipo de Carga	Número de Probeta	Carga W (N)	Área A (mm ²)	Resistencia a la Compresión S (MPa)
Paralela a la veta	PA07	338437	2510.01	134.83
	PA08	226126	2515.02	89.91
	PA09	224696	2515.02	89.34
	PA10	290060	2505.00	115.79
	PA11	179428	2515.00	71.34
	PA12	316218	2515.00	125.73
	Promedio			104.49
	Desviación Estándar			24.66
Perpendicular a la veta	PA19	126007	2505.00	50.30
	PA20	134303	2515.00	53.40
	PA21	265244	2505.00	105.89
	PA22	160977	2520.04	63.88
	PA23	129368	2505.00	51.64
	PA24	155185	2505.00	61.95
	Promedio			64.51
	Desviación Estándar			21.02

Tabla 3. Peso seco de probetas del ciclo 6 al ciclo 10.

Origen de la variac.	Suma de cuad.	Grado de liber.	Prom.	Valor de Fisher (F)	Prob.	Valor de Fisher Crítico (F _{cr})
Cond. Física	6666	1	6666	10.04	0.0048	4.35
Cond. Carga	4744	1	4744	7.14	0.0146	4.35
Interac	265	1	265	0.40	0.5345	4.35
Dentro grupo	13281	20	664	-	-	-
Total	24956	23	-	-	-	-

Como se observa en la Figura 10, el grupo de probetas saturadas con carga perpendicular a la veta (PA19-PA24) tiene menor resistencia a la compresión; por lo que, para ver si este resultado es significativo se realiza un análisis de varianza de dos factores mediante el software MS-Excel. Los factores son la condición física de la probeta (seca o saturada) y la condición de carga (paralela o perpendicular). En la Tabla 3, se muestran los resultados del análisis de varianza de dos factores:

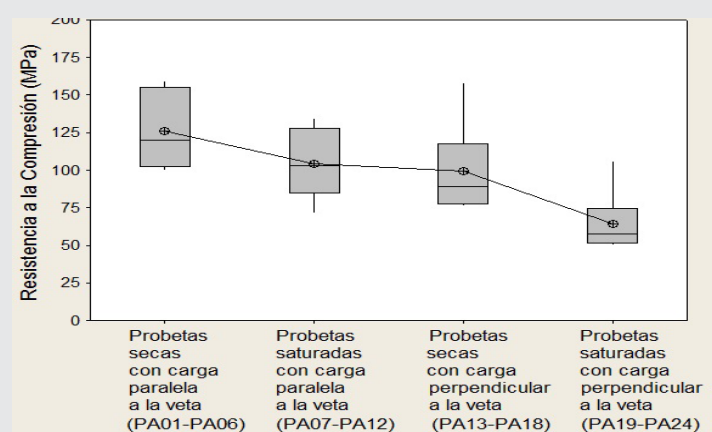


Figura 10. Diagrama caja-bigote de la resistencia a la compresión de los 4 grupos de probetas.

Del análisis de varianza de dos factores mostrado en la Tabla 3, se muestra que respecto a la condición física de las probetas (seca-saturada) se tiene que $F=10.04$ es mayor que $F_{cr}=4.35$; por lo que, con una significancia del 5% si existe diferencia significativa.

Además, respecto a la condición de carga de las probetas (perpendicular-paralela) se tiene que $F=7.14$ es mayor que $F_{cr}=4.35$; por lo que, con una significancia del 5% si existe diferencia significativa. De esta manera, del análisis de varianza de dos factores se determina que existe diferencia significativa; por lo que, la resistencia a la compresión mínima en el travertino tipo Puebla es de 64.51 MPa.

Tabla 4. Porcentaje promedio de pérdida de peso.

Origen de la variac.	Suma de cuad.	Grado de liber.	Prom.	Valor de Fisher (F)	Prob.	Valor de Fisher Crítico (F_{cr})
Cond. Física	6666	1	6666	10.04	0.0048	4.35
Cond. Carga	4744	1	4744	7.14	0.0146	4.35
Interac	265	1	265	0.40	0.5345	4.35
Dentro grupo	13281	20	664	-	-	-
Total	24956	23	-	-	-	-

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que el travertino tipo Puebla de la localidad de Moratillo, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, tiene una resistencia a la compresión mínima de 64.51 MPa. En este sentido, de acuerdo con la norma ASTM C1527/C1527M-11 Standard Specification for Travertine Dimension Stone menciona que cualquier travertino debe de tener una resistencia mínima a la compresión de 34 MPa para interiores y de 52 MPa para exteriores [18-19]. Por lo que, el travertino tipo Puebla estudiado cumple con el parámetro mínimo sugerido por la norma ASTM C1527/C1527M-11.

Es importante señalar que como este material cumple con las especificaciones de la norma ASTM C1527/C1527M-11, puede ser recomendado como piso en exteriores en casos donde se soliciten niveles de resistencia a la compresión por debajo de 64 MPa.

Cabe mencionar que, se requieren ampliar los estudios para determinar otras características como la resistencia a la abrasión y el índice de fricción que permitan determinar si puede considerarse el uso de este material para pisos en condiciones de tráfico pesado. Además, realizar estudios acelerados de degradación mediante ensayos de cristalización de sales para determinar la degradación de este material en condiciones atmosféricas salinas y contaminadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Navarrete, M., Martínez, W., Alonso, E., Lara, C., Bedolla, A., Chávez, H., Delgado, D. Y Arteaga, J. (2013). Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura. *ALCONPAT*, 3(2), 113-114.
- [2] Orozco-Centeno, W. Branch, J. Y Jiménez-Builes, J. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 36, 5-9.
- [3] Standard Terminology Relating to Dimension Stone, ASTM Standard C119-16 May. 2016.
- [4] Marble Institute of America. (2016). Travertine, Dimension Stone Design Manual, Version VIII, pp. 8, Ohio, USA: Author.
- [5] Garcia-del-Cura, M., Benavente, D., Martínez-Martínez, J. Y Ordóñez, S. (2017). Travertinos coloreados en la Cordillera Bética (SE de la Península Ibérica). Situación geológica y características petrofísicas. *Boletín Geológico y Minero*, 128(2), 467-483.
- [6] Alfonso, P., Parcerisa, D., Sarri, A. Y Mata-Pereñó, J. (2010). El travertino de Banyoles: Múltiple interés patrimonial. *Patrimonio Geológico y Minero: Una propuesta por el desarrollo local sostenible*, 131-138.
- [7] De Torres, T. (1994). Análisis de travertinos: Una técnica clave para el conocimiento de los cambios climáticos. *Geología*, 24-27.
- [8] Benavente, D., Bernabéu, A. Y Cañaveras, J. (2004). Estudio de propiedades físicas de la roca. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), 62-68.
- [9] Esbert, R., Alonso, F. Y Ordaz, J. (2008). La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación. *Trabajos de Geología*, 28, 87-95.
- [10] Marble Institute of America. (2016). Standards and Specifications for Stone Products. Dimension Stone Design Manual, Version VIII, pp. 2, Ohio, USA: Author.
- [11] Marble Institute of America. (2016). Stone Testing, Dimension Stone Design Manual, Version VIII, pp. 5, Ohio, USA: Author.
- [12] Galván-Ceballos, M. Y Restrepo, I. (2016) Correlación de la resistencia a compresión uniaxial con la humedad y porosidad eficaz en rocas. *DYNA*, 83(198), 9-15.

[13] Navarro, R., Cruz, A., Arriaga, L. Y Baltuille, J. (2017). *Caracterización de los principales tipos de mármol extraídos en la comarca de Macael (Almería, sureste de España) y su importancia a lo largo de la historia*. *Boletín Geológico y Minero*, 128(2), 345-361.

[14] Oden, M. Y Udimwen, E. (2014). *Physical and mechanical properties of Odukpani dolerites, southeastern Nigeria*. *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(5), 1005-1011.

[15] Acevedo, R. Y González-Guillot, M. (2011). *Primeros ensayos petrográficos sobre la roca dimensional de Tierra de Fuego*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 68(2), 233-245.

[16] Alonso, L., Y Espinoza, L. (2003). *Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán*. *Ingeniería*, 7(1), 27-36.

[17] Morales, A., Ortega, P., Azcaray, M. Y Martínez, A. (2016). *Determinación de la resistencia a la compresión de la roca caliza travertino tipo Dorado Tepexi*. *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2016*, 8(5), 4076-4081.

[18] A. M. Morales Tassinari. (2015). *Determinación de las propiedades de absorción de agua, gravedad específica, densidad y resistencia a la compresión del mármol travertino. (Tesis de Maestría) Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, Veracruz, México*.

[19] *Standard Specification for Travertine Dimension Stone*, ASTM Standard C1527/C1527M-11, January, 2011.

[20] *Standard Tests Method for Compressive Strength of Dimension Stone*, ASTM Standard C170/C170M-16 March. 2016.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Industrias del Travertino S.A., por procesar las probetas cúbicas de Travertino tipo Puebla. Además, agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por prestar sus instalaciones y equipos para la realización de la prueba de compresión uniaxial.



Tierra, *Medio Ambiente* y Energía

Ingeniantes

Transmisión de corriente directa HVDC en México. Proyectos actuales y viables



Colaboration

L.H. Sánchez-Medel; G. Chicuellar Flores; C.A. Carrillo Molina; C.L. Melchor-Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Huatusco

RESUMEN: La transmisión de la energía eléctrica a través de un voltaje alterno, se presenta mediante la interacción de campos eléctricos y magnéticos. Sin embargo, cuando existe una variación de la corriente en los conductores, originan cambios en el número de líneas de flujo magnético, y esto a su vez, inducen un voltaje distinto en las líneas de transmisión. Por lo tanto, la transmisión de energía con corriente alterna tiene desventajas en pérdidas de energía por los campos, además de tener un voltaje límite para transmitirla. Para este caso, la tecnología HVDC, alto voltaje en corriente directa puede ser la solución a los problemas con el voltaje alterno. Además, la integración de turbinas eólicas al sistema eléctrico tiene impactos significativos en la calidad de la energía y en la operación de los sistemas de potencia. Por lo tanto, conectar la generación eólica mediante HVDC al sistema eléctrico nacional, representa una gran ventaja.

PALABRAS CLAVE: Energías renovables; Generación de energía eléctrica; Sistemas eléctricos de potencia; Alto voltaje en corriente continua; Sistema eléctrico nacional; Generación eólica.

ABSTRACT: The transmission of electrical energy through an alternating voltage is presented by the interaction of electric and magnetic fields. However, when there is a variation of the current in the conductors, they cause changes in the number of magnetic flux lines, and this, in turn, induces a different voltage in the transmission lines. Therefore, the transmission of energy with alternating current has disadvantages in energy losses by the fields, besides having a limit voltage to transmit it. For this case, HVDC technology, high voltage direct current can be the solution to the problems with the alternating voltage. In addition, the integration of wind turbines into the electrical system has significant impacts on the quality of energy and the operation of power systems. Therefore, connecting wind electricity system represents a great advantage.

KEYWORDS: Renewable energy; Generation of electric power; Electrical power system; High voltage direct current; National electrical system; Wind generation.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía eléctrica y las políticas en México para generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables, han dado paso a la opción de transmitir la energía eléctrica en corriente directa a través de los sistemas de transmisión de alto voltaje en corriente directa (HVDC) [1,2].

El principio básico de los HVDC es transmitir la energía eléctrica en alto voltaje directo, como se muestra en la Figura 1.

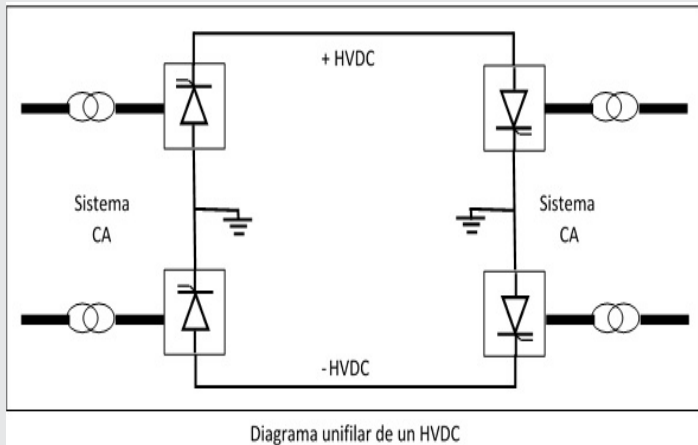


Figura 1. Diagrama unifilar de un HVDC

Algunas de las ventajas que presentan los HVDC son las siguientes: a) Bajo costo de inversión; b) Mayor potencial para transportar en largas distancias; c) Las pérdidas de potencia activa son 20% menos que la transmisión en voltaje alterno; d) Permite la conexión con redes asíncronas (50 y 60 Hz); e) Mayor control en la potencia; f) Los interruptores de potencia no son caros y las configuraciones de la subestaciones eléctricas son más simples; g) Incrementa la estabilidad e incrementa la calidad en la potencia; h) Mejora las soluciones ambientales, evitando los gases por efecto invernadero, derivados de los combustibles fósiles utilizados para la generación de la energía eléctrica [3].

El uso de la tecnología HVDC, no es una tecnología nueva, ya que la primera instalación comercial fue construida en Gotland, Suecia en la década de los 50's [4]. Treinta años después, la transmisión de corriente directa de Itapú en Brasil, ha sido la transmisión de HVDC más impresionante en el mundo. Tiene una potencia de transmisión de 6300 MW y un voltaje de ± 600 kV DC [5]. Pero, a pesar de que existen más de seis décadas desde su primera aparición, los HVDC siguen resultando ser una innovación y un tema en discusión. Esto debido a los diferentes tipos de tecnología que en el siglo XXI se está añadiendo a esta forma de transmitir la energía eléctrica.

TOPOLOGÍA DE LOS HVDC

Los HVDC se clasifican en dos principales tecnologías, estos son: HVDC clásica o LCC y HVDC VSC o plus.

La tecnología de convertidores de línea conmutada (LCC) se basa en el uso de tiristores. El uso de los tiristores permite únicamente el encendido de los dispositivos, de esta manera sólo se controla la potencia activa mediante el ajuste del encendido y el tiempo de apagado, antes de que la otra válvula se encienda. La potencia reactiva debe ser compensa-

da por filtros y capacitores adicionales en el lado del voltaje alterno. Algunas de las ventajas de LCC son: a) Consume potencia reactiva; b) Es sensible a la fuerza del sistema eléctrico del lado alterno; c) Genera armónicos en el lado alterno y directo, por lo que requiere el uso de filtros; d) Es sensible en el lado de la conmutación (en el inversor) [6].

2. HVDC VSC o Plus

La tecnología más actual que se tiene, se utilizan convertidores alimentados por voltaje (VSC). El principio se basa en el uso de dispositivos semiconductores de conmutación forzada. Estos semiconductores, en su mayoría IGBT (transistor bipolar de puerta aislada), logran conmutar a través de la modulación por ancho de pulso (PWM), permitiendo el control simultáneo e independiente de potencia activa y reactiva.

El uso de la tecnología VSC ofrece las siguientes ventajas: a) Evita las fallas en la conmutación debido a los disturbios en los sistemas de corriente alterna; b) Control independiente de potencia activa y reactiva generado o consumido por el convertidor; c) Posible conexión a la red eléctrica donde no existe generación; d) Respuesta dinámica rápida debido a la modulación por ancho de pulso, y por lo tanto se reduce el tamaño de los filtros; e) No se necesita un transformador para ayudar al proceso de conmutación del convertidor, ya que es controlado por los semiconductores [7]. La Figura 2 muestra el diagrama de la topología VSC.

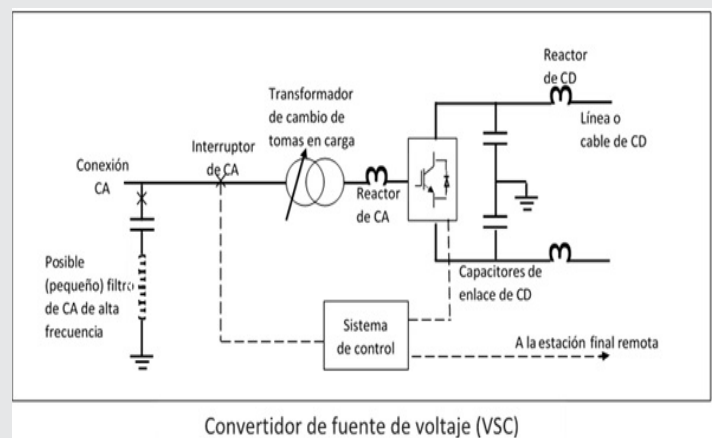


Figura 2. Diagrama unifilar de un HVDC

CONFIGURACIONES EN LOS HVDC

Existen diferentes tipos de configuraciones, dependiendo del lugar y aplicación, alguna de ellas son [7,8]:

A. Back to back

Es la configuración que se utiliza para conectar dos sistemas asíncronos, es decir, a diferentes frecuen-

cias fundamentales. La instalación se lleva a cabo mediante la interconexión de dos convertidores situados en la misma estación.

B. Monopolar

Esta configuración es principalmente usada en transmisión de energía eléctrica submarina. Se tienen dos estaciones HVDC conectadas por un conductor, teniendo una polaridad positiva o negativa.

C. Bipolar

Esta puede verse como dos configuraciones monopolares en paralelo, con un polo positivo y uno negativo. Esta configuración es usada para transmitir la potencia eléctrica en líneas aéreas. Si existe una falla en un polo, es posible transmitir la energía eléctrica por el cable restante.

COMPONENTES DE LOS HVDC

1. Filtros de corriente alterna

Un filtro en general puede actuar de una de las siguientes formas:

- Introducir una alta impedancia en serie para bloquear el paso de las corrientes armónicas.
- Derivar a tierra las corrientes armónicas a través de caminos de baja impedancia.
- Inyectar armónicos en oposición de fase a los presentes en la red para cancelarlos.

Existen en general dos tipos de filtros que se utilizan:

• Filtros pasivos

Los filtros pasivos son un método efectivo para mitigar el problema de contaminación armónica. Estos son diseñados para proveer un camino de salida a los armónicos que más afectan al sistema. Los filtros más comunes son el filtro serie y el filtro paralelo. El filtro serie se caracteriza por producir una resonancia paralela y bloquear, pues tiene una alta impedancia a la frecuencia de sintonía. El reactor de alisado que se suele usar en los puentes rectificadores es un claro ejemplo. El filtro paralelo es caracterizado por una resonancia serie atrapando con ella la perturbación dado el bajo camino de impedancia que provoca. Un simple circuito LC es uno de los diseños más comunes en sistemas de potencia, como puede observarse en la Figura 2.

• Filtros activos

Estos filtros presentan como principales ventajas frente a los pasivos que pueden adaptarse a las condiciones cambiantes de la carga y de la propia red eléctrica; que se reduce la posibilidad de aparición de resonancia entre la red y el filtro (posible causa de sobretensiones en puntos concretos de la red); y que además de la reducción de armónicos también puede corregir el desfase entre las ondas de tensión, corriente y el equilibrio entre las fases.

MODULACIÓN DE ANCHO DE PULSO PWM, A TRAVÉS DE IGBT's

El uso de los IGBT's para la rectificación del voltaje alterno es comúnmente hecho por IGBT's conectados en serie. Esto produce una salida de dos niveles $+1/2 V_{dc}$ y $-1/2 V_{dc}$. Para llevar a cabo esta salida, se necesita una modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) pero, debido a la frecuencia de encendido y apagado se crean los armónicos en la red. Es necesario entonces reactores del lado alterno y directo del voltaje para minimizar los armónicos creados por el PWM [4,7].

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

La generación de energía eléctrica consiste en la transformación de alguna clase de energía, por ejemplo, química, mecánica, térmica, luminosa, entre otras; en energía eléctrica. En México, el 78.9% de la electricidad generada proviene de tecnologías convencionales, tales como: de ciclo combinado, térmicas, convencionales, carbo eléctricas, turbogás, combustión interna; y el restante 21.1% de tecnologías limpias: hidroeléctrica, eólica, geotérmica, solar, bioenergía, nucleoelectrica. En la Figura 3 se muestran algunas de las centrales eólicas instaladas en el país.



Figura 3. Estados que cuentan con centrales eólicas: Oaxaca, Baja California, Quintana Roo; Tamaulipas; San Luis Potosí; Sonora; Chiapas; Jalisco; Nuevo León y Puebla.

En el año 2017 se generaron 329,162 GWh de energía eléctrica, 3.1% más que en el año 2016. Debido al porcentaje de 78.9% en la generación de energía eléctrica por tecnologías convencionales se estima que el 18% de las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, a nivel nacional, provienen de esta fuente [2]. Sin embargo, como resultado de la reforma energética aprobada por el país, se establece que la Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el 2018, del 30% para el 2021 y del 35% para el 2024 [9].

Por lo tanto, los energías limpias tendrán que crecer para satisfacer este porcentaje. Se tiene la proyección de un incremento anual del 29.3% y el 12%, para las tecnologías solar y eólica, respectivamente.

La Figura 4 muestra algunas de las centrales fotovoltaicas instaladas y probables locaciones para la instalación en México.



Figura 4. Estados que cuentan con centrales solares: Baja California, Aguascalientes; Sonora; Guanajuato; Estado de México y Durango.

HVDC EN MÉXICO

En el año 2000 fue puesto en operación un HVDC de topología VSC. El enlace HVDC-VSC interconecta a la subestación eléctrica de Eagle Pass en el estado de Texas, Estados Unidos de Norteamérica, con la red eléctrica mexicana en el estado de Coahuila. Este enlace está normalmente abierto y es usado principalmente en condiciones de emergencia para transferir carga de Estados Unidos de Norteamérica hacia México [10].

La Figura 5 muestra el diagrama unifilar del enlace HVDC de Eagle Pass.

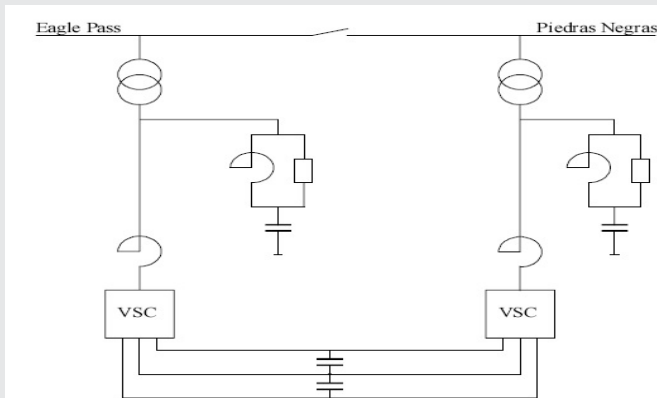


Figura 5. El enlace HVDC consta de bancos de capacitores, reactores, filtros y transformadores.

El voltaje nominal de salida de los VSC's es de 17.9 kV, el cual es aumentado por los transformadores convencionales a un valor de 138 kV.

Entre los años de 2015 y 2017, la Secretaria de Energía instruyó diferentes proyectos a la Comisión Federal de Electricidad para la ampliación y/o modernización de la red nacional de transmisión de energía eléctrica. Entre los proyectos instruidos con tecnología HVDC tenemos a:

1.- 0024 CFE: Línea de transmisión de corriente directa, Yautepec - Ixtepec.

El objetivo de este proyecto es el de mandar la energía eléctrica generada por las centrales eólicas ubicadas en el istmo de Tehuantepec hacia la subestación eléctrica Yautepec potencia, ubicada en el municipio de Yautepec en el estado de Morelos. El proyecto consiste en la construcción, modernización, operación y mantenimiento de 1,221 kilómetros a un voltaje de 500 kilovolts. La Figura 6 muestra la localización del proyecto 0024 [11]



Figura 6. Las obras del enlace HVDC estarán localizadas en los estados de: Oaxaca, Veracruz, Puebla, Morelos, Estado de México y Ciudad de México.

2.- 0716 CFE: Interconexión del sistema eléctrico de Baja California con el Sistema interconectado nacional.

El sistema eléctrico nacional (SEN), se compone por cuatro sistemas eléctricos aislados: Sistema interconectado nacional (SIN), que constituye la gran red eléctrica del país, el Sistema eléctrico de Baja California (BC), el Sistema eléctrico de Baja California Sur (BCS) y el Sistema eléctrico de Mulegé (SEM). La Figura 7 muestra los 4 sistemas eléctricos de México.

El proyecto consiste en la construcción de líneas de transmisión de corriente directa (HVDC) entre el SIN

y BC. La tecnología requerida por la licitación es de VSC. La línea de transmisión partirá de Seri, Hermosillo en el estado de Sonora, hasta Cucapah, Mexicali en el estado de Baja California.



Figura 7. El SIN se compone desde 1 a 45. El BC de 46 a 49. El BCS de 50 a 52. Finalmente, el SEM con el número 53.

La Figura 8 muestra el mapa geográfico de la construcción del HVDC [11].

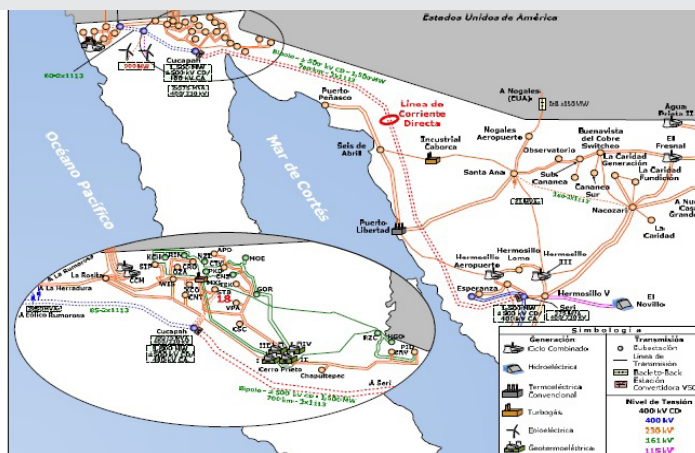


Figura 8. En color rojo se muestra el HVDC entre BC y SIN.

CONEXIÓN DE UN SISTEMA DE CD A LA RED ELÉCTRICA DE CA

La objetivo principal de los enlaces HVDC es la conexión que deben de tener con el SEN de la CFE.

La Figura 9 muestra el diagrama unifilar de una red eléctrica, la cual está alimentando cargas sensibles. La conexión de la corriente directa con la corriente alterna es a través de un VSC y un transformador de acoplamiento.

Se hace el estudio para una simulación en donde la mitad del voltaje que necesitan las cargas sensibles

es suministrado por el generador, y la otra mitad, es suministrado por la corriente directa.

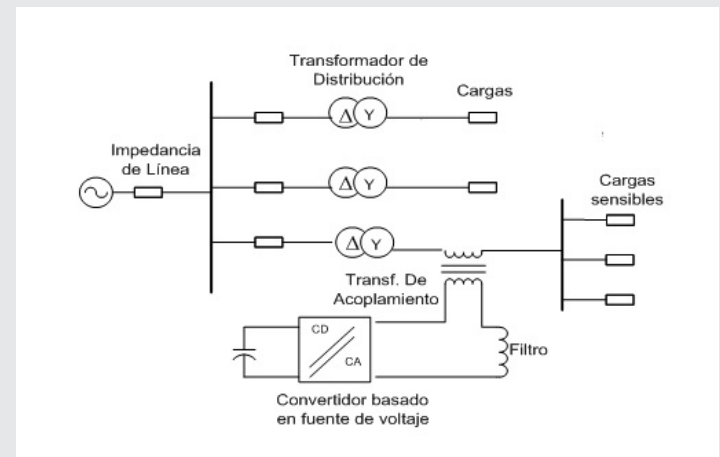


Figura 9. Acoplamiento de corriente directa con corriente alterna en un sistema eléctrico.

La Figura 10 muestra el voltaje trifásico del sistema, así como la duración y el voltaje que se necesita suministrar la CD.

A través de un sistema de control, se determina el tiempo (1 segundo) y la magnitud (300 V) necesaria que necesitan las cargas sensibles para ser alimentadas mediante la conversión de CD a CA por el VSC y el transformador de acoplamiento.

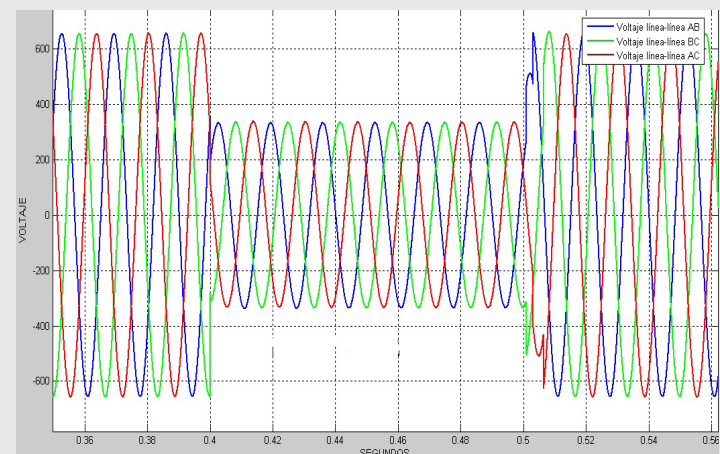


Figura 10. Mitad del voltaje (300 V) suministrado por el generador en un tiempo de 1 segundo.

La Figura 11 muestra el voltaje de 600 V, suministrado por el generador y por la CD.

CONCLUSIONES

Con los actuales compromisos de porcentaje de generación de energía eléctrica sustentable, a través de energías limpias, México debe optar por la tecnología HVDC. Esto debido a que la instalación de parques eólicos y fotovoltaicos se concentran en

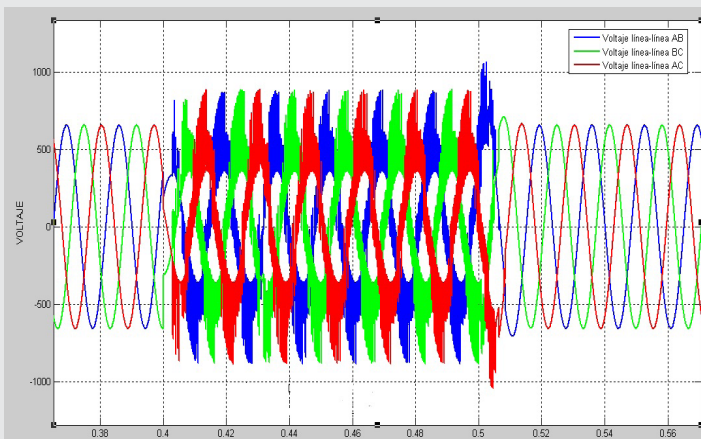


Figura 5. El enlace HVDC consta de bancos de capacitores, reactores, filtros y transformadores.

los extremos del país, por ejemplo la eólica donde la principal generación se encuentra en el istmo de Tehuantepec, y el transporte a grandes distancias de esta energía, hacen que la transmisión en voltaje alterno tenga muchas pérdidas. Por lo tanto, y por las ventajas que presenta la tecnología HVDC, es de vital importancia que se lleven a cabo las dos principales obras programadas por la Secretaría de Energía, y seguir invirtiendo en la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables.

En el caso de estudio que se presenta, se determina que las cargas sensibles, a pesar, de recibir los 600 V para su operación, es necesario un estudio de calidad de la energía, así como un estudio de un VSC con más IGBT's para mejorar el PWM. En este caso se presentó un VSC de dos niveles, sin embargo, se deja para futuras investigaciones el estudio de más niveles en los VSC y el estudio de la calidad de la energía, armónicos y calidad de la onda [12-14].

BIBLIOGRAFÍA

[1] Christian M. Franck. *HVDC Circuit breakers: A review indentifying future research needs*. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol: 26, No. 2. 2011.

[2] Secretaría de Energía. *Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional*. 2018 - 2032.

[3] Ram Adapa. *High - Wire act: HVdc Technology: The state of the art*. IEEE Power and Energy magazine. Vol. 10, No. 6. Nov. - Dec. 2012.

[4] Mike Barnes y Antony Beddard. *Voltage source converter HVDC links - The state of the art and issues going forward*. Elsevier. Energy procedia. Vol. 24. 2012.

[5] R. Rudervall, J.P. Charpentier, R. Sharma. *High voltage direct current (HVDC) transmission systems technology review paper*. Energy week. 2000.

[6] Christian M. Franck. *HVDC circuit breakers: A review identifying future research needs*. IEEE Transactions on power delivery. Vol. 26, No. 2. 2011.

[7] N. Flourentzou, V. G. Agelidis y G. D. Demetriades. *VSC - based HVDC power transmission systems: an overview*. IEEE Transactions on power electronics. Vol. 24, No. 3. 2009.

[8] J. Setreus y L. Bertling. *Introduction to HVDC technology for reliable electrical power systems*. Proceedings of the 10th international conference on probabilistic methods applied to power systems. 2008.

[9] Secretaría de energía. *Consejo consultivo para la transición energética - Informe anual de actividades*. 2018.

[10] A. Petersson y A. Edris. *Dynamic performance of the Eagle Pass back to back HVDC light tie*. Seventh international conference on AC-DC power transmission. 2001.

[11] Banco nacional de obras y servicios públicos. *Proyectos México, oportunidades de inversión*. 2018. www.proyectosmexico.gob.mx.

[12] Grain Philip Adam, Khaled H. Ahmed, Stephen J. Finney, Keith Bell y Barry W. Williams. *New breed of network fault-tolerant voltage-source-converter HVDC transmission system*. IEEE Transactions on power systems. Vol. 28, No. 1. February 2013.

[13] Yushu Zhang, G.P. Adam, T.C. Lim, Stephen J. Finney y B.W. Williams. *Voltage source converter in high voltage applications: Multilevel versus two-level converters*. 9th international conference on AC and DC power transmission. Oct. 2010.

[14] Alexandre Christe, Drazen Dujic. *Modular multilevel converter control methods performance benchmark for medium voltage applications*. IEEE Transactions on power electronics. August 2018.



Tierra, *Medio Ambiente* y Energía

Ingeniantes

Exploring danish actions on improving the efficiency of the energy system for the central region of Mexico



Colaboración

Edgar Roberto Sandoval García; Rosa Laura Patricia Edith Franco González; Juan Manuel Fernández Morales, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

RESUMEN: La región centro de México presenta una alta densidad poblacional y aporta el 33 % del PIB nacional, lo que ha dado como resultado un incremento en el nivel del consumo energético en los últimos años, alcanzando un valor de 1,367.6 PJ en 2016. Con el objetivo de identificar las oportunidades de eficiencia energética en la planeación del sistema energético regional como base para el desarrollo sostenible, tal como lo ha venido haciendo Dinamarca desde la década de 1970, esta propuesta desglosa el consumo energético al año 2025 de la región, identifica el potencial de recursos renovables no utilizados y sugiere, de manera deductiva, medidas de eficiencia energética en los principales sectores de consumo. Los principales resultados muestran que es posible reducir el consumo de energía en el mediano plazo en un 28 %, contribuyendo así a la consecución de los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que tiene el país a mediano plazo y a reducir la dependencia energética regional.

PALABRAS CLAVE: análisis holístico, eficiencia energética, reducción de GEI, dependencia energética regional, potencial de energía renovable.

ABSTRACT: Central region of Mexico has a high population density and contributes with 33 % of the national GDP, which has resulted in an increasing level of energy consumption in recent years, reaching 1,367.6 PJ in 2016. With the objective to identify energy efficiency opportunities in the planning of the regional energy system as a basis for sustainable development, as has been done in Denmark since the 1970s, this proposal projects regional energy consumption by 2025, identifies the potential of unused renewable resources and promotes, deductively, energy efficiency measures in the core consumer sectors. Main results show that it is possible to reduce energy consumption in the medium term by 28 %, reducing regional energy dependence and contribute to the medium-term national commitments to reduce GHG emissions.

KEYWORDS: holistic analysis, energy efficiency, GHG reduction, regional energy dependence, renewable energy potential.

INTRODUCTION

Energy sector is one of the pillars that supports economic development of any nation. Since the 1960s, Mexico has maintained a close correlation between its Gross Domestic Product (GDP) growth and primary energy consumption, causing a productivity loss from US\$ 15 511.4 / ton of oil equivalent in 1965 to US\$ 12 332.24 / ton of oil equivalent in 2016.

By contrast, Denmark has maintained a decoupling, since the 1970s, between its GDP growth and primary energy consumption, achieving a steady increase in productivity, going from US\$ 7 038.1 / tons of oil equivalent in 1965 to US\$ 15 946.7 / tons of oil equivalent in 2016. Such condition of prosperity and maintenance of a sustainable growth path can be explained by the key factor of energy efficiency, based on identifying and pursuing system wide efficiency opportunities within their national and local energy system planning activities.

From the Danish point of view, each city or region must have a clear identification of its resources and planning on a holistic basis. Thus, this paper analyzes the current energy consumption of the Central Region of Mexico (CRM) and makes a projection of energy consumption in the medium term, identifying unexploited renewable resources potential and estimates the reduction of energy consumption based on measures of Energy efficiency (EE), to identify reduction opportunities within regional energy consumption by the year 2025 contributing to an alternative route towards a path of sustainable growth.

METHODOLOGY

Mexico currently faces major challenges regarding its proposed sustainable development path via a recent sustainability assessment of 69.1/100 regarding its progress at global level [1]. On the one hand, Mexico is considered one of the main economies in the world with a GDP of US\$ 2.3 trillion in 2016 and a GDP per capita (converted to 2016 price level with updated 2011 PPPs) of US\$ 19 438.8 [2]; nevertheless, the distribution of wealth in the country is very unequal since two thirds of richness is on the hands of the richest 10 % of the country and 1 % of the very wealthy ones' account for more than a third [3], which is partially reflected on a GINI coefficient of 48.2 [4]. In addition, the country is committed to reduce its greenhouse gases (GHG) emissions in 22 % by 2030 [5].

Meanwhile the energy sector is one of the pillars that supports the economic development of any nation, since the 1960s, Mexico has maintained a close correlation between its GDP growth and primary energy consumption (Fig. 1), causing a productivity loss from US\$ 15,511.4 / ton of oil equivalent in 1965 to US\$ 12,332.24 / ton of oil equivalent in 2016.

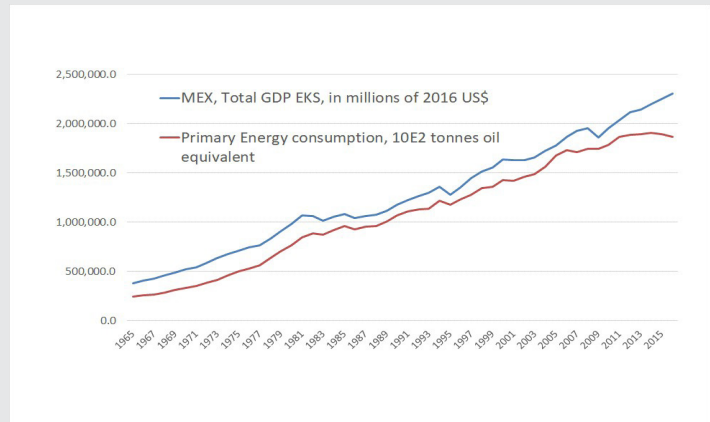


Figure 1. GDP in millions of 2016 US\$ (converted to 2016 price level with updated 2011 PPPs) vs Primary energy consumption of Mexico, 1965-2016. Own elaboration based on data from TEDb and BP Statistical.

By contrast, Denmark generated a GDP of US\$ 276.4 billion (11.8 % with respect to Mexico) in 2016, triggering a GDP per capita more than double than Mexican average with a value of US\$ 43 886.15 (converted to 2016 price level with updated 2011 PPPs) [6] and a GINI coefficient of 28.8 [7].

Despite the large differential between the GDP of each country, Denmark has maintained a decoupling, since the 1970s, between its GDP growth and the primary energy consumption, achieving a steady productivity increase, going from US\$ 7 038.1 / tons of oil equivalent in 1965 to US\$ 15 946.7 / tons of oil equivalent by 2016 (Figure 2).

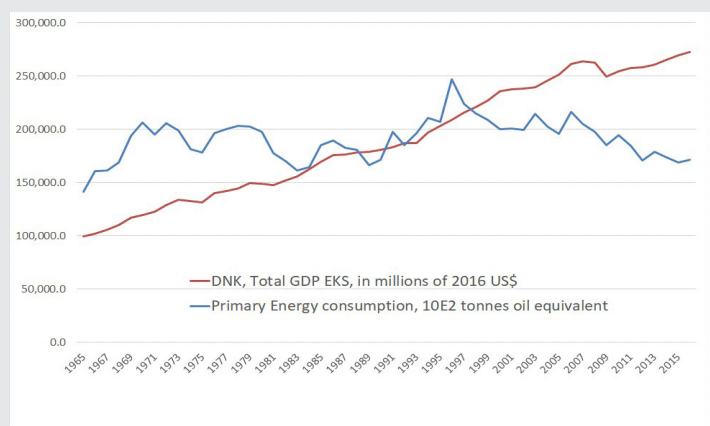


Figure 2. GDP in millions of 2016 US\$ (converted to 2016 price level with updated 2011 PPPs) vs Primary energy consumption in Denmark, 1965-2016. Own elaboration based on data from TEDb y BP Statistical. 965-2016. Own elaboration based on data from TEDb and BP Statistical.

Such condition of prosperity and maintenance of a sustainable growth path that shows Denmark can be explained based on the key factor of energy efficiency applied since the decade of 1970 [8], based on identif-

ying and pursuing a system wide efficiency opportunity within their national and local energy system planning activities [9].

Challenged with such regional characteristics, the following sections describes the main energy sources to identify the total energy demand in the medium term.

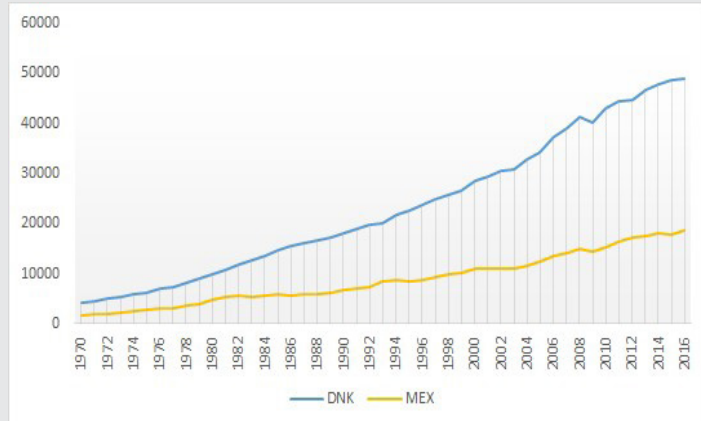


Figure 3. Total GDP US dollars/capita, 2016. Own elaboration based on data from OECD Data.

From the Danish point of view, each city or region must have a clear identification of its resources and planning on a holistic basis. Thus, this paper analyzes the current energy consumption of the Central Region of Mexico (CRM) and makes a projection of energy consumption in the medium term, identifying unexploited renewable resources potential and estimates the reduction of energy consumption based on Energy efficiency (EE), to identify reduction opportunities within regional energy consumption by the year 2025 contributing to fulfill the national commitment of -22 % GHG emissions during 2013 – 2030 period [10].

Energy analysis of the Central Region of Mexico (CRM). CRM is made up of six states: Estado de México (Edo-Mex), México City, Hidalgo, Morelos, Puebla and Tlaxcala. This region has a high population density: 438 people / km² when the national average is 61 people / km² [11] and an important economic activity (33 %, of the national GDP [12]), generating an increase level of energy consumption during last years.



Figure 4. Central region of Mexico (dark green color). Image edited based on SENER (2012), *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026*.

Electricity

During 2005-2015 period, CRM has maintained an electricity consumption compound annual growth rate (CAGR) of 1.3 % [13]. This value is the lowest in the decade, caused by an extensive overcrowding in the region, which limits the expansion of installed electricity generation capacity, reaching a consumption of 53 649 GWh (193.1 PJ) and 22.4 % in distribution losses during 2015.

The metropolitan area, EdoMex and Mexico City, accounted for the highest level of electricity demand, with a regional share of 37.5 % and 29.9 %, respectively, and both accounted for 15.5 % share of the national overall consumption.

CRM shows a great development of all sectors of the Mexican economy, as well as the drinkable water pumping system from Cutzamala river, main tributary of drinking water for the metropolitan area, which uses the equivalent of electrical energy of the capital city of Puebla [14].

Also, the residential and commercial sectors represent the highest proportion of low and medium voltage energy sales, sharing 88.6 % and 9.8 % of the national overall sales, respectively [15].

At the end of 2015, CRM had the lowest share of total installed capacity of the National Electricity Sector (NES), sharing only 8.2 % (5 565.4 MW) from the total [16].

Regarding gross energy generation, the central region has the lowest share with 8.3 % (25 737.1 GWh) of the national overall. Hidalgo concentrates 47.8 % share of the region and Morelos has the lowest participation with 0.2 % [17].

Table 1. State behavior on the electricity consumption in CRM, 2015

Regional Characteristics	Regional Sales (%), Total=47.8 TWh	MWh per capita	Installed Capacity, Total= 5.5 GW (%)	Gross Generation (%), Total= 23.7 TWh	Shortage between Gross Generation and Regional Sales (%)
Mexico City	29.7	4.8	6.6	3.4	-93.9
Hidalgo	7.9	4.0	46.4	47.8	220
EdoMex	37.7	4.2	26	28.2	-60.4
Morelos	5.3	3.8	0.4	0.2	-98.0
Puebla	15.6	3.9	18.9	18.7	-36.6

Natural Gas

During 2015, CRM required 919.4 million cubic feet per day (Mcf/d), which represented an increase of almost 20 % compared to 2014, and a share of 12.3 % from the national demand. EdoMex and Hidalgo were the states

with the highest demand for natural gas, with 361.5 Mcfd and 269.3 Mcfd respectively. The states with the lowest demand were Mexico City and Morelos with 69.6 Mcfd and 12.5 Mcfd respectively [18].

Therefore, it is estimated for CRM an energy consumption derived from natural gas of 352.4 PJ in 2015.

Based on prospective studies carried out by the Energy Ministry (SENER by its acronym in Spanish), it is estimated that throughout 2015-2030 period the regional consumption of natural gas will increase 2.3 % annually, estimating a regional consumption of 442.3 PJ by 2025 [19].

Oil for transportation.

According to SENER [20], in 2015, Mexico consumed 1,351.9 thousand barrels per day of crude oil equivalent (tbdcoe), of which 79.2 % was destined to the consumption needs of the transport sector which was 1,071.4 tbdcoe, due to the positive trend of the vehicular fleet.

Indeed, road transportation had the highest share consumption with 91.8 %, 5.8 % to air, 1.3 % to maritime and 1.1 % to rail.

At the national level, the highest consumption of fossil fuels occurred in the CRM with 26.5 % share from the total.

Table 2. Regional sales by 2015 (tbd).

Region	Gasoline	Diesel	Kerosene
CRM	230.2	71.6	18.3

The relevant explaining variable for the increasing demand of automotive fuels is the vehicle fleet growth tendency [21].

To meet consumption needs in the air transport sector, in 2015, 70.8 tbd of kerosene was required, 6.4 % more than in 2014. In 2015, the consumption of kerosene in the central region was 18.3 tbd.

From the above, an energy consumption of 465.4 PJ derived from gasoline combustion, 141.6 PJ based on diesel and 39.7 PJ from kerosene were obtained during 2015.

By 2025, considering the prospective data for the period 2015-2030 estimated by SENER [22], oil consumption growth rate would be based on a CAGR of 2.0 %, 3.0 % and 2.4 % for gasoline, diesel and kerosene, respectively. In this way, the energy consumption projection by 2025 is obtained: 567.3 PJ derived from gasoline, 190.3 PJ based on diesel and 50.4 PJ from kerosene.

Liquefied Petroleum Gas (LPG).

At national level, during 2015 the LPG demand decreased 1.5% compared to 2014, standing at 283 thou-

sand barrels per day (tbd). During 2005-2015 period, it showed a CAGR of -1.2 %.

In 2015, the CRM reached a volume of 113.6 tbd in domestic sales, 40.8 % from the total national share, a decrease of 2.2 % compared to 2014. In this region, the Estado de Mexico had the highest domestic sales, with a volume of 48.9 tbd, and the state with the lowest demand was Tlaxcala with a sales volume of 4.5 tbd [23].

Based on the data above, an annual regional consumption of 41 500.5 thousand barrels was estimated for 2015, equivalent to an energy demand of 175.4 PJ.

Given the prospective data from SENER [24] it is estimated that LPG demand will decrease by 0.2 % annually between 2015 and 2030. Taking this declining rate into account, it is estimated that by 2025, regional consumption would be 143.3 PJ.

Considering the information argued in the previous section, the following table summarizes regional energy consumption by 2015 and 2025, with a total value of 1 367.6 PJ and 1 592.5 PJ, respectively.

Table 3. Central Region of Mexico, Energy consumption by 2015 and 2025 (PJ).

	2015	2025
Electricity	193.1	199
Natural Gas	352.4	442.3
LP gas	175.4	143.3
Kerosene	39.7	50.4
Diesel	141.6	190.3
Gasoline	465.4	567.3
Total	1367.6	1592.5

Once the total energy consumption for the region has been determined, the next section analyzes the unutilized energy potential of urban solid waste (USW), cogeneration and renewable energy sources.

Unused energy potential.

This section explores different unexploited resources from the CRM region to produce energy: urban solid waste, cogeneration and renewable energy sources. Urban Solid Waste (USW).

During 2015 in Mexico, 53.1 million tons of garbage per day were generated, with a per capita average of 1.2

kg/day. That was, an increase of 61.2 % over 2003 [25]. The volume of recycled material in the country represents 9.6 % share from the total garbage, while in OECD countries the share varies between 24 % and 58 % [26].

Only in Mexico City, 12 893 tons of garbage are generated per day, ranking it as one of the first five cities in the world with the highest generation of USW, which are usually buried under landfills in EdoMex. The generated USW has an approximate composition of: 53 % organic matter; 28 % potentially recyclable waste and 19 % of non-usable waste [27].

According to previous data about waste generation and considering that Mexico City had a population of 8.85 million inhabitants in 2015, there would be a per capita generation of 1.46 kilograms per inhabitant / day.

Table 4. State generation of USW.

CRM	Citizens by 2016 (millions)	Kg/day, per capita	Organic waste, Tons	Inorganic waste, Tons	Total (Ton/day)
Mexico City	8.83	1.4	6 548.2	5 806.9	12 355.2
Hidalgo	2.9	1.2	1 861	1650	3511
EdoMex	17.2	1.2	10947	9707	20654
Morelos	1.95	1.2	1.2	1.1	2.3
Puebla	6.3	1.2	3992	3540	7532.5
Tlaxcala	1.3	1.2	828.3	734.5	1562.8

It is noteworthy that Mexico City recently awarded a 33-year service contract for a thermo-valorization plant to start operations in 2018, converting 4 500 tons of inorganic waste/day (77.5 % from all inorganic waste) into a reliable energy supply, which will provide the current consumption of the Collective Transportation System "Metro" of 876 542 MWh/year, which represents an average expenditure of 1.75 billion pesos annually [28].

Considering the potential of inorganic waste generated in the CRM and 22.5 % of inorganic waste to be recycled, as in Mexico City, it would have the capacity to build up 3 additional plants of thermo-valorization like the one that is possible to come into operation by 2018, with a potential total power generation of 12.2 PJ.

Considering that in 2010 the average annual population growth rate of the CRM was 1.32% [29], it can be estimated that up to 12.35 PJ of energy could be generated by 2025.

Regarding the potential from organic waste, the region could generate 9.61 mega tons by 2025. Considering a system with a processing plant of organic household waste with a capacity of 369 000 tons/year and an upgrading plant based on water scrubber system capable

of producing 4,000 Nm³/h of 98 % purity biomethane [30], will be possible to install 26 plants on the CRM with a generation potential of 912.6 million Nm³/year or 34.4 PJ of energy.

Cogeneration

Derived from a previous study carried out by National Commission for the Efficient Use of Energy (CONUEE, for its acronym in Spanish) and German Society for International Cooperation (GIZ, for its acronym in German) in 2009, it is estimated that the maximum national potential of cogeneration, feasible to exploit considering surpluses to the national electricity sector, is 8 457 MW. The estimated potential comes from three major sectors: Sugar mill, Petróleos Mexicanos (PEMEX) and General Industry [31].

In this study, an estimate of the benefits derived from cogeneration in the country was made, considering four feasible scenarios, which are shown in Table 5.

Table 5. Cogeneration scenarios in Mexico (2009).

Not used energy potential (PJ)	2015	2025	Energetic to be influenced
Organic waste	32.6	33.7	Diesel
Inorganic waste	12.2	12.35	Electricity
Cogeneration	0	56.1	Electricity
Renewables	0	26.4	Electricity
Total	44.8	128.6	

These scenarios consider a national cogeneration potential that could be developed in Mexico from a minimum of 849 MW to a maximum of 8 457 MW from the proposed sectors.

Specifically, for the CRM, it is estimated 638 MW from PEMEX refinery in Tula, Hidalgo [32], which, assuming the operation of a natural gas combined cycle cogeneration plant, with a capacity factor of 90 %, would allow to generate 18.1 PJ of energy.

Regarding the potential for cogeneration from electricity generation, at the end of 2015, the Energy Regulatory Commission (CRE, for its acronym in Spanish) authorized 3 670 MW for private cogeneration projects, with a CAGR of 9.8 % between 2005 and 2015 [33]. Given the regional low participation in installed capacity, it is not considered a significant contribution to develop cogeneration projects from electricity generation.

Concerning the cogeneration potential from industrial projects, given that the CRM contributes with 27.5 % share of the GDP from manufacturing industry, a similar

percentage is assumed to estimate the regional cogeneration potential. Thus, under the maximum scenario of industrial projects participation, with a capacity of 1 338.7 MW, and a natural gas combined cycle cogeneration plant with a capacity plant factor of 90 %, it is possible to generate up to 38 PJ of energy per year by 2025.

Renewable Energy

According to the National Inventory of Renewable Energies (INERE, for its acronym in Spanish) managed by SENER [34], the CRM has very high-quality resources derived from wind, geothermal, hydro and solar, representing a potential of 7.3 GWh per year. The following Table number 6 shows the disaggregated potential by federal entity and type of renewable source.

Table 6. Energy consumption for the Central Region of Mexico, 2015 y 2025.

Central Region	Wind	Geothermal	Hydro	Solar	Total
Mexico City	0	0	0	0	0
Hidalgo	168	1224	409	100	1901
EdoMex	0	276	160	120	556
Morelos	0	466	0	0	466
Puebla	1069	1840	1202	60	4171
Tlaxcala	0	218	0	19	237

This proposal estimated that by 2025 the feasible technical, economic and political conditions would exist to exploit the total renewable energy potential with a value of 26.4 PJ.

Considering the last two previous sections, it is possible to disaggregate and contrast for the central region the total energy demand by 2025 of about 1 592.5 PJ and the total unexploited energy potential of 128.6 PJ (Table 6 and Table 7).

Table 7. Unused potential for the Central Region of Mexico, 2015 y 2025.

Current energy consumption (PJ)	2015	2025
Electricity	193.1	199
Natural gas	352.4	442.3
LPG	175.4	143.3
Kerosene	39.7	50.4
Diesel	141.6	190.3
Gasoline	465.4	567.3
Total	1 367.6	1 592.5

One of the most important factors that need to be integrated into this analysis, is the energy efficiency issue, where Mexico was ranked 39/100 in 2016 according to the International Energy Efficiency Scorecard data (IE-ESd) [35], which shows different opportunities for the national energy improvement on the following economic sectors: industrial, transportation and building. Therefore, in the following section, the energy efficiency potential is discussed and applied to the current energy demand of the country, obtaining new theoretical consumption values that could become parameters of progress towards a regional sustainable development.

Table 8. Renewable energy potential (GWh).

Not used energy potential (PJ)	2015	2025	Energetic to be influenced
Organic waste	32.6	33.7	Diesel
Inorganic waste	12.2	12.35	Electricity
Cogeneration	0	56.1	Electricity
Renewables	0	26.4	Electricity
Total	44.8	128.6	

Energy efficiency

Energy efficiency (EE), according to the International Energy Agency [36], is the energy resource that every country possesses in abundance and is the quickest and least costly way of addressing energy security, environmental and economic challenges.

Based on the good practices promoted by different countries at the global level, discussed in the IEESD, below are proposed different measures that could be applied in Mexico in the short and medium term.

- **National efforts:** It considers energy intensity change relative to the GDP, where Mexico scored 5.5 / 25. Indeed, during the period 2000-2013, countries such as Russia, Indonesia, UK and Poland, have achieved more than 30 % savings in their primary energy intensity, when in the same period Mexico only achieved 0.9 %. Based on the above, it is proposed that Mexico should set a reduction target between 5 to 15 percentage points over its medium-term energy intensity.
- **Electricity:** Currently, Mexico runs with a similar operating efficiency margin close to the leading country: Japan (43.9 % over 44.1 %), but with a distribution loss level of 12.4% estimated by 2025, when ideally it could reach values close to 4 % such as Japanese performance.
- **Transportation:** Mexico should use rigorous fuel economy standards for light-duty vehicles to be able to in-

crease its current rating from 1 to a maximum value of 4. To achieve this, it should require that the automotive sector must increase the current yield of 35.1 mpg to values of 56.9 mpg such as in countries like France, UK and Germany, which could represent an energy saving of 36.2 %. In the case of heavy-duty vehicles, it must apply fuel efficiency standards to achieve an 18 % reduction in the fuel consumption, such as in Canada and US, its main trading partners.

RESULTS

Establishing theoretical limits of energy system efficiency as the baseline, this method leads to a more comprehensive means of identifying unutilized resources and reducing losses. Therefore, applying the EE supposed measures to be reached in the medium term with an estimated value of 314.2 PJ and considering the unexploited energy potential of 128.6 PJ estimated in section two, it would be possible to reduce energy consumption in the CRM by 28%, going from 1592.6 PJ to 1149.8 PJ by 2025 (see full disclosure in Table 9).

Table 9. New values of energy consumption adjusted by EE measures and unused RE potential (PJ).

Energy Source	A	B	C	D	E (%)
Electricity ¹	193.1	199.0	181.3	86.4	57
Natural Gas ²	352.4	442.3	376	376	15
LP Gas ³	175.4	143.3	121.8	121.8	15
Kerosene	39.7	50.4	50.4	50.4	0
Diesel ⁴	141.6	190.3	186.8	153.1	20
Gasoline	465.4	567.3	362.0	362.0	36
Total	1367.6	1592.6	1278.4	1149.8	28

A- Real energy consumption in 2015.

B- Official estimation of energy consumption by 2025, based on SENER Prospective Studies.

C- 2025 energy consumption (B) affected by EE measures*.

D- 2025 energy consumption (B) affected by EE measures and unused RE.

E- Reduction of energy consumption = $(1 - D/B) * 100$.

*Energy efficiency measures assumed:

1. Distribution loss reduction from 12.4 % to 4 %
2. 15% energy intensity reduction at country level
3. 15% energy intensity reduction at country level
4. -18% fuel consumption from fuel efficiency
5. -36.2 % fuel consumption from fuel economy.

According to the obtained results, based on energy efficiency measures and the use of unused renewable sources, it is possible to reduce electricity demand generated through conventional fuels by 57 %, which would have a direct impact on the reduction of GHG

emissions, and would lead to greater regional energy independence.

Also, applying regulatory measures, in line with global climate change mitigation requirements, such as increasing energy efficiency of diesel freight transport and increasing fuel efficiency in gasoline private cars, it represents big opportunities for reducing energy consumption from road transportation by 20 % and 36 % respectively.

CONCLUSIONS

Assumed the socioeconomic characteristics of the central region of Mexico, it is estimated an energy consumption trend growth of 16.5 % by 2025. Analyzing each component of regional energy consumption under a holistic way, it is possible to identify big opportunities for decreasing the energy demand based on energy efficiency and the potential offered by renewable resources, which represents an energy demand reduction of 27.8 %, going from 1 592.6 PJ to 1 149.8 PJ by 2025.

In the case of electricity consumption and gasoline consumption, they are both energy sources with the greatest reduction potential, 56.6 % and 36.2 %, respectively, what in general for the region would impact on the reduction of GHG emissions and the guarantee of greater energy independence.

Achieving such opportunities represents a great governmental and social commitment to create the adaptation conditions according to the new requirements that current and of the next generations, common welfare, requires.

As this study demonstrates, conducting holistic studies allows identifying different opportunities to reduce energy consumption of a region, with the possibility of extrapolating the methodology at a country level, thus contributing to the country's medium-term commitments to reduce GHG emissions.

BIBLIOGRAPHY

[1] SDSN (2017). *Sustainable Development Goals (SDG) Index and Dashboards*. Consultado el 22 de febrero de 2018, Sustainable Development Solutions Network: <http://www.sdgindex.org/assets/files/2017/2017-SDG-Index-and-Dashboards-Report--regions.pdf>.

[2], [6] TEDb (2017). *Output, Labor, and Labor Productivity, 1950-2017*. Consultado el 18 de diciembre de 2017, Total Economy Database: <https://www.conference-board.org/data/economydatabase/index.cfm?id=27762>.

[3] Del Castillo, M. (2017). *La distribución y desigualdad de los activos financieros y no finan-*

cieros en México. Consultado el 28 de julio de 2017, Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/41833-la-distribucion-desigualdad-activos-financieros-financieros-mexico>.

[4], [7] CIA (2017). Country comparison. Distribution of family income - Gini index. Consultado el 22 de julio de 2017, Central Intelligence Agency: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2172rank.html>.

[5], [10] SEMARNAT (2015). México rumbo a la COP-21. Consultado el 23 de julio de 2017, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://www.depfe.unam.mx/actividades/15/Paris-2015sem-SEMARNAT.pdf>

[8] LeanEnergyCluster (n.d.). Less energy - more growth. Prosperity through efficiency. Obtenida el 22 de diciembre de 2017, de la página electrónica: http://www.sustainia.me/resources/publications/mm/Less_Energy_More_Growth.

[9] Chittum, A. (2014). Going Further Than an EERS: Danish Lessons on Maximizing Whole Energy System Efficiency [version electrónica]. 2014 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 10-43.

[11] INEGI (2017). Densidad poblacional. Consultado el 14 de julio de 2017, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad.aspx?tema=P>.

[12] INEGI (2016). Producto interno bruto por entidad federativa 2015. Obtenida el 8 de agosto de 2017, de la página electrónica: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2016/especiales/especiales2016_12_02.pdf.

[13], [15], [16], [17] SENER (2016). Prospectiva del Sector Eléctrico 2016-2030. Consultado el 11 de marzo de 2018, Secretaría de Energía: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva_del_Sector_El_ctrico_2016-2030.pdf.

[14] CONAGUA (2017). 34 años de operación del Sistema Cutzamala. Consultado el 16 de junio de 2017, Comisión Nacional del Agua: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/34-anos-de-operacion-del-sistema-cutzamala>.

[18], [19] SENER (2016). Prospectiva de Gas Natural 2016-2030. Consultado el 15 de noviembre de 2017, Secretaría de Energía: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177624/Prospectiva_de_Gas_Natural_2016-2030.pdf.

[20], [21], [22] SENER (2016). Prospectiva de Petrolíferos 2016-2030. Consultado el 23 de noviembre de 2017, Secretaría de Energía: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177673/Prospectiva_de_Petr_leo_Crudo_y_Petrol_ferros_2016-2030.pdf.

[23], [24] SENER (2016). Prospectiva de Gas L.P. 2016-2030. Consultado el 23 de agosto de 2017, Secretaría de Energía: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177623/Prospectiva_de_Gas_LP.pdf

[25] Aumenta generación de basura; al día, cada mexicano tira 1.2 kilos (2017, 08 de agosto). La Jornada, pp. S31

[26] Carrasco, J. y Rodríguez, J. (2015). Análisis de estadísticas del INEGI sobre residuos sólidos urbanos. Consultado el 13 de julio de 2017, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_14/doctos/rde_14_art2.pdf.

[27] CDMX genera a diario 12,893 toneladas de basura (2016, 19 de octubre). El Economista, pp. S32.

[28] Planta de residuos generará electricidad para el Metro (2016, 13 de diciembre). La Jornada, pp. S34.

[29] INEGI (2010). Tasa de crecimiento media anual de la población por Entidad federativa y Año. Consultado el 14 de agosto de 2017, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: http://www.beta.inegi.org.mx/app/tabulados/pxweb/inicio.html?rxid=d518b312-a32e-4d23-a8dd-08a64c187a6c&db=Poblacion&px=poblacion_3.

[30] URBANBIOGAS (2011). Good practice projects for biogas production from waste, upgrading and utilization. Consultado el 22 de agosto de 2017, URBANBIOGAS/Fraunhofer: http://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/1stPR/ANNEX_1_9_D2_2_FRAUNHOFER_EN_GoodPrBiogas.pdf.

[31] COGENERAMEXICO (n.d.). Potencial de cogeneración en México. Obtenida el 26 de agosto de 2017, de la página electrónica: <http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=74>.

[32] CESPEDES (2015). Estudio prospectivo de generación de energías limpias 2015-2024. Consultado el 18 de julio de 2017, Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable: <http://www.cespedes.org.mx/wp-content/uploads/2015/06/Estudio%20Energias%20Limpias.pdf>.

[33] SENER (2015). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*. Consultado el 14 de diciembre de 2017, Secretaría de Energía: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf.

[34] SENER (2017). *Inventario Nacional de Energías Renovables*. Consultado el 13 de diciembre de 2017, Secretaría de Energía: <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>.

[35] ACEEE (2016). *The 2016 International Energy Efficiency Scorecard*. Obtenida el 14 de agosto de 2017, de la página electrónica: <http://aceee.org/research-report/e1602>.

[36] IEA (2017). *Energy Efficiency*. Consultado el 13 de julio de 2017, International Energy Agency: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Búsquedas dinámicas en fuentes de datos abiertos, caso: catastro digital Colima

RESUMEN: Esta investigación describe la motivación y el desarrollo de los filtros de búsqueda diseñados para enriquecer la funcionalidad del mapa digital de la plataforma de datos abiertos de Catastro Colima, y explica su impacto potencial entre los usuarios no avanzados para hacer consultas en comparación con el análisis de los datos en hojas de cálculo, editores de texto y simple visualización en tablas HTML. También expone sus ventajas respecto a un Sistema de Información Geográfica (SIG) para datos espaciales. Un filtro de búsqueda es una característica o condición que deben cumplir los elementos de las capas del mapa dentro de un cuadrilátero o polígono de figura libre que delimita el espacio geográfico, llamado área de influencia. El desarrollo implicó 4 fases: la migración de las capas (shapefiles) a MariaDB; la realización de un proceso ETL; la construcción de un almacén de datos; y la programación con recursos open source. La lógica de programación relata el funcionamiento del frontend y backend para la implementación futura de la aplicación web. Esta primera versión resultó satisfactoria porque su estructura permite agregar y mantener las más de 50 capas restantes del mapa.

PALABRAS CLAVE: Almacén de datos, catastro, datos abiertos, datos espaciales, ETL, filtros de búsqueda, inteligencia de negocios, SIG, OpenStreetMap.



Colaboración

Rosa de Guadalupe Cano Anguiano; José David Osorio Amezcua, Ariel Lira Obando; María Elena Martínez Durán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

ABSTRACT: This paper describes the entire development process of a series of search filters designed to enhance the usability of the digital map of Catastro Colima's open data platform, and explains its importance among non-advanced users compared to the data analysis in spreadsheet programs, text editors, sheer visualization in HTML tables, and even a Geographic Information System (GIS). A filter is a condition that features of the map layers must met within a polygon called area of influence. The development was divided into 4 stages: migrating the shapefiles to MariaDB; executing an ETL process; building a data warehouse; and programming using open source resources. The programming logic section describes the frontend and backend performance needed to implement and maintain the web app, whereas the results report the future work. This first version is in compliance with Catastro's needs because its structure allows adding and maintaining the +50 remaining map layers.

KEYWORDS: Business intelligence, cadastre, data filtering, data warehouse, ETL, GIS, open data, OpenStreetMap, spatial data.

INTRODUCCIÓN

La intención de autorizar la descarga sin restricciones de los datos estadísticos y geográficos de las instituciones públicas, como asegura el portal de Datos Abiertos de México, es permitir a cualquier persona o máquina accederlos, combinarlos, usarlos y distribuirlos para cualquier finalidad y bajo cualquier esquema comercial, ya que son considerados como un bien nacional de uso público [1].

El estudio comparativo de las consultas web en las plataformas de datos abiertos nacionales e internacionales analizadas (Tabla 1) revela que, ya sea mostrando los datos en una tabla en su sitio web y/o permitiendo su descarga principalmente en formatos CSV, XLS, XML y JSON, estas plataformas se enfocan en la recolección de datos y dejan el análisis al arbitrio del usuario a partir de la visualización general de todo el dataset mediante una hoja de cálculo o un editor de texto. En la tabla, un dato no encontrado ni inferido se representa con ¿?; si el sitio publica datos espaciales, el formato puede ser shapefile (SHP) u otro (KML, GeoJSON o GeoTIFF).

Tabla 1. Estudio comparativo de consultas web en plataformas de datos abiertos. Leyenda: Plataforma sin filtros (SF); filtros incluidos en plataforma (IP); filtros en el sitio de la fuente de datos (FD). Fuente: Elaboración propia.

Plataforma	No. de Temas	Tablas HTML	Filtros			Datos espaciales	
			SF	IP	FD	SHP	Otros
Mapa digital de Catastro Colima	16		×				
Datos Abiertos Jalisco	13	×		×		×	×
Datos Abiertos de México	14	×	×		×	×	×
Datamx.io	¿?	×		×			×
Inegi.org.mx	18	×		×			
Mapa Digital de México (web)	17			×			
Datos.gob.es	22		×				×
Datos.gob.ar	12		×				
Data.gov	14		×		×	×	×
Census.gov	12		×			×	
Kaggle.com/datasets	10	×		×			
Knoema.com/atlas	19	×		×		¿?	¿?
Data.gov.uk	12		×				×
Open.canada.ca	12	×	×		×	×	×

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) almacena datos espaciales en un archivo SHP que georreferencia los elementos mediante puntos, líneas y polígonos; y de atributos en tablas DBF, enlazadas a través de índices creados automáticamente en un archivo

SHX. Un shapefile es la colección de los 3 archivos que puede incluir opcionalmente un PRJ con la información de proyección escrita en lenguaje natural [2].

En el caso de organizaciones mexicanas con datos espaciales como INEGI, CONAGUA, SEMARNAT, catastros municipales y otras secretarías estatales, no es posible realizar consultas vía web que involucren múltiples capas en una zona geográfica determinada ni aplicar filtros en las tablas DBF: el análisis requiere forzosamente un SIG [3]. El INEGI ofrece el SIG Mapa Digital de México que, aunque es más simple que QGIS y ArcGIS, posee una curva de aprendizaje media-alta.

Según el Sistema para la consulta de información censal (SCIENCE) del censo de población y vivienda 2010 del INEGI, en el municipio de Colima en Colima, sólo el 20% (20,119 habitantes) de la población de 18 años y más tiene un grado aprobado en educación media superior, y el 26.4% (21,576) de la población de 25 años y más tiene al menos un grado aprobado en educación superior [4]. La Dirección General de Catastro Municipal del H. Ayuntamiento de Colima (Catastro o Catastro Colima) asegura que el 75% de la población visitante de la plataforma reside en el municipio de Colima. Con estos y otros índices educativos municipales se puede afirmar que gran parte de esta población no posee conocimientos técnico-científicos ni de computación para manejar un SIG. Este fue uno de los motivos que impulsaron la creación del mapa digital de Catastro Colima a fin de que el público general explore datos espaciales.

Plataforma Municipal de Información de Catastro Colima

Catastro Colima posee la Plataforma Municipal de Información para el acceso a sus datos abiertos, en la que destaca un mapa digital. Este mapa es una herramienta interactiva gratuita y pública de información que la dirección recopila de diversas fuentes de datos, entre ellas INEGI, INAH, Registro Civil, Protección Civil, Dirección de Tránsito, C.F.E. y Telmex; y obviamente, de la información que el propio Catastro recaba de predios, mobiliario urbano y otros elementos con clave catastral, por ejemplo: patrimonios, licencias de giros comerciales, obras públicas, semáforos y árboles. El mapa posee 16 carpetas o temáticas y 60 capas, las cuales Catastro utiliza como sinónimos de shapefiles. Por ejemplo, la carpeta Patrimonial comprende las capas: Áreas verdes, Escuelas, Esculturas, y Parques y Jardines; en algunos casos una carpeta posee una única capa, como la carpeta Salud con Hospitales.

Impacto de los filtros de búsqueda para el mapa digital de Catastro Colima

A la fecha, la desventaja principal del mapa es que su única consulta es mostrar todos los elementos de una o más capas (Figura 1).



Figura 1. Mapa digital actual de Catastro Colima.

Para otorgar un análisis más profundo y personalizado y resolver las preguntas abiertas de un habitante de la ciudad de Colima (por ejemplo: ¿cuáles son las rutas y paradas de camión que existen en su calle?, ¿cuáles parques y jardines cercanos a su colonia tienen juegos infantiles o árboles frutales?, o ¿dónde se ubican restaurantes de mariscos o cajeros automáticos de Banamex en la ciudad?) se diseñó una aplicación web que permite al usuario público añadir filtros de búsqueda en un área de influencia.

Los filtros de búsqueda, a veces llamados listas dinámicas, embebidos en una plataforma de datos abiertos son una alternativa de Inteligencia de Negocios (Business Intelligence o BI por sus siglas en inglés) poco difundida pero muy práctica para brindar una utilidad significativa y visualización detallada comparadas con el análisis manual en una hoja de cálculo o editor de texto para datos abiertos, o un SIG para datos espaciales.

Un filtro de búsqueda es una característica o condición que deben cumplir los elementos de las capas dentro del área de influencia, la cual es un polígono, ya sea un cuadrilátero o de figura libre, que delimita el espacio geográfico en donde buscar. Su tamaño es arbitrario: puede ser tan grande como toda la ciudad o más pequeño que una manzana. Un filtro es una consulta que debe ser transformada a una sintaxis SQL determinada para que un SGBD (Sistema Gestor de Bases de Datos) pueda seleccionar los resultados que satisfacen las condiciones de búsqueda.

MATERIALES

El frontend de los filtros se desarrolló con HTML5, CSS3 y Bootstrap 3.1.0, bajo una arquitectura MVC (Modelo-Vista-Controlador). OpenStreetMap, en su versión 4.6.5, ofrece como recursos open source la librería ol.js y la hoja de estilos ol.css para desplegar, configurar, utilizar, dibujar figuras e interactuar con un

mapa mundial, aunque Catastro sólo requiere el municipio de Colima y parte de Villa de Álvarez. Otras librerías JavaScript utilizadas fueron jQuery 3.3.1 y proj4.

El frontend incluye la interacción con los botones, radio botones, listas de opciones, cajas de entrada de texto, formularios y tablas de la página web para agregar, modificar o eliminar los filtros de búsqueda; así como la navegación en el mapa para dibujar áreas de influencia y seleccionar marcadores. El frontend está separado en 2 columnas: la izquierda contiene los selectores de filtros y la derecha despliega el resumen de éstos y el mapa (Anexo 1).

El lenguaje de programación para el backend fue PHP 7.2.3 en el framework CodeIgniter 3.1.8 y el SGBD utilizado fue MariaDB 10.1.31. El motivo de la elección de PHP, que conlleva que la aplicación sea web en lugar de escritorio, se debe a su portabilidad, es decir, una vez terminada la aplicación se va a integrar con la plataforma municipal para visualizar el mapa y utilizar los filtros desde un navegador web en cualquier dispositivo, en lugar de requerir la descarga e instalación como un SIG.

METODOLOGÍA

Debido al volumen de información de Catastro Colima, se diseñó un almacén de datos (data warehouse) que incluye los campos más importantes para filtrar cada capa. Para obtener el almacén se aplicó un proceso ETL (Extraer-Transformar-Cargar por sus siglas en inglés) que detectó los registros que poseían errores, corrigió automáticamente los que pudo según políticas establecidas por Catastro, y permitió al operador editar, eliminar o descartar como falso positivo los registros restantes.

Para el desarrollo de la aplicación web se utilizó la metodología DDDP (design-driven development process) que consiste en la captura, definición y validación de requerimientos durante el diseño. El proceso se basa en la creación de prototipos a fin de explorar soluciones potenciales del problema a ser resuelto. Usuarios y clientes definen, adaptan, modifican o eliminan los requerimientos a partir de la evaluación de estos prototipos [5].

Para la captura de requerimientos se realizaron entrevistas y un análisis heurístico de la plataforma municipal. La definición se logró mediante la especificación de 48 requerimientos (del usuario, del sistema, del software, mínimos del hardware, funcionales y no funcionales) en lenguaje natural y con casos de uso. La aplicación web integra 2 grandes procesos:

la creación de las capas (Figura 2), que involucra las tareas necesarias para la inclusión de una capa en el mapa: la definición de su alcance y autorización, la recolección de datos, la digitalización, y la programación

en el web hosting; y el análisis de los datos abiertos (Figura 3) que comprende el proceso ETL y el diseño de las consultas de BI, entre ellas los filtros de búsqueda. Las actividades de ambos diagramas representan casos de uso en particular que no se muestran en este documento.

Finalmente, la validación se logró con la técnica basada en prototipos (Figura 4) [6].

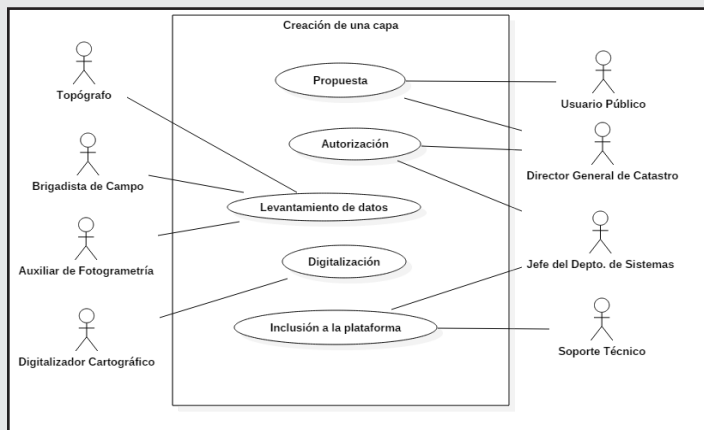


Figura 2. Escenario general del proceso: Creación de una capa.

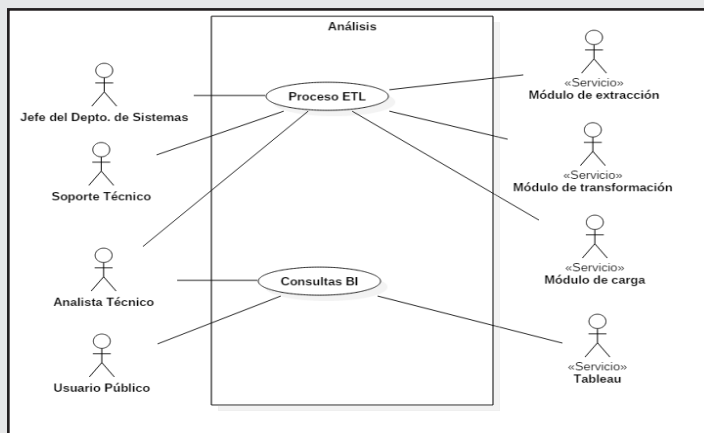


Figura 3. Escenario general del proceso: Análisis.

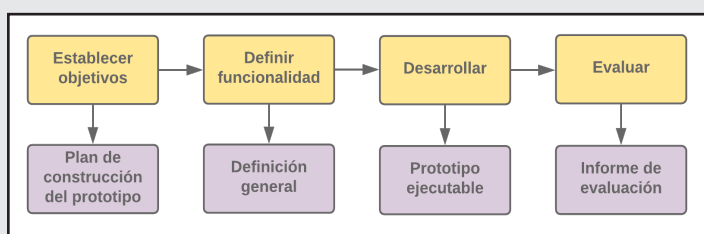


Figura 4. Fases de la implementación de un prototipo.

La Tabla 2 muestra un resumen del historial de prototipos con la característica principal añadida en la versión en cuestión y la evaluación del prototipo para continuar el desarrollo de software.

Tabla 2. Historial de prototipos. Leyenda: Aprobado sin observaciones (AS); aprobado con modificaciones en los requerimientos (AC); no aprobado (NA). Fuente: Elaboración propia.

Versión	Descripción	Evaluación		
		AS	AC	NA
0.1	Propuesta inicial			×
0.2.0	Redistribución de <i>frontend</i> en 2 columnas		×	
0.2.1	Botón para agregar capa sin filtros	×		
0.3	Contador de totales según conector OR o AND	×		
0.4	Botón para limpiar mapa (sin quitar filtros)	×		
1.0	Área de influencia en forma de polígono y cuadrado		×	
1.0.1	Limpieza automática de +2 áreas de influencia	×		

Lógica de programación

Los filtros sólo requieren 3 consultas SQL dinámicas para funcionar: la validación de los puntos que conforman los vértices de un área de influencia en el caso exclusivo de que sea un polígono; la búsqueda en las capas seleccionadas de los elementos que se encuentren dentro del área de influencia y que cumplan las condiciones especificadas (filtros); y el conteo de los elementos que cumplen dichas condiciones.

Para realizar una consulta de los datos abiertos en el mapa digital de Catastro Colima, se debe: agregar una o más capas y, opcionalmente, los filtros de búsqueda específicos deseados; y trazar un área de influencia en el mapa en forma de rectángulo, cuadrado o polígono de figura libre.

Para agregar un filtro de búsqueda es necesario seleccionar 3 parámetros: la capa (Bancos, Postes, Teléfonos Públicos, etc.); el campo (Nombre, Material, Condición Física, etc.); y el valor a buscar (Banamex, Madera, Mala, etc.). El valor es especificado mediante una lista de opciones o una caja de texto si el rango de valores es amplio.

No hay una cantidad límite de filtros a agregar. Una capa puede tener uno o más filtros específicos, así como una búsqueda general sin filtros (Anexo 2.a). Los operadores booleanos OR y AND unen 2 o más filtros de búsqueda de una misma capa. Con OR los elementos encontrados deben cumplir al menos una condición; con AND todas.

Un mensaje de alerta puede aparecer si ocurre un caso especial de combinación entre ellos. Por ejemplo, a partir de la tabla de filtros en el Anexo 2.a, el usuario puede agregar la capa Panteón municipal y reemplazar los 2 filtros específicos que existen (Figura 5); o agregar un filtro específico en la capa Luminarias (Figura 6). El Anexo 2.b muestra la tabla de filtros y los resultados en el mapa producto de estas modificaciones.



Figura 5. Mensaje de alerta para reemplazar filtros específicos por una búsqueda general sin filtros.



Figura 6. Mensaje de alerta para reemplazar una capa sin filtros por filtros específicos.

Además de estas validaciones, existen otros 5 tipos de mensajes de alerta, entre ellos el más importante es el trazado de un área de influencia inválida (Figura 7). Esto sólo aplica cuando el área sea un polígono de forma libre y la función `ST_GeomFromText()` en el backend retorne nulo. MariaDB 10.1.x, a diferencia de MySQL 5.6.x en adelante no soporta `ST_IsValid()` que retorna 1 o 0 si el polígono es válido o no, respectivamente [7].

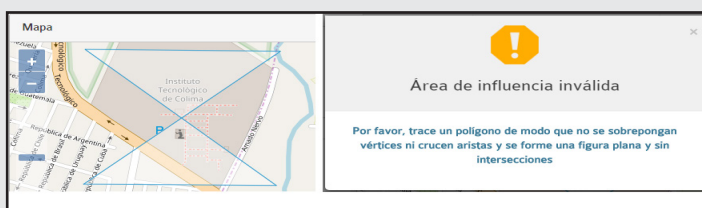


Figura 7. Ejemplo y mensaje de alerta de un área de influencia inválida.

Mediante una petición AJAX, el backend recibe como parámetros la tabla de filtros, un array de coordenadas UTM de los vértices del área de influencia y el operador booleano OR o AND seleccionado. Según la cantidad de capas (tablas en la base de datos), crea n consultas SQL default para después reemplazar los valores de los parámetros recibidos. En cada cláusula WHERE existe

al menos la condición que el polígono formado por los puntos del área de influencia intersecte el punto formado por las coordenadas de un registro en la tabla, para lo cual se usa `ST_Intersects()`. El resto de los filtros se concatenan con el conector booleano.

Posteriormente, los resultados de la consulta SQL se devuelven en una cadena JSON con objetos anidados de 3 valores asociados a estas llaves: latitud y longitud del elemento, y capa a la que pertenece para identificar el marcador a utilizar en el mapa. El frontend realiza la conversión de coordenadas UTM (formato de Catastro) a decimales (formato de OpenStreetMap) con la librería `proj4.js`.

Para el conteo de los elementos influyen los conectores OR y AND. Con el conector OR, la cantidad total mostrada corresponde a cada filtro, es decir, cuántos elementos cumplen solamente esa condición en particular. Los totales en cada fila de la tabla son independientes. Dado que no es necesario que se satisfagan todas las condiciones, un filtro puede tener un total de 0 y aun así pueden aparecer marcadores en el mapa si se satisface otro filtro de la misma capa. Con el conector AND, la cantidad total mostrada es siempre igual para todos los filtros de una misma capa; si los campos no son coherentes (por ejemplo: un poste no puede ser de madera y metal a la vez) los resultados obtenidos son siempre 0. Si se realiza una consulta con un solo filtro específico, o una búsqueda general sin filtros en una capa, la cantidad total mostrada es igual independientemente del conector seleccionado.

Finalmente, una consulta SQL adicional ocurre cuando se pulsa sobre un marcador. Las coordenadas decimales del punto son convertidas a UTM con `proj4.js` y se busca el elemento en la tabla de la base de datos donde coincidan las coordenadas y el nombre de la capa obtenidos a partir de los 3 valores del JSON almacenado temporalmente en la caché del navegador web. Esta consulta selecciona todas las columnas disponibles de la tabla y se muestra en un cuadro no modal (Figura 8). Con `proj4.js` se reemplazan de nuevo las coordenadas UTM del punto por su equivalente en decimal y se añade un enlace a Google Maps a fin de que el usuario encuentre datos específicos sobre un predio, entre ellos reseñas, horarios, fotografías e información de contacto; o tenga acceso a otras herramientas como obtener direcciones y buscar lugares cercanos.

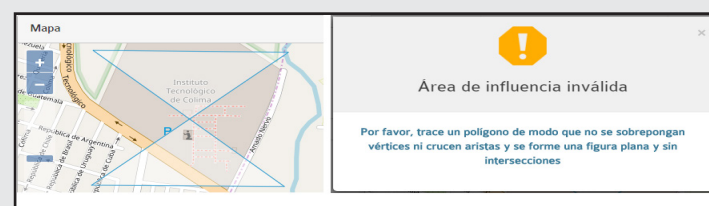


Figura 8. Despliegue de información de un marcador en un cuadro no modal.

RESULTADOS

En esta primera versión de la aplicación web, la transformación y concatenación de los filtros de búsqueda mediante cláusulas WHERE y la conversión de los vértices de un área de influencia en datos geométricos en SQL, así como el despliegue de los marcadores en el mapa resultaron satisfactorios.

La aplicación web no se ha implementado en el servidor de la plataforma municipal porque es una versión de prueba que incluye 7 de las 60 capas de Catastro Colima para demostrar el correcto funcionamiento de los filtros con OpenStreetMap. Para agregar el resto de las capas y las que surjan a futuro, el código modular facilita el mantenimiento ya que no es necesario alterar la estructura del frontend y backend y se cree soporta el crecimiento sin degradarse.

Por políticas de diseño, en el mapa sólo hay 2 áreas de influencia: la más reciente, que es donde se aplican los filtros, y la anterior como marco de referencia. Múltiples consultas con resultados de más de 1,000 registros son completadas en menos de 3 segundos. Un aspecto ajeno a la aplicación es que un navegador web puede requerir hasta 40 segundos para procesar la impresión de los miles de marcadores.

El trabajo futuro consiste en la inclusión de operadores relacionales si el campo es numérico y de áreas de influencia con forma de zonas pre-establecidas, como colonias y calles; y también el diseño de consultas que involucren medición de distancia y área entre los elementos de las capas (por ejemplo: accidentes viales que hayan ocurrido en no más de 30 metros de un semáforo vehicular o peatonal).

CONCLUSIONES

En una plataforma de datos abiertos, si un dataset es muy relevante o consultado, si contiene campos numéricos significativos o varios no numéricos con un rango establecido de valores y, sobre todo, si el análisis de la utilidad de los filtros de búsqueda para el público general resulta positivo, es recomendable integrarlos en el sitio web además de la visualización HTML. De otra manera, el dataset puede ser descargado y analizado manualmente por el usuario en una hoja de cálculo o editor de texto.

Si una institución maneja datos espaciales y los elementos poseen atributos no geométricos relevantes y suficientes para aplicar filtros de búsqueda, las ventajas de migrar las tablas DBF de los shapefiles hacia un esquema de base de datos espacial y relacional son: Organización: las coordenadas y los atributos se almacenan en tablas de la base de datos y no tablas DBF. Esto evita redundancia y facilita el mantenimiento.

Consultas dinámicas: la clave del funcionamiento de los filtros de búsqueda son las cláusulas WHERE. Ade-

más, cualquier SGBD ofrece funciones de agregación para encontrar mínimos, máximos, promedios, sumas y agrupaciones.

Consultas simultáneas: un SGBD puede buscar en múltiples capas uniendo los criterios de búsqueda con operadores booleanos OR o AND.

A partir del almacén que sirvió para diseñar los filtros, Catastro Colima puede generar cubos OLAP, aplicar minería de datos y compartir el conocimiento adquirido al público y a las instituciones que sirvieron como fuentes de datos para la plataforma municipal; e incluso publicar el script SQL del almacén y/o la base de datos del sistema completo con una licencia de datos abiertos que, aunque es un formato poco común de publicación, es más fácil de consultar que un shapefile. Los usuarios avanzados son los que pueden explotar los shapefiles originales y bases de datos espaciales con un SIG.

REFERENCIAS

- [1] Gobierno de México (2016). *¿Qué son los Datos Abiertos? Obtenida el 8 de junio de 2018, de la página electrónica:*
<https://datos.gob.mx/blog/que-son-los-datos-abiertos>
- [2] QGIS (n.d.). *Supported Data Formats. Obtenida el 8 de junio de 2018, de la página electrónica:*
https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/working_with_vector/supported_data.html
- [3] Soluciones Geográficas de México SC (2010). *Cientes. Obtenida el 11 de junio de 2018, de la página electrónica:*
<http://www.gismexico.com/clients.html>
- [4] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2012). *Sistema para la consulta de información censal (SCINCE Versión 05/2012).*
- [5] Jeyakarthik, R. (2011). *Requirements Engineering In Current Web Engineering Methodologies. International Journal of Computer Technology and Applications*, 3(2), 494.
- [6] Villada, J. (2015). *Desarrollo y optimización de componentes software para tareas administrativas de sistemas. Málaga: IC Editorial.*
- [7] MariaDB (n.d.). *MySQL/MariaDB Spatial Support Matrix. Obtenida el 18 de julio de 2018, de la página electrónica:*
<https://mariadb.com/kb/en/library/mysqlmariadb-spatial-support-matrix>

Anexo 1. Distribución del frontend en 2 columnas: a la izquierda los selectores de filtros y a la derecha el resumen de éstos y el mapa.

Preguntas frecuentes ?

Seleccione la capa en donde buscar:

* Capa:

TELÉFONOS PÚBLICOS

AGREGAR CAPA +

Seleccione el campo a filtrar:

* Campo:

FUNCIONA

Seleccione el valor a filtrar:

* Valor:

NO

* Opción para unir condiciones: ☐ O (OR) ☒ Y (AND)

* Área de influencia: RECTÁNGULO

AGREGAR FILTRO +

CONSULTAR Q

LIMPIAR MAPA ?

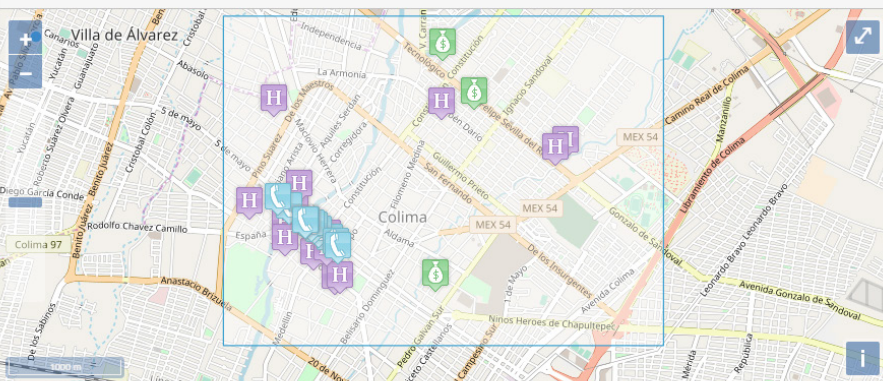
LIMPIAR TODO ↺

Filtros de búsqueda agregados ✖

CAPA	CAMPO	VALOR	OPCIONES	TOTALES
BANCOS	NOMBRE	BANAMEX	 	4
BANCOS	SERVICIO	CAJERO AUTOMÁTICO	 	4
HOTELES	(SIN FILTROS)	(SIN FILTROS)	 	14
TELÉFONOS			 	

← FUNCIONA ← NO

Mapa



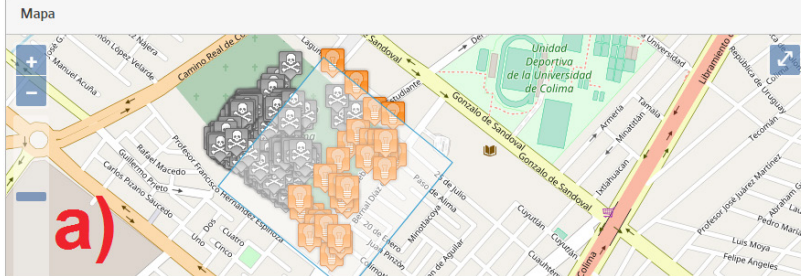
Para un click individual, pulse Alt+Click, Ctrl+Click, o Shift+Click

Anexo 2. Sustitución de filtros específicos por una búsqueda general sin filtros (a) y viceversa (b).

Filtros de búsqueda agregados ✖

CAPA	CAMPO	VALOR	OPCIONES	TOTALES
PANTEÓN MUNICIPAL	MATERIAL	CEMENTO	 	345
PANTEÓN MUNICIPAL	CONDICIÓN FÍSICA	EN RUINAS	 	345
LUMINARIAS	(SIN FILTROS)	(SIN FILTROS)	 	30

Mapa

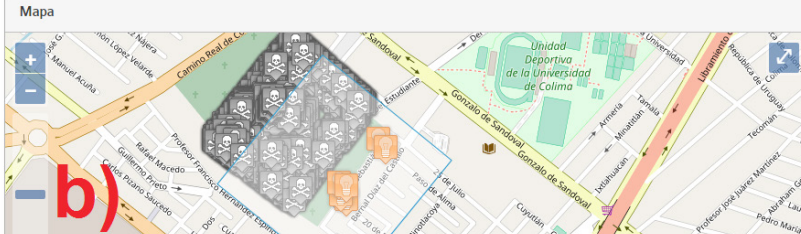


a)

Filtros de búsqueda agregados ✖

CAPA	CAMPO	VALOR	OPCIONES	TOTALES
PANTEÓN MUNICIPAL	(SIN FILTROS)	(SIN FILTROS)	 	4875
LUMINARIAS	FUENTE	ALUMBRADO PÚBLICO/TRANSFORMADOR	 	6

Mapa



b)



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Reconocimiento facial usando Haar para identificación de intrusos en una galería



Colaboración

José Ignacio Vega Luna; Mario Alberto Lagos Acosta; Gerardo Salgado Guzmán, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

RESUMEN: Se presenta el diseño de un sistema de reconocimiento facial usando el algoritmo de Eigenfaces y las características de Haar, implantado a través de una tarjeta Raspberry Pi 3, una cámara de video y la biblioteca defunciones de visión por computadora OpenCV. Para la identificación mediante características de Haar, utilizaron las imágenes positivas capturadas por la cámara de video. Para el entrenamiento del sistema se usó una base de datos de rostros de AT&T. Cada imagen está en formato png cuyo tamaño es 92x112 pixeles con niveles de gris de 256 por pixel. Las imágenes se organizan en 40 carpetas del sistema de archivos de la Raspberry, con 10 imágenes cada uno, siendo un total de 400 imágenes de rostros con variaciones de luz, expresiones faciales y detalles como anteojos y vello facial. El resultado indica la coincidencia de un rostro capturado con otro de la base de datos usada en el entrenamiento. La precisión lograda en la identificación fue 83%, capturando 100 diferentes fotos, de rostros previamente identificados, y reconociendo 83 de las muestras realizadas en tres minutos en promedio.

PALABRAS CLAVE: Eigenfaces, Haar, OpenCV, Raspberry Pi 3, reconocimiento facial.

ABSTRACT: The design of a facial recognition system is presented using the Eigenfaces algorithm and the Haar characteristics, implanted through a Raspberry Pi 3 card, a video camera and the OpenCV computer vision library. For identification using Haar features, they used the positive images captured by the video camera. A database of AT & T faces was used to train the system. Each image is in png format whose size is 92x112 pixels with gray levels of 256 per pixel. The images are organized in 40 folders of the Raspberry file system, with 10 images each, with a total of 400 images of faces with variations of light, facial expressions and details such as glasses and facial hair. The result indicates the match of a captured face with another of the database used in the training. The accuracy achieved in the identification was 83%, capturing 100 different photos of faces previously identified, and recognizing 83 of the samples taken in three minutes on average.

KEYWORDS: Eigenfaces, facial recognition, Haar, OpenCV, Raspberry Pi 3.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada vez es más frecuente el desarrollo de dispositivos biométricos que combinan diferentes métodos de reconocimiento facial. La tecnología usada por estos sistemas ha transformado diferentes campos de la vida humana como la medicina, la seguridad, el mercadeo y otras áreas que incorporan el procesamiento de imágenes para ser usadas como una fuente de información [1]. Las fotografías, principalmente asociadas a rostros humanos, se han transformado en un formato de almacenamiento masivo de datos. Debido a esto, ha surgido la necesidad de contar con sistemas de identificación y reconocimiento de rostros, automatizados, cada vez más confiables, rápidos y eficientes [2].

Compañías a nivel mundial han desarrollado algoritmos eficientes y rápidos para el reconocimiento de imágenes. En 2014, Facebook anunció que logró el 97.3 % de exactitud con el algoritmo DeepFace [3] y Google el 99.6 % de aciertos con el algoritmo FaceNet [4]. Empresas, como Apple, han realizado diferentes aplicaciones y herramientas de reconocimiento facial [5].

Recientemente, ha sido desarrollada una biblioteca de funciones de código abierto, denominada libface, usada para reconocimiento facial basada en OpenCV (Open Source Computer Vision) [6]. OpenCV es una biblioteca de funciones de procesamiento de imágenes utilizada en visión artificial y aprendizaje de máquinas [7] que integra algoritmos para identificar objetos y rostros, clasificar acciones humanas en vídeo, seguir objetos en movimiento, extraer modelos 3D, encontrar imágenes similares, eliminar ojos rojos y reconocer escenarios [8].

Una técnica usada para el reconocimiento facial son las características de Haar (Haar-like) [9]. Este método permite obtener la suma de píxeles en algunas regiones rectangulares contiguas de una imagen. Las características Haar tienen la ventaja de ser invariantes a la iluminación y escala de grises, además de ser robustas frente al ruido de la imagen. La ubicación de cada característica Haar se utiliza para obtener las particularidades de un objeto [10]. En el rostro humano, la primera característica Haar se centra en la región de los ojos que, generalmente, es más oscura que la zona de la nariz y las mejillas [11]. La segunda característica de Haar se centra también en los ojos, ya que es más oscura que el puente de la nariz como se muestra en la Figura 1.

En visión por computadora, se conoce como Eigenfaces al conjunto de vectores propios usados para el reconocimiento del rostro humano [12].

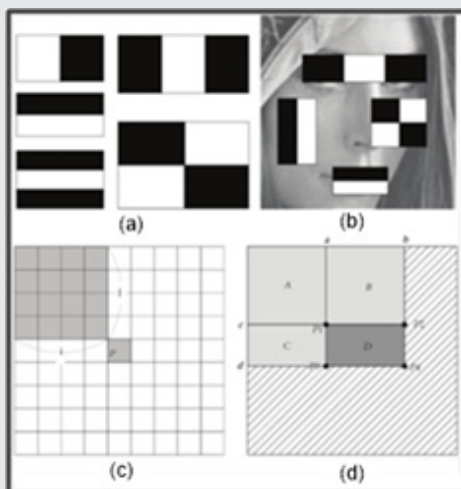


Figura 1. (a) Características de Haar, (b) Características de Haar de una imagen, (c) Imagen integral del píxel $I(i,j)$, (d) Cómputo de la imagen integral para el rectángulo.

El método de Eigenfaces fue planteado por Sirovich y Kirby en 1987 para el reconocimiento de rostros y fue usado años después por Matthew Turk y Alex Pentland para el desarrollo de aplicaciones de clasificación de rostros [13]. El término "eigen" se refiere al conjunto de vectores propios para la identificación. Este método representa el conjunto de imágenes utilizando una base formada de imágenes "eigen" cuya dimensión es más pequeña que el conjunto de imágenes original [14]. Los vectores propios resultan de la matriz de covarianza de la distribución de probabilidad sobre el espacio vectorial de alta dimensionalidad de las imágenes del rostro. Los propios Eigenfaces forman un conjunto base de todas las imágenes utilizadas para construir la matriz de covarianza [15]. El conjunto de Eigenfaces se genera por medio del proceso matemático llamado análisis de componentes principales (PCA-Principal Component Analysis) aplicado a un conjunto de imágenes que representan diferentes rostros humanos, como se muestra en la Figura 2 [16]-[17].

El objetivo de este trabajo fue contar con un sistema sencillo, confiable y fácil de instalar para reconocer y almacenar en una memoria SD los rostros de personas cuya imagen no se encuentra registrada en la base de datos de una galería de arte.

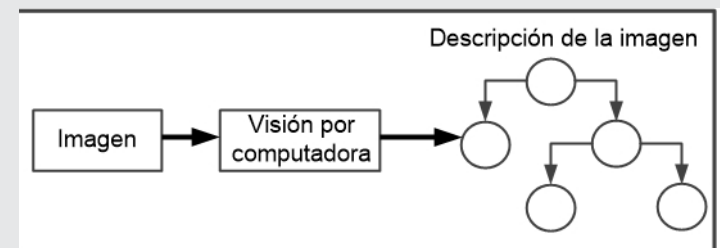


Figura 2. Diagrama general de visión por computadora.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología usada para el desarrollo de este sistema consistió en dividirlo en seis módulos que realizan las siguientes funciones: captura de imagen, procesamiento de imagen, identificación mediante características de Haar, extracción de características, reconocimiento de imagen y autenticación del usuario. En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques de los módulos indicados anteriormente cuyas funciones se describen a continuación.

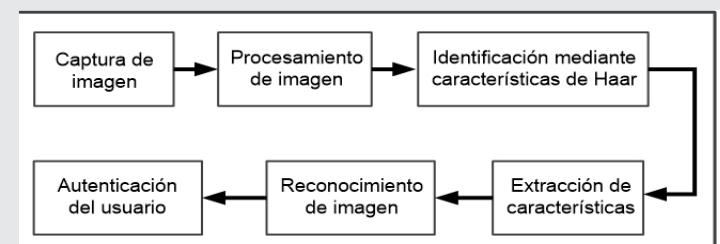


Figura 3. Diagrama de bloques funcionales

Captura de imagen

Para realizar la captura de imágenes a identificar se utilizó una tarjeta Raspberry Pi 3, como la mostrada en la Figura 4, y una cámara de video Raspberry Pi v1. La cámara de video se conectó a la interfaz CSI (Camera Serial Interface) de la tarjeta Raspberry. El bus de la interfaz CSI transporta exclusivamente datos de píxeles al procesador BCM43438 de la Raspberry Pi 3. Algunas características de la cámara de video son las siguientes: resolución de 5 Megapíxeles, video de 1080p30, 720p60 y 640x480p60/90 y sensor OmniVision OV5647 con resolución de 2592x1944 píxeles. La tarjeta Raspberry Pi 3 tiene las siguientes características: interfaces WLAN y Bluetooth, memoria RAM de 1GB, 40 terminales GPIO, 4 puertos USB 2.0, 1 puerto Full HDMI, ranura DSI para módulo LCD, ranura para tarjetas MicroSD y núcleo de gráficos VideoCore IV 3D.

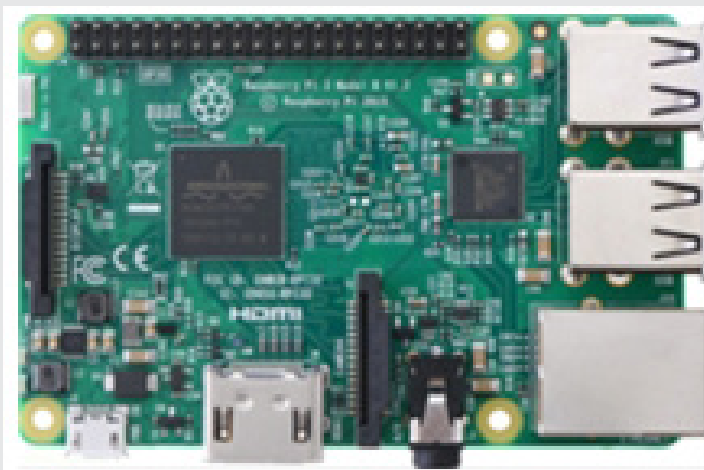


Figura 4. Tarjeta Raspberry Pi 3

En la tarjeta Raspberry Pi 3 se instaló el sistema operativo Raspbian Stretch, el cual está basado en Debian Jessie (Debian 8.0) y es optimizado para el hardware de la Raspberry. Para realizar las capturas de imágenes se utilizaron funciones de la biblioteca OpenCV invocadas desde un programa realizado en lenguaje Python. La biblioteca OpenCV cuenta con interfaces para lenguajes como C++, Python, Java y MATLAB y es compatible con Windows, Linux, Android y Mac OS.

Las imágenes de entrenamiento se basaron en la base de datos pública creada por los Laboratorios AT&T y la Universidad de Cambridge, la cual se ha utilizado en gran cantidad de investigaciones a nivel mundial para probar sistemas de reconocimiento de rostros. Las imágenes de esta base de datos se encuentran en formato PNG, ya que este formato es el adecuado para manipular imágenes con bloques de colores planos.

Procesamiento de imagen

El método PCA aplicado a las imágenes de entrenamiento, es una forma de identificar patrones en un

conjunto de datos y expresarlos de forma tal que se obtengan las diferencias y semejanzas. Ya que los componentes o píxeles de una imagen están relacionados entre sí, el PCA se basa en las propiedades estadísticas de la imagen para reducir la cantidad de dimensiones necesarias y representar un conjunto de vectores o rostros.

Si se considera un vector aleatorio X de dimensión n , con su correspondiente media m , como en la Ec. 1.

$$\mu = E\{X\} \quad \text{Ec. (1)}$$

La matriz de covarianza se define como se indica en la Ec. 2.

$$\Sigma = E\{(X - \mu)(X - \mu)'\} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (2)}$$

El método PCA consiste en encontrar los vectores propios de esta matriz y expresar X en función de estos vectores. De esta manera, el vector aleatorio X se puede representar sin error mediante una combinación lineal de vectores de la forma indicada por la Ec. 3.

$$X = \sum_{i=1}^n y_i A_i \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde A_i son los vectores propios de la matriz de covarianza.

La cualidad más importante de esta representación es poder indicar X con sólo m (menor que n) componentes, la mejor elección posible en términos del error que se comete son los m vectores propios de la matriz de covarianza con mayores valores propios asociados. El PCA se reduce a encontrar los vectores propios de la matriz de covarianza S_x del vector al que se aplica el PCA.

Se utiliza esta teoría para resolver el problema particular de reconocimiento facial, donde el objetivo es caracterizar un conjunto de rostros, que serán las del módulo de entrenamiento, en un espacio de menor dimensión. Se considera al conjunto de todas las imágenes posibles cuyas dimensiones son w píxeles de ancho por h píxeles de alto como realizaciones del vector aleatorio X de dimensión $w \times h$, con su correspondiente vector media. Este vector se llama vector rostro y es necesario aplicarle el PCA.

La media del vector rostro no se puede obtener al no conocer la función de densidad de probabilidad, pero se puede estimar a partir las imágenes que se tienen en la Ec. 4.

$$\mu \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \text{Ec. (4)}$$

La matriz de covarianza tampoco se conoce pero se puede estimar con la ecuación Ec. 5.

$$\Sigma X \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Xi - \mu)(Xi - \mu)' = \frac{1}{N} MxM'x \quad \text{Ec. (5)}$$

A continuación, sólo resta realizar el cálculo de los vectores propios de la matriz de covariancia. Si los vectores rostro del entrenamiento son de dimensión $w \times h$, las dimensiones de la matriz de covariancia estimada Σ_x serán de ancho $w \times h$ y altura $w \times h$. Por ejemplo, si se utilizan imágenes de entrenamiento con dimensiones $w=128$ y $h=128$, la cantidad de elementos de la matriz de covariancia es 1284, o sea más de 268 millones. La solución de este problema se puede ver a continuación.

La Descomposición en Valores Singulares (SVD-Singular Value Decomposition), permite descomponer una matriz en un producto de tres matrices aplicada a la matriz Mx de la Ec. 6.

$$Mx = UA\frac{1}{2}V^T \quad \text{Ec. (6)}$$

Si Mx es una matriz de $w \times h$ filas y una cantidad de columnas $w \times h$ mayor que N , lo que siempre es el caso, la matriz U es de las mismas dimensiones y las matrices V y $A/2$ son cuadradas de dimensiones N por N . Además, la matriz $A/2$ es diagonal como muestra la Figura 5.

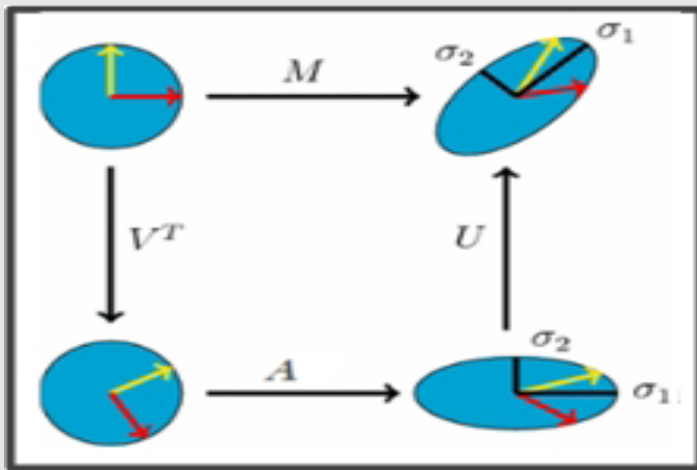


Figura 5. Ejemplo gráfico de la Descomposición en Valores Singulares

La propiedad que resulta útil de la SVD es que las N columnas de la matriz U son vectores propios de la matriz XX^T , y los elementos de la matriz $A/2$ son las raíces cuadradas de los valores propios correspondientes a estos vectores. La estimación de la matriz Sx no era exactamente XX^T , sino que además se dividía este producto por N . Pero esto no importa ya que los vectores y valores propios de una matriz y los de la misma matriz dividida por un escalar son iguales, salvo por el hecho de que los valores propios también quedan divididos por el mismo número. Los N vectores propios que genera la SVD son capaces de caracterizar los vectores correspondientes al conjunto de imágenes de rostros de entrenamiento. El resto de

vectores propios sólo servirían para abarcar el resto del espacio original de X , el espacio de las imágenes de w por h píxeles, pero no servirían para representar los rostros. De estos vectores propios, la cantidad de ellos, que contienen información útil o valor propio mayor de cero, es igual a la cantidad de vectores linealmente independientes del conjunto de entrenamiento menos uno. De esta manera, se obtienen los vectores propios que definen el nuevo espacio, el espacio de los rostros. Los vectores resultantes tienen apariencia de rostros y por ello en un inicio fueron llamadas Eigenpictures o imágenes propias y posteriormente Eigenfaces o caras propias. En la Figura 6 se muestran las cinco primeras Eigenfaces que se generaron en esta etapa del sistema aquí presentado con los algoritmos implantados usando un conjunto de 57 imágenes de entrenamiento.

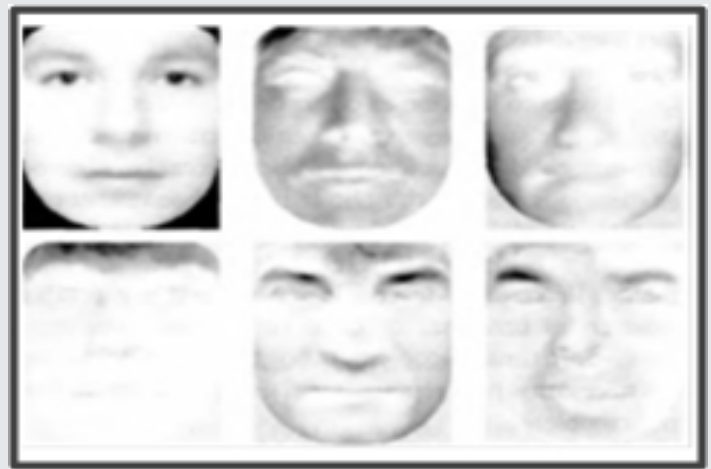


Figura 6. Primeras cinco Eigenfaces generadas

En el proceso de generación de Eigenfaces, se cuenta con un conjunto de N imágenes de rostros X_i , la cuales se utilizan para un conjunto de entrenamiento buscando representarlas en un espacio de menor dimensión. Para esto, se consideró el uso de las imágenes como realización del proceso aleatorio vectorial de imágenes de rostros y se aplicó el PCA a este vector. Como resultado, se obtuvieron N vectores propios (Eigenfaces) ortonormales y con $N-1$ de ellos se generaron sin error las N rostros del conjunto de entrenamiento, como se muestra en la Figura 7.

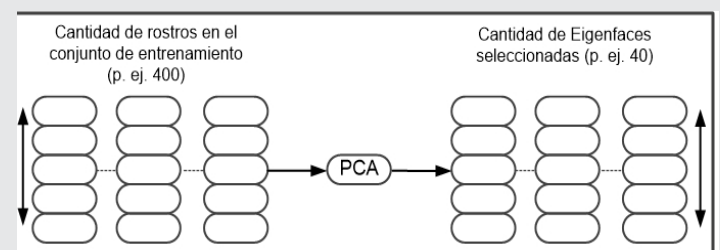


Figura 7. Proceso de generación de Eigenfaces

En la fase de extracción de características se realizó el análisis de componentes principales con el cual se

extraen las Eigenfaces considerando lo siguiente:

- Se realizó el cálculo de la media del rostro y se resta de las imágenes normalizadas.

- Se generó la matriz M_x , donde las columnas son imágenes de rostros del entrenamiento normalizados.

- Se aplicó la SVD a la matriz M_x generando dos matrices, una contiene las Eigenfaces o valores propios y la otra las raíces cuadradas de los valores propios.

- Se almacenaron las Eigenfaces y las proyecciones de las imágenes de rostros del entrenamiento sobre ellas.

- Se calculó la proyección de las imágenes de rostros del entrenamiento sobre las Eigenfaces y se realizó el producto escalar de la imagen sobre cada una de las Eigenfaces.

- En la fase de reconocimiento, una vez que se obtuvo el vector de características, se determinó, del conjunto de imágenes entrenamiento, la más parecida a la imagen de prueba a partir de sus proyecciones.

- Finalmente, se comparó el vector de prueba y_{Pr} , formado por las proyecciones de la imagen de prueba sobre las Eigenfaces, con cada uno de los vectores del entrenamiento y_{En} y se utilizó la distancia euclidiana como criterio de decisión, es decir $|y_{Pr} - y_{En}|$.

Identificación mediante características de Haar

Las imágenes positivas y negativas de la base de datos de rostros de AT&T se encuentran almacenadas en dos carpetas, una llamada positivo y la otra negativo. Para la identificación mediante características de Haar, se usaron las imágenes positivas. Cada imagen positiva está en formato png, el tamaño de cada imagen es de 92x112 píxeles, con niveles de gris de 256 por píxel. Estas imágenes se organizan en 40 subcarpetas con 10 imágenes cada una, siendo un total de 400 imágenes de rostros con variaciones de luz, expresiones faciales y detalles como anteojos y vello facial. El nombre de la imagen positiva está formado por el prefijo "img_positiva_" seguido del identificador y extensión pgm (Portable Gray Map). En caso de no existir la carpeta, se crea una llamada positiva. El sistema despliega una ventana donde se puede observar la imagen capturada por la cámara de video, con el fin de mejorar resultados al momento de capturar el rostro, al presionar el usuario la letra "F", en el teclado del sistema seguida de "Enter", se realiza la captura y se convierte a escala de grises. Posteriormente, se identifican los rostros mediante las características de Haar para un único rostro con la menor distancia calculada, ya que pueden detectarse varios rostros en el fondo. En caso de reconocer un rostro, se elimina la información adicional, se redimensiona la imagen y se ecualiza el histograma para mejorar la calidad de la

imagen. A continuación, en la pantalla del sistema se despliega un mensaje indicando que se ha encontrado un rostro almacenado en el conjunto de entrenamiento de la carpeta "positivo". En caso contrario se muestra un mensaje indicando que no se encontró ningún rostro y se solicita revisar la imagen muestra.jpg para observar el resultado. Esta imagen se encuentra en la carpeta "positivo".

En el siguiente paso, se lleva a cabo el proceso de acondicionamiento y normalización geométrica de las imágenes recibidas del módulo anterior como se indica en la Figura 8.



Figura 8. Rostros capturados para el conjunto positivo de entrenamiento

Extracción de características

En este módulo se realiza la extracción de información asociada al rostro seleccionando regiones como ojos, nariz, boca, entre otros, para clasificar, a través de deformaciones, los cambios de forma y textura, utilizando las imágenes acondicionadas y normalizadas del módulo anterior. El sistema busca todas las imágenes en las carpetas del conjunto de entrenamiento "negativo" y "positivo". A continuación, se prepara la imagen en escala de grises e inicia la fase de entrenamiento, donde se crean las Eigenfaces de los conjuntos negativos y positivos y se almacenan los resultados en el archivo "resultEntrenamiento.xml".

Para observar los resultados del aprendizaje supervisado, se almacenan tres imágenes, la primera corresponde a la media de todas las imágenes tanto positivas como negativas, la segunda y tercera, mediante Eigenvectores, se obtienen las Eigenfaces del conjun-

to positivo de entrenamiento y las Eigenfaces del conjunto negativo, todas en formato png con dimensiones de 92x112 como se muestra en la Figura 9.

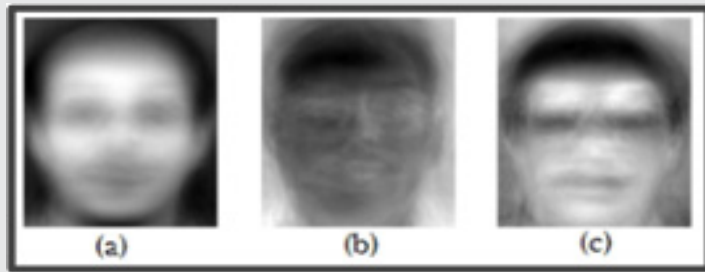


Figura 9. (a) Eigenface del promedio de rostros capturados.
(b) Eigenface de rostros del conjunto positivo.
(c) Eigenface de rostros del conjunto negativo.

Reconocimiento de imagen

Una vez obtenido el vector de características, en este módulo se leen los resultados del conjunto de entrenamiento, se reinicia la cámara y, al igual que el módulo de identificación mediante características de Haar, se inicia una ventana tipo espejo para mejorar los resultados al momento de la obtención de la imagen. El usuario debe presionar la letra "F" en el teclado seguida de "Enter" para realizar una captura de la imagen a comparar, y con esto iniciar el proceso con la conversión a escala de grises e identificación de los rostros mediante las características de Haar. En caso de no detectar un rostro en la base de datos, se despliega un mensaje en la pantalla y se pide revisar la imagen resultante. Si se detectó un rostro, éste se mapea, se lleva a cabo un proceso de normalización sobre la imagen y se compara con el archivo generado por el módulo de entrenamiento.

Autenticación del usuario

A partir del módulo anterior, se toma una decisión basándose en el umbral definido en el archivo llamado "configuracion.py" para detectar un rostro positivo/negativo y el cálculo de su veracidad. Si el rostro es positivo y la veracidad es menor que 3,000, el rostro habrá sido reconocido, en caso de que el rostro sea positivo y la veracidad sea mayor que 3,000, el rostro no habrá sido reconocido. Si se detecta un rostro negativo, cualquier otro independiente del conjunto de rostros negativos, se muestra en el sistema un mensaje indicando su veracidad y que el rostro no fue reconocido.

RESULTADOS

Para probar el alcance y obtener menor error en los resultados, la cantidad de imágenes muestreadas debe ser 40 para cada nuevo entrenamiento de la identificación como lo indican los resultados de la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados con diferentes muestreos de componentes.

Cantidad de imágenes	Eigenfaces	
	Aciertos (%)	Error (%)
1	9.06	90.94
5	89.21	10.79
10	96.07	3.93
15	97.79	2.21
20	97.79	2.21
40	98.28	1.47

Las imágenes del conjunto positivo fueron tomadas con una exposición de luz baja, media y alta, posteriormente procesadas por el conjunto de entrenamiento, en ese orden, y se observó que a mayor exposición de luz los resultados son mejores al momento de autenticar al usuario como muestra la Figura 10.

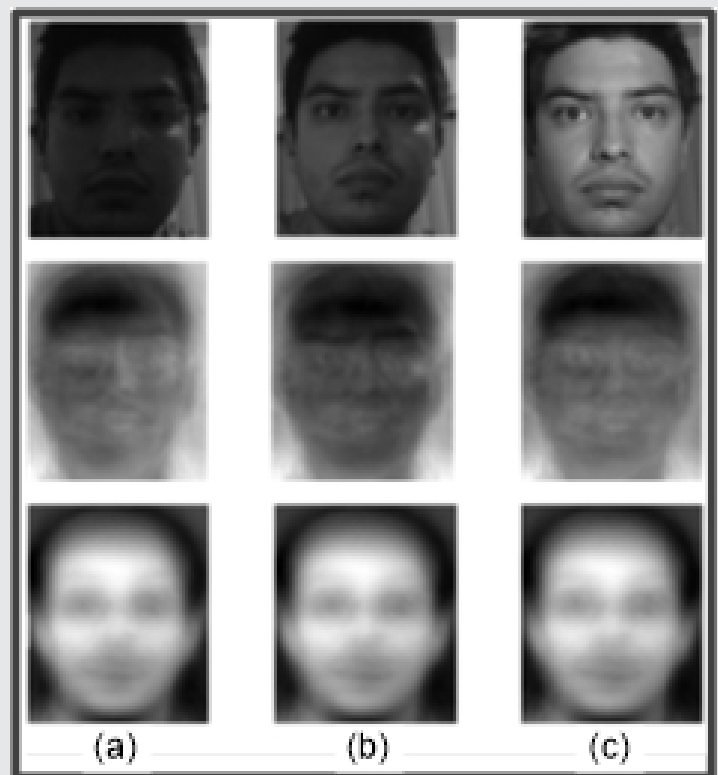


Figura 10. Rostro capturado, Eigenface positiva y media de:
(a) Capturas con poca exposición de luz.
(b) Capturas con exposición de luz media.
(c) Capturas con alta exposición de luz

En el sistema se capturaron 10 imágenes de usuarios identificados almacenándolas en la base de datos. Se inició el muestreo con 100 personas dentro de las que existían personas identificadas y no identificadas, obteniendo los resultados indicados en la Tabla.2

Tabla 2. Resultados con rostros identificados e intrusos.

Imágenes de Rostros	Muestras	Errores
Identificados	60	11
Intrusos	40	6
Total	100	17

CONCLUSIONES

Se obtuvo un sistema de reconocimiento facial para uso general, que captura la imagen del rostro de una persona a través de la cámara de video y determina si el rostro se encuentra en los registros de la base de datos almacenada en la memoria SD de la tarjeta Raspberry. Para la aplicación específica de identificación de intrusos se logró una precisión del 83% por las características de la luz donde se toman las capturas de las imágenes, ya que el algoritmo de Eigenfaces tiene como peculiaridad el error al capturar imágenes con poca luz. Se tiene planeado adicionar funciones a futuro al sistema construido, como por ejemplo el uso de actuadores para activar una alerta, abrir una puerta o generar un mensaje de texto. El tiempo de respuesta logrado en el sistema es 3 minutos en promedio y para tener un mejor procesamiento se debe seleccionar un sistema embebido con más recursos que el aquí empleado. En las pruebas realizadas se obtuvo una gran variación de resultados debido a diferentes exposiciones de luz, distancias, ángulo de posicionamiento y detalles faciales, por lo que obtener resultados precisos es difícil. Si bien existen algoritmos mucho complejos y difíciles de quebrantar, el algoritmo de Eigenfaces se presenta como un paso sencillo para realizar aplicaciones de visión por computadora y el reconocimiento de rostros.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Handa, A., Agarwal, R. y Kohli, N. (2016). A survey of face recognition techniques and comparative study of various bi-modal and multi-modal techniques. *En Proc. 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, pp. 274-279.

[2] Radhamani, V. y Dalin, G. (2018). A supporting survey to step into a novel approach for providing automated emotion recognition service in mobile phones. *En Proc. 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC)*, pp. 35-39.

[3] Srisuk, S. y Ongkittikul, S. (2017). Robust face recognition based on weighted DeepFace. *En Proc. International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, pp. 1-4.

[4] Wu, W., Liu, C. y Su, Z. (2017). Novel Real-time Face Recognition from Video Streams. *En Proc. International Conference on Computer Systems, Electronics and Control (ICCSEC)*, pp. 1149-1152.

[5] Qin, C., Bao, X. y Choudhury, R. R. (2014). TagSense: Leveraging Smartphones for Automatic Image Tagging. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 13, No. 1, pp. 61-74.

[6] Noble, F. K. (2016). Comparison of OpenCV's feature detectors and feature matchers. *En Proc. 23rd International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, pp. 1-6.

[7] Vaidya, B., Patel, A. y Panchal, A. (2017). Smart home automation with a unique door monitoring system for old age people using Python, OpenCV, Android and Raspberry pi. *En Proc. International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, pp. 82-86.

[8] Yan, X., Jing, G. y Cao, M. (2018). Research of Sub-Pixel Inner Diameter Measurement of Workpiece Based on OpenCV. *En Proc. International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*, pp. 370-373.

[9] Ma, S. y Bai, L. (2016). A face detection algorithm based on Adaboost and new Haar-Like feature. *En Proc. 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, pp. 651-654.

[10] Angaji, E. T. y Ebrahimi, S. A. (2017). Accelerating Haar wavelet transform with CUDA-GPU. *En Proc. 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD)*, pp. 791-796.

[11] Naidu, B. R. y Prasad-Babu, M. S. (2016). Development of a biometric authentication system based on HAAR transformation and Score Level Fusion. *En Proc. 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, pp. 1090-1093.

[12] Medak, T. R. y Ranga, S. K. (2014). Image processing platform on raspberry pi for face recognition, *Global Journal of Advanced Engineering Technologies*, Vol. 3, No. 4, pp. 441-444.

[13] Marijeta, S. y Dubravka, J. (2012). Face recognition using eigenface approach. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 121-130.

[14] Ramadhani, A. L., Musa, P. y Wibowo, E. P. (2017). Human face recognition application using

pca and eigenface approach. En Proc. Second International Conference on Informatics and Computing (ICIC), pp 1-5.

[15] H-Abdul-Azis, F. M., Nasrun, M. y Setianingsih, C. (2018). *Face recognition in night day using method eigenface. En Proc. International Conference on Signals and Systems (ICSigSys), pp. 103-108.*

[16] Reconocimiento de caras: Eigenfaces y fisherfaces. Consultada el 15 de Enero de 2018. <https://eva.fing.edu.uy/file.php/514/ARCHIV>

[17] Vu, L. G., Alsadoon, A. y Prasad, P. W. (2016). *Face recognition template in photo indexing: A proposal of hybrid Principal Component Analysis and triangular approach (PCAaTA). En Proc. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation (SSIAI), pp. 177-180.*



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Sistema web para la gestión de la producción del café colimense

RESUMEN: El cultivo del Café en México representa el 0.66% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola, a través de más de 500, 000 productores de 14 entidades federativas y 480 municipios. El estado de Colima es una de las entidades federativas dedicadas al cultivo del café, con el 0.19% de la superficie total nacional dedicada a este cultivo. Sin embargo, la producción del café en el estado se ve afectada por una deficiente organización, falta de tecnología y software para la gestión del control de la producción de éste. Por consiguiente, en este artículo se presenta un sistema web para la gestión de la producción del café colimense. Éste ha sido especificado a partir de las entrevistas con los actores involucrados para la definición de los requerimientos; siguiendo la metodología RUP para el desarrollo de software; utilizando el framework web CodeIgniter, el sistema de base de datos MySQL, HTML y CSS para el diseño y presentación de la interfaz gráfica de usuario. El desarrollo de este sistema web contribuye en un buen control de la gestión de la producción de café y se convierte en un factor vital para la creciente demanda, y competitividad en el sector cafetalero.

PALABRAS CLAVE: Sistema Web, Gestión de Producción, Café, Caficultura.



Colaboración

César Amador Sánchez; Patricia Elizabeth Figueroa Millán; Nicandro Farías Mendoza, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Colima

ABSTRACT: Coffee cultivation in Mexico represents 0.66% of the Gross Domestic Product (GDP), through more than 500,000 producers in 14 states and 480 municipalities. The state of Colima is one of the federal entities dedicated to the cultivation of coffee, with 0.19% of the total national area dedicated to this crop. However, the production of coffee in the state is affected by poor organization, lack of technology and software to manage the production of coffee. Therefore, this article presents a web system for the management of Colima coffee production. This has been specified from the interviews with the actors involved for the definition of the requirements; following the RUP methodology for software development; using the CodeIgniter web framework, the MySQL database system, HTML and CSS for the design and presentation of the graphical user interface. The development of this web system contributes to a good control of coffee production management and becomes a vital factor for the growing demand and competitiveness in the coffee sector.

KEYWORDS: Web System, Production Management, Coffee, Coffee growing

INTRODUCCIÓN

La utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el sector agrícola ha cambiado el modo de trabajo de los agricultores y del personal en éste [1], contribuyendo a su desarrollo integral y sostenible de las operaciones. A pesar de ello, los procesos de producción se pueden ver afectados por dos factores importantes: una gestión deficiente en el control de la producción y por la carencia de un sistema de información que permita a los productores tomar decisiones informadas. Por ende, el sector cafetalero en México es uno de los sectores afectados por estos factores. Éste está constituido por 14 entidades federativas y 480 municipios, a través de más de 500 000 productores [2]. Ocupa en

la actualidad el noveno lugar a nivel mundial en producción de café, ya que su producción decayó en casi un 50% en los últimos años, debido a los bajos precios en el mercado mundial y a la incidencia de la roya (hongo fitoparásito del cafeto). Ante esto, se ha reactivado la política pública con la finalidad de reactivar el sector cafetalero a través de políticas gubernamentales encaminadas a: la plantación de nuevas variedades resistentes a la roya, ayuda financiera para la plantación de nuevos cafetos y obtención de acceso a asistencia tecnológica [3]. Por otro lado, el estado de Colima es una de las principales entidades productoras de café en México, distribuyendo su producción a través de 783 productores en los municipios de Comala, Cuauhtémoc, Minatitlán, Villa de Álvarez y Manzanillo. La producción de café es de gran importancia en el estado, ya que forma parte de los dieciocho sistemas productos agrícolas, dando sustento a más de ochocientas familias de forma directa. No obstante, en el estado de Colima, se detectó entre otras cosas, una deficiente organización para la producción [4].

Teniendo en cuenta lo anterior, la utilización de tecnologías de información en el sector cafetalero puede ofrecer a los productores grandes ventajas y facilidades en sus actividades diarias, permitiendo controlar los procesos de producción y la toma de decisiones informadas. El valor de una mejor información y un sistema de información mejorado para la gestión de la cadena de suministro, proporciona una base sólida para la toma de decisiones, permitiendo el descubrimiento de oportunidades de generación de ingresos [5]. En este contexto de la cadena de suministros se aplica el concepto de trazabilidad, el cual es definido como la habilidad para rastrear y seguir el camino de un alimento, pienso, o sustancia que pretende convertirse en parte de un alimento a través de todas las etapas de producción, procesamiento y distribución. La trazabilidad es actualmente un concepto clave en el sector agroalimentario, siendo un medio de competitividad y racionalización de los sistemas de producción, permitiendo la mejora de la producción de productos de calidad [6]. Sin embargo, los sistemas de información para cadenas de suministros basadas en productos agrícolas necesitan ser colocados en contexto, es decir, especificados considerando las particularidades de cada cadena de suministros. Por lo cual, una implementación efectiva de un sistema de trazabilidad incrementa la satisfacción de los consumidores, mejora la cadena de suministro y los requisitos legales y de mercado [7].

Actualmente existen diversas soluciones tecnológicas para esto; sin embargo, éstas están enfocadas al sector agrícola en general y no orientadas al sector cafetalero propiamente. Estas soluciones son:

CINFO: sistema de información basado en Internet para productos de alto valor agrícola, el cual propor-

ciona información a lo largo del flujo de la cadena de suministro [8].

Sismagro: software orientado a la producción y gestión agrícola, enfocado a guardar la trazabilidad de costos e insumos [9].

Agroptima: software diseñado para las labores agrícolas utilizando cuadernos de campo para registrar cada una de las actividades diarias [10].

Kaam Hortofrutícola ERP-Trazabilidad: software para gestión de procesos de campo, maquinarias, costos, acopio y trazabilidad, hasta el producto terminado [11].

Se ha constatado a través de un análisis cualitativo de las funcionalidades de estas herramientas, que la gestión de la producción de café tiene requerimientos funcionales y no funcionales muy específicos; por lo cual, estas soluciones se ven limitadas ante la gestión de la producción del café en todas sus etapas, desde la cosecha hasta la venta. Por consiguiente, este trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar una aplicación web auxiliar a los productores, centros de acopio (CA) y a la organización integradora de éstos, llamada Organizaciones de Productores de Café Colimense S.A. de C.V (OPCC), para la gestión de la producción del café colimense. Atendiendo así, las necesidades del sector Cafetalero del estado de Colima para mejorar los procesos de producción a través de un proceso de gestión automatizado tecnológicamente. Este sistema web permite la generación de códigos QR, así como formularios para la captura de información arrojada por los procesos de acopio, beneficios, empaque, almacenamiento y venta del café en el estado.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología empleada para llevar a cabo el desarrollo del sistema web para la gestión de la producción del café colimense se fundamenta en una investigación mixta, la cual se describe a continuación:

Investigación documental: se investigaron las fases involucradas en la producción del café, establecidas por las buenas prácticas agrícolas para el café [12], siendo las siguientes:

Recepción del café cereza (cc): es la fase en que el cc es enviado a los lugares donde se separarán las cerezas maduras de las verdes y secas, para comenzar con la etapa de despulpe.

Beneficio húmedo: es la fase en que el cc madura en café pergamino y que consiste de las siguientes fases: el devanado de flores, detección y separación de las cerezas secas, dañadas y sobre maduras; el despulpado, remoción de la cáscara de los granos de café y

de la mayor parte de la pulpa; el prelavado y despumillado, eliminación de la pulpa suelta, tierra e impurezas; la fermentación, descomposición y desprendimiento del mucilago a través de la fermentación; el lavado final, eliminación por completo del mucilago del café pergamino y el secado, disminución de la humedad en el grano para su almacenamiento.

Envasado del café pergamino: el café pergamino seco es almacenado en costales de yute con aproximadamente 57.5 kilogramos, guardando un 12% de humedad.

Almacenamiento: el café es almacenado en un almacén bien orientado, ventilados y relativamente oscuros en una zona fresca y seca.

Investigación de campo: Se visitaron los 10 centros de acopio del estado, así como la OPCC, lo que permitió constatar las etapas de producción del café, así como los requerimientos y limitaciones propios de los centros de acopio y de la OPCC, constatando la necesidad de un sistema web para el control de la gestión de la producción del café.

Procesamiento y análisis de datos: la información recolectada fue analizada y procesada para llevar a cabo la definición de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.

Modelado: El modelado del sistema se llevó a cabo a través de la definición de las siguientes clases: productor, representa a los productores de café; cliente, representa a los clientes finales; organización, representa a la OPCC y a los CA; venta, representa a las operación de venta nacional e internacional; compra, representa la compra del cc en los CA; beneficios, representa las etapas del beneficio húmedo y seco del proceso de producción; jornales, representa los gastos adquiridos con el personal que labora en los centros de acopio. Dando como resultado el diseño conceptual del sistema UML, utilizando la herramienta Enterprise Architect.

Implementación: La implementación de las clases, objetos y métodos relacionados se implementaron utilizando herramientas de programación orientadas a estas tecnologías, tales como PHP, JavaScript y CSS, utilizando el framework Bootstrap y Codeigniter, para agilizar el desarrollo del front-end y back-end.

Pruebas: se aplicaron diversas pruebas de caja negra y caja blanca al código del sistema, para garantizar que cumple con los requisitos planteados. Además, se realizaron pruebas con la finalidad de comprobar el incremento en la rentabilidad en la producción de café en el estado de Colima, para lo cual se estableció un período de evaluación de seis meses previo a la implementación del sistema y seis meses posteriores a

la implementación de éste utilizando la métrica "Tiempo de Ciclo" (Cycle Time).

Despliegue: El sistema web fue alojado en servidores de acceso remoto, en los cuales mediante un contrato expreso se definieron las políticas de acceso y conectividad inherentes a la operación de este producto informático.

Validación: La validación y verificación se encuentra actualmente en proceso; sin embargo, en cada uno de los CA en conjunto con la OPCC, se ha implementado la infraestructura necesaria con el objetivo de alcanzar el total funcionamiento del sistema, para obtener de esta manera los datos correctamente validados en cada una de las operaciones realizadas.

Los pasos descritos anteriormente se enmarcaron en cada una de las fases de la metodología de Proceso Racional Unificado (RUP, de sus siglas en inglés) con la finalidad de iniciar el proceso de ingeniería de software. La Figura 1 ilustra esta metodología, la cual sigue un enfoque disciplinario para asignar y administrar tareas y responsabilidades en el desarrollo de software [13].

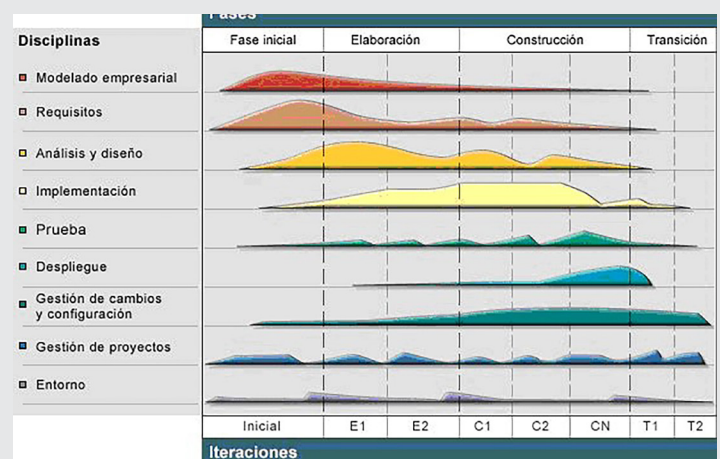


Figura 1 Metodología RUP

La fase de inicio responde a los objetivos planteados, factibilidad y costos. La fase de elaboración analiza el dominio del problema, establece los cimientos de la arquitectura, desarrolla el plan del proyecto y se eliminan los mayores riesgos. La etapa de construcción logra la capacidad operacional del producto en forma incremental a través de interacciones sucesivas. En la etapa de transición, se pone el producto en las manos de los usuarios finales, permitiendo la validación del producto, siendo necesario desarrollar varias versiones actualizadas de éste.

RESULTADOS

Como resultado de la investigación documental y de campo, se logró desarrollar un sistema web para la gestión de la producción del café colimense, el cual se implementó a través del uso del framework web

Codelgniter y MySQL para el backend del sistema y el framework Bootstrap para el diseño y presentación del frontend del sistema. Éste contiene una serie de catálogos en los cuales son concentrados datos esenciales en la producción de café, como son: la organización, empleados, productores, productos, clientes, estados, municipios, localidades, sistema de producción, enfermedades, plagas y periodos, logrando con esto una gestión integral.

El sistema permite a la OPCC visualizar la existencia y condiciones reales del café en la región, logrando con esto agilizar los procesos de venta nacional e internacional del café (ver Figura 2).

Tipo de café	Calidad	Cantidad
PERGAMINO	PRIMERA	2515 KGRS.
PERGAMINO	SEGUNDA	350 KGRS.
TOSTADO AMERICANO MOLIDO	BOLSA 1/2 KG	16
TOSTADO AMERICANO MOLIDO	BOLSA 1 KG	88

Organizaciones de Productores de Café Colimense S.A. de C.V.

Figura 2 Existencias de café en el estado de Colima

Por otro lado, permite visualizar la cantidad de predios, la variedad de café, el estatus y la vigencia de cada uno de éstos. Registrar los datos referentes del proceso de compra del café que se realiza en cada uno de los CA. Gestionar el proceso de beneficio húmedo en cada una de sus etapas, como se puede observar en la Figura 3.

Entrada a pila	Salida de pila	Entrada a patio	Salida de patio	Kgs de entrada a pila	Kgs de salida a patio	Estatus
2018-03-16	2018-03-19	2018-03-19	2018-03-20	150KGS	20KGS	COMPLETO
2018-08-23	2018-08-24	2018-08-24	2018-08-28	200KGS	170KGS	COMPLETO

Figura 3 Bitácora de beneficio húmedo

De igual manera, permite gestionar el proceso de beneficio seco del café (Figura 4), mostrando las fechas de entrada y de salida de este proceso, así como los kilogramos a utilizar y el estatus que determina la etapa interna en la que se encuentra el producto.

Entrada de BS	Salida de BS	kgs a utilizar	Estatus	Organización
2017-07-19	2017-07-21	350KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936
2017-07-19	2017-07-20	50KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936
2017-07-20	2017-07-21	50KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936
2017-07-20	2017-07-21	50KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936
2017-07-20	2017-07-21	50KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936
2017-07-20	2017-07-21	50KGS	COMPLETO	FUNDACIÓN EJIDAL 1936

Figura 4 Bitácora de beneficio seco

Además permite gestionar el producto almacenado, la cantidad en kilogramos existente y calidad de éste en cada uno de los CA. Permitiendo además, que esta información sea gestionada a nivel estatal por la OPCC, mostrando la movilización de sacos de café entre cada uno de los CA (ver Figura 5).

Nombre de producto	Calidad	Cantidad Kgrs	Mover
CEREZA	PRIMERA	500	[Mover]
CEREZA	SEGUNDA	150	[Mover]
PERGAMINO	PRIMERA	1350	[Mover]
PERGAMINO	SEGUNDA	250	[Mover]
ESPUMILLA	GENERAL	25	[Mover]
FLOTE	GENERAL	150	[Mover]

Figura 5 Almacenes de centros de acopio

La venta del café es una de las etapas de la producción del café que se ve más afectada por una gestión deficiente debido a que no se tiene la información de existencias, clientes, productores y demás factores que intervienen en la producción a nivel estatal; por lo cual, el sistema web contempla las ventas a clientes nacionales e internacionales, adoptando contratos para que no exista deserción de compradores potenciales, como se puede ver en la Figura 6.

Figura 6 Venta de café calidad nacional a granel

Finalmente, como parte de la trazabilidad de la producción del café, el sistema proporciona la generación de códigos QR (Figura 7), permitiendo identificar el país, estado, municipio y número de huerto como se establece en el manual de buenas prácticas para la trazabilidad de productos hortofrutícolas [14].



Figura 7 Códigos QR generados en la venta

Adicionalmente, el sistema permite visualizar como parte de la gestión financiera en la OPCC, los préstamos concedidos por los bancos o por instituciones gubernamentales.

Finalmente, se realizó un análisis de las ventas de café en el estado de Colima con la finalidad de comprobar si el sistema propuesto en esta investigación permite incrementar la rentabilidad de la producción del café en el estado. Para esto, se analizaron los datos de las bitácoras manuales de los CA con los datos arrojados por el sistema, permitiendo realizar una comparación en las ventas antes y después de la implementación del sistema, dando como resultado el incremento de certeza en la cantidad de producto almacenado, así como el incremento del volumen de ventas a nivel na-

cional e internacional. Esto se logró a través de la métrica "Tiempo de ciclo" (Cycle Time), la cual mide el promedio sobre un período de tiempo definido.

Como se puede observar en la Figura 8, se logró incrementar las compras de café en un 13%, disminuir la pérdida de café durante el proceso de producción en un 44% e incrementar las ventas en un 17%.

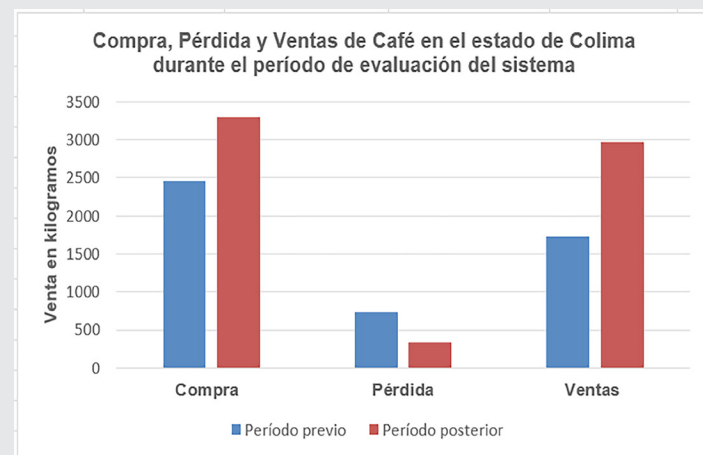


Figura 8 Compra, pérdida y ventas del café en el estado de Colima antes y después de la implementación del sistema.

CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un sistema web que permite automatizar tecnológicamente la gestión de los procesos de acopio, beneficios, empackado y venta de café en el Estado de Colima. Con el desarrollo de este sistema, se adquirió información sobre la producción de café, logrando una perspectiva regional de las organizaciones, funciones y operaciones del sector cafetalero en el estado. Sustentando así, el desarrollo de este trabajo de investigación.

El sistema web para la Gestión del Café Colimense es una aplicación que innova en el sector cafetalero del estado de Colima, permitiendo el registro de las actividades cotidianas de la producción de café, posibilitando que cada uno de los integrantes en el proceso productivo (productores, administradores y operadores) conozcan la gestión completa del proceso de producción, dando seguimiento a la cadena de producción, a través de la creación de códigos QR conforme a la normatividad oficial nacional.

Con el desarrollo de este sistema, al automatizarse los procesos de producción, se podrán lograr certificaciones de calidad o de buenas prácticas que el mercado nacional e internacional exige, gracias a un control estricto de cada proceso, ya que éste proporciona una gestión hacia adelante, interna y hacia atrás.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. M. y. M. M. Adriana Pérez, «Impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Agricultura,» 01 Marzo 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.redalyc.org/html/1932/193215885002/>.
- [2] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, «Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030,» 11 septiembre 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.gob.mx/sagarpa/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030>.
- [3] Organización Internacional del Café, «Informe del Mercado del Café mayo 2018,» 01 mayo 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0518-c.pdf>.
- [4] Comisión Estatal del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural, «Plan Estratégico para la Operación Anual del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural del Estado de Colima,» 10 05 2013. [En línea]. Disponible: http://www.inca.gob.mx/webfiles/planes-estrat-e/plan_estrategico_col.pdf.
- [5] T. O. S. K. J. Norbert Niederhauser, «Information and its management for differentiation of agricultural products: The example of specialty coffee,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, n° 2, pp. 241-253, 2008.
- [6] G. G. C. M. a. L. S. Gianfranco Cerullo, «Efficient Supply Chain Management: traceability and transparency,» de 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS) 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), NaplesNaples, 2016.
- [7] A. H. M. I. K. M. H. A. A. A.-A. Shahbaz Khan, «Implementing Traceability Systems in Specific Supply Chain Management (SCM) through Critical Success Factors (CSFs),» *Sustainability*, vol. 10, n° 204, pp. 1-26, 2018.
- [8] N Robert Niederhauser, *Internet Based Product Tracking and Information System for Coffee and Other High Value Crops*, Austria: Thesis, Information and Communication Engineering, Vorarlberg University of Applied Sciences, 2004, p. 76.
- [9] SISMAGRO Software Agropecuario, «Descubrí las funcionalidades de Sismagro,» [En línea]. Disponible: <https://www.sismagro.com/funcionalidades-de-sismagro/>. [Último acceso: 21 enero 2018].
- [10] AGROPTIMA, «Una nueva forma de trabajar en el campo,» [En línea]. Disponible: <https://www.agroptima.com/es/funcionalidades/>. [Último acceso: 21 enero 2018].
- [11] AQUA eSOLUTIONS, «Máxima rentabilidad en los procesos de fabricación, a través de una completa y potente solución,» [En línea]. Disponible: <https://www.aquaesolutions.com/SR/AF/Software-Gestion-Produccion-Aqua>. [Último acceso: 21 enero 2018].
- [12] A. M. REDD+, «Café Sustentable manual de buenas practicas para la producción de café sustentable,» 24 febrero 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorio-digital/items/show/520>.
- [13] P. Kruchten, «The Rational Unified Process and Introduction Third Edition,» 15 mayo 2004. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=RYCMx6o47pMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Rational+Unified+Process&ots=h2dl-CUJ6Tj&sig=GFcidu-O0IzvT9ENq856gbm-tr6k#v=onepage&q=Rational%20Unified%20Process&f=false>.
- [14] SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD, INOCUIDAD Y CALIDAD, «Sistema de Trazabilidad de productos Hortofrutícolas para consumo en fresco de los Estados Unidos Mexicanos,» 2010. [En línea]. Disponible: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/120192/Manual_de_Trazabilidad_de_Productos_Hortofrut_colas_para_consumo_en_fresco_de_los_Estados_Unidos_Mexicanos.pdf.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Gestor integral de casas hogar para adultos mayores (GICHAM)

RESUMEN: Los adultos mayores en el estado de Colima representan el 6.2 % de la población; no obstante, se estima un aumento del 45% en el índice de envejecimiento para el 2030, incrementando la demanda de casas hogar para adultos mayores, las cuales deben ofrecer asistencia, salud, nutrición y recreación. La calidad de sus servicios se ve afectada por la falta de un sistema de información de gestión integral que permita acceder de manera oportuna a la información arrojada por cada uno de estos servicios. Por consiguiente, en este artículo se presenta un Gestor Integral de Casas Hogar para Adultos Mayores (GICHAM), el cual ha sido desarrollado utilizando la metodología de Proceso Unificado Ágil (PUA). Este sistema sistematiza los procesos y servicios que influyen directamente con la atención del adulto mayor, permitiendo que la información arrojada por éstos pueda ser consultada de manera permanente por los profesionales de la casa hogar, permitiendo visualizar las actividades del día respecto a cuidados, salud y alimentación, emitir notificaciones de eventos especiales y gestionar los recursos financieros obtenidos a través de donaciones, logrando con esto una gestión integral y el mejoramiento de los procesos de atención eficiente y eficaz de las necesidades del adulto mayor.

PALABRAS CLAVE: sistema de información



Colaboración

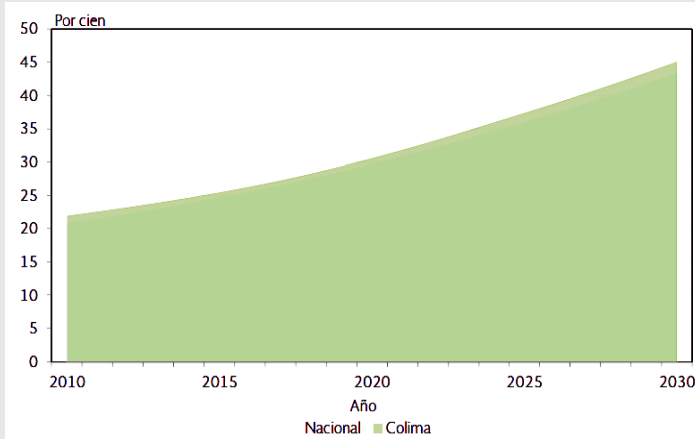
Jesús Uriel Chávez Rodríguez; Rigoberto Ramírez Vega; Ramona Evelia Chávez Valdez; Francisco Cervantes Zambrano; Patricia Elizabeth Figueroa Millán, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

ABSTRACT: Older adults represent only the 6.2% of the population of the state of Colima, México. However, a rise of 45% in the aging index for 2030 is estimated, which would increase the demand for residential care, offering services like assistance, health, nutrition and recreation. Nevertheless, the quality of its services is affected by the lack of an integral management system that allows access in a timely manner to the information generated by these services. Therefore, this paper depicts an Integral Manager for Adult Foster Cares (GICHAM), developed using the Agile Unified Process (PUA) methodology. The system systematizes processes and services that directly infer in the caring of older adults, allowing permanent access from information generated by these services to residential care professionals. It also allows visualizing day activities, regarding care, health and feeding, issuing special event notifications, and financial resource management. Thus, achieving an integrated management of adult foster care homes and improving of processes involved in the attention of needs for older adults.

KEYWORDS: system information.

INTRODUCCIÓN

Los adultos mayores son uno de los grupos más vulnerables en la sociedad, ya que a su edad se disminuyen significativamente sus capacidades físicas y cognitivas, representando actualmente el 6.2% de la población del estado de Colima [1]; sin embargo, debido al cambio demográfico, se prevé un incremento del 45% en el índice de envejecimiento para el 2030 (ver Gráfica 1) [2].



Gráfica 1 Colima. Índice de envejecimiento, 2010-2030 Toma de Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2014)

Por ende, la tendencia social señala un aumento en la demanda de las casas hogar para adultos mayores, que cubran a través de un servicio integral las necesidades de éstos como salud, nutrición, recreación y asistencia, proporcionando servicios de geriatría. La geriatría es definida por Ávila en [3], como la "rama de la medicina dedicada a los aspectos preventivos, clínicos, terapéuticos y sociales en los adultos mayores con alguna condición aguda, crónica, tributaria o de rehabilitación, o en situación terminal". Sin embargo, la calidad de los servicios ofrecidos por las casas hogar en la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez se ve afectada por una insuficiencia tecnológica que permita de manera automatizada realizar una gestión integral de los servicios ofrecidos por las casas hogar para adultos mayores, ya que actualmente, la gestión geriátrica y administrativa de los servicios y procesos de las casas hogar se realiza manualmente, sin normalización y sujetos al criterio de los profesionales que intervienen.

Por lo tanto, es necesario la implementación de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) en las casas hogar, con la finalidad de sistematizar y mejorar los procesos de atención a los adultos mayores, considerando que en la actualidad existe un amplio consenso de que las TICs proporcionan información simple y soluciones lineales a problemas sociales complejos [4]. Resolviendo así la problemática presentada, a través del mejoramiento de la comunicación de los profesionales respecto a la asistencia y cuidado de los adultos mayores, lo cual permitirá reducir: el tiempo en la adquisición de la información, los niveles de asistencia, la energía destinada al cuidado del adulto mayor, la dificultad de las tareas realizadas por los profesionales y la seguridad en la realización de los procesos geriátricos.

Debido a lo anterior, este proyecto realiza el análisis y estudio de las casas hogares para adultos mayores de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez del

estado de Colima, México, que carecen de las TICs para la sistematización y mejora de los procesos de atención de los adultos mayores. Éstas operan bajo la figura de patronatos, y prestan el servicio en dos modalidades: asilo y estancia de día; recibiendo adultos mayores con diferentes características, asignándoles con respecto a éstas los espacios y la asistencia geriátrica requerida.

La solución a la problemática presentada se logra a través de la implementación de un Gestor Integral de Casas Hogar para Adultos Mayores (GICHAM) presentado en este trabajo de investigación, el cual permite sistematizar los procesos y servicios que infieren con la atención de los adultos mayores, visualizar las actividades el día, emitir notificaciones de eventos especiales y gestionar los recursos financieros, logrando con esto la gestión integral y el mejoramiento de los procesos de atención del adulto mayor de manera eficiente y eficaz. Además, este sistema considera los requerimientos de cada una de las casas hogar de la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez, permitiendo la interacción permanente con el sistema de geriatras, enfermeras, terapeutas, cuidadores, cocineras, directivos y el tutor del adulto mayor.

Actualmente existen diversas soluciones tecnológicas para esto como Gerosalus [5] y Greengeriatric [6]; sin embargo, la principal limitación de estas herramientas es la alta inversión que representa la adquisición de éstas para las casas hogar del área conurbada, ya que son soluciones extranjeras que se venden en otro tipo de moneda y que además, no se adecuan al contexto de las casas hogar en el estado de Colima.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este proyecto de investigación aplicada, se apoyó en una metodología mixta fundamentada en los siguientes pasos:

- Investigación documental. Se buscó en fuentes oficiales información sobre las Casas Hogar para Adultos Mayores o Centros de Atención Geriátricos en la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez, arrojando como resultado seis casas hogar.
- Investigación de campo. Se visitaron dos casas hogar, permitiendo identificar la problemática presentada, en virtud de que no hay un expediente integral del asilado que pueda ser consultado de manera permanente por todos los profesionales que lo atienden para una atención más oportuna, constatando así la necesidad de un sistema de gestión integral para la gestión geriátrica y administrativa de los servicios y procesos de las casas hogar para adultos mayores.
- Etapa exploratoria. Se recorrieron físicamente las casas hogar, se conocieron las instalaciones, se escuchó a los empleados y se aplicaron entrevistas individuales y colectivas con todos los profesionales

que participan en la atención del asilado, obteniendo con esto el flujo detallado de comunicación e interacción entre los profesionales y el asilado, así como las etapas de todos los procesos involucrados en la asistencia y atención geriátrica del adulto mayor.

Limitaciones. Se identificaron las limitaciones del contexto, principalmente la ausencia de procesos documentados, de tecnología de información y comunicación, y de alfabetización digital en parte del personal.

- **Procesamiento y análisis de datos.** los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema se definieron e implementaron a través de entrevistas colectivas e individuales realizadas a los profesionales que intervienen en todos los procesos de atención al adulto mayor, identificando con esto, el flujo de información en cada uno de los procesos, permitiendo la aplicación de la metodología de desarrollo de Proceso Unificado Ágil (PUA) [7], para el desarrollo de software, a fin de iniciar el proceso de ingeniería de software del sistema GICHAM. La figura 1 ilustra la metodología PUA, que Ambler en [8] considera "en serie para lo grande" e "interactiva para lo pequeño"; esta considera cuatro fases y nueve disciplinas; cada fase puede tener una o más iteraciones dependiendo de las características del proyecto y en cada iteración se ejecutan las disciplinas consideradas.

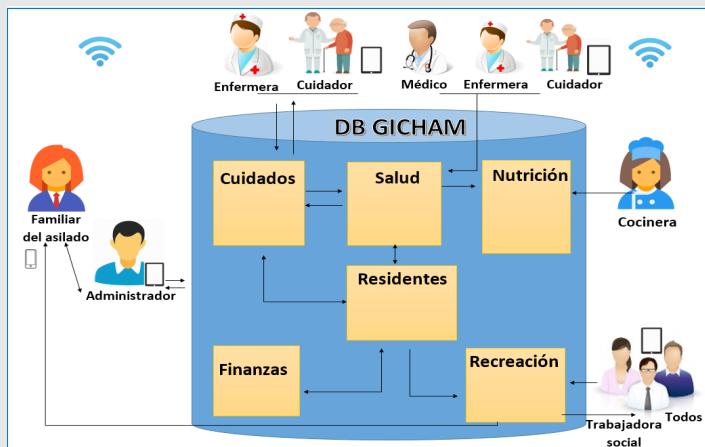


Figura 1 Metodología PUA. Tomado de (ENKY solutions, s.f.)

Por tratarse de un proyecto pequeño, la aplicación del PUA permitió en cada iteración las actividades de:

- **Modelado:** donde se elaboraron los diagramas UML de casos de uso, requisitos, clases, datos, interfaces y despliegue, a través de la herramienta de modelado Enterprise Architect Project.
- **Implementación:** los modelos UML se tradujeron a código, a través de la utilización de PHP versión 7 y MySQL 5.63 para el desarrollo del backend y HTML 5 para el desarrollo del frontend.
- **Pruebas:** se aplicaron diversas pruebas de caja negra y caja blanca al código del sistema, para garanti-

zar que cumple con los requisitos planteados.

- **Despliegue:** se han realizado entregas incrementales a los administradores de las casas hogar y por razones de infraestructura de cómputo se continúa en fase de pre-producción.
- **Configuración y administración del proyecto:** el seguimiento ha sido permanente, con reuniones periódicas de retroalimentación.
- **Administración del ambiente:** se proporcionó al equipo las herramientas necesarias para el desarrollo del sistema.

RESULTADOS

Como resultado de la investigación, tanto documental como de campo, se logró desarrollar un Gestor Integral de Casas Hogar para Adultos Mayores, cuyo aspecto clave es el uso de las TICs para evaluar las necesidades médicas y sociales de los adultos mayores en las casas hogar, así como la prestación de asistencia oportuna. La arquitectura conceptual del sistema GICHAM, se ilustra en la Figura 2, la cual está constituida por cinco módulos: el módulo de cuidados, el módulo de salud, el módulo de residentes, el módulo de nutrición y el módulo de recreación.

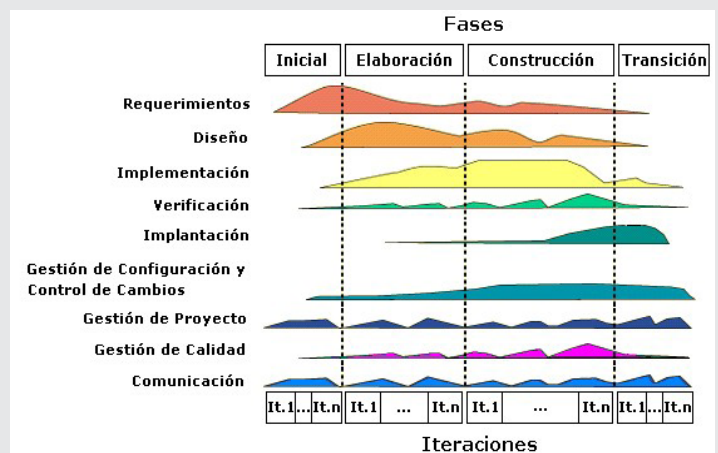


Figura 2 Modelo conceptual del sistema GICHAM

Los módulos del sistema GICHAM se desarrollaron a través del uso de HTML 5.0, PHP 7 y MySQL, logrando obtener con esto un sistema web que permite gestionar los procesos geriátricos y de atención de las casas hogar para adultos mayores de manera integral (ver Figura 3).

La Figura 3 ilustra el módulo de cuidados, permite mantener bitácoras de los cuidados de los adultos mayores, administración de medicamentos y notificaciones para el suministro de éstos; el módulo de salud, permite notificar y administrar las citas médicas de cada uno de los adultos mayores; el módulo de residentes, mantiene el expediente del adulto mayor; el módulo de nutrición, permite realizar la gestión de las compras de alimentos y la gestión del menú

alimenticio tanto para adultos diabéticos como no diabéticos; el módulo de recreación, el cual permite gestionar la agenda en cuanto a cumpleaños y eventos recreativos y finalmente el módulo de administración, el cual permite gestionar las cuotas y donativos realizados a la casa hogar.



Figura 3 Módulos del Gestor Integral de Casas Hogar para Adultos Mayores.

En consecuencia, este sistema permite mejorar la comunicación entre los profesionales que intervienen en la atención del asilado, permitiendo visualizar las indicaciones o recomendaciones que realiza cada uno de los profesionales dentro de sus facultades, logrando así brindar un mejor servicio y la optimización de los procesos geriátricos realizados en la casa hogar. Por ejemplo, las cuidadoras de los diferentes turnos reportan las incidencias sobre la salud de los asilados a su cargo y efectúan efectivamente las recomendaciones establecidas en cuanto a dieta, medicación y asistencia para cada uno de los asilados. El personal de cocina puede desplegar los menús diarios y prever las raciones para cada tipo de dieta que se tiene que elaborar. Los geriatras reciben las notificaciones necesarias para revisar a los asilados que estén enfermos y realizar recomendaciones que podrán consultar enfermeras o cocineras. Así, las enfermeras llevan sus bitácoras de seguimiento diario, registran las citas externas y agregan recetas y análisis médicos al expediente. El área de trabajo social programa la agenda de actividades recreativas para que los familiares de los asilados puedan incorporarse a una o más actividades; también pueden llevar el control de cumpleaños de los asilados, y realizar notificaciones a sus familiares a fin de aumentar las visitas en ese día, considerando que la parte afectiva es la mejor motivación que se les provee.

Además, GICHAM, permite gestionar de manera integral los expedientes de cada uno de los adultos mayores, logrando con esto tener un punto único de gestión automatizada de los expedientes de los residentes de la casa hogar (ver Figura 4 y Figura 5).



Figura 4 Módulo para la gestión de expedientes de los residentes de la casa hogar.



Figura 5 Expediente del residente de la casa hogar.

Además, el sistema implementa un módulo de finanzas, cuya finalidad es controlar y transparentar el recurso que se ingresa a las casas hogar, ya sea por donativos externos o donativos del asilado o su familiar. Este módulo permite una mayor proyección de los recursos para la mejora de las casas hogar.

Como parte de la automatización de los procesos, se implementaron diversas notificaciones por área, permitiendo la notificación sobre el estado de salud de los residentes de manera oportuna, ya que dicha notificación puede ser visualizada por cada uno de los profesionales que intervienen en la atención del adulto mayor.

A su vez, el sistema permite publicar actualizaciones a todas las áreas cuando el médico geriatra sugiere algún cambio en la dieta, asistencia y cuidados del adulto mayor, permitiendo con esto una atención oportuna y eficaz. Además, emite notificaciones por correo electrónico o al celular registrado por el fami-

liar sobre el cumpleaños del asilado, a fin de que ese día sea especial para el adulto mayor.

GICHAM permite la interacción de los profesionales y facilita la atención del asilado, en virtud de que avisa sobre situaciones tan sencillas como la falta de artículos de aseo personal, la asistencia a las terapias físicas en el lugar o externas, hasta el seguimiento inmediato de la salud y la alimentación.

CONCLUSIONES

GICHAM permite dar atención oportuna a los adultos mayores que asisten o residen en alguna casa hogar, con la intención de mejorar en algún grado su calidad de vida. Así, todos los profesionales que intervienen en su atención pueden dar seguimiento permanente al cuidado y desarrollo de actividades del asilado, a fin de tener indicadores más completos y confiables acerca de la atención personalizada que brindan. Además, se permite enlazar la participación del familiar, en algunos casos para proveer de productos de cuidado personal al asilado cuando éstos se agotan, y en todas para recordarle el cumpleaños del asilado, a fin de que éste se motive.

En conclusión, el sistema GICHAM logra mejorar significativamente la gestión de las casas hogar para adultos mayores, destacando las siguientes contribuciones:

- Generación de bitácoras digitales de los cuidados de los adultos mayores.
- Notificación de la administración de medicamentos a los adultos mayores.
- Administración de citas médicas.
- Generación de un expediente electrónico de cada uno de los adultos mayores.
- Gestión del menú alimenticio y dieta de cada uno de los adultos mayores.
- Gestión financiera de la casa hogar.
- Mejoramiento de los procesos geriátricos y de atención a los adultos mayores de la casa hogar.
- Mejoramiento del flujo de comunicación entre los profesionales que intervienen en el cuidado de los adultos mayores de la casa hogar.

GICHAM está proyectado como un sistema de información genérico que podrá adaptarse a otras casas hogar, en virtud de que los procesos que se manejan son similares.

En el futuro se sugiere que el sistema mejore la comunicación con donadores, voluntarios e instituciones que apoyan la parte financiera y de asistencia social, a fin de tener la programación de recursos y actividades sistematizada, eliminando dependencia de atención y reduciendo tiempos a los administradores de las casas hogar.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M. H. S. S. & A. A. Yingqin Zheng, «*Conceptualizing development in information and communication technology for development (ICT4D)*,» *Information Technology for Development*, pp. 1-14, 2017.

[2] S. Ambler, «*The Agile Unified Process (AUP)*,» 2006. [En línea]. Disponible: www.ambysoft.com/unifiedprocess/agileUP.html.

[3] F. M. Ávila Fematt, «*Definición y objetivos de geriatría*,» 06 Mayo 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.medigraphic.com/pdfs/residente/rr-2010/rr102b.pdf>.

[4] C. N. d. P. (CONAPO), «*Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030*,» Abril 2014. [En línea]. Disponible: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Cuadernos/06_Cuadernillo_Colima.pdf.

[5] ENKY solutions., «*RUP*,» [En línea]. Available: ENKY solutions IT, Process & outsourcing Consulting: http://www.enky.cl/?page_id=678.

[6] Gerosalus, «*El software para la gestión de residencias y centros de día*,» 27 Julio 2018. [En línea]. Disponible: <http://www.gerosalus.com/DefaultSalus.aspx/>.

[7] Greengeriatric, «*Greengeriatric, software especializado para atención geriátrica*,» 27 Julio 2018. [En línea]. Disponible: <https://geriatric.greensoft.es/es/presentacion/>.

[8] I. N. d. E. y. G. (INEGI), «*Mapa Digital De México - [paquete cartográfico 2010]*» Colima, Colima, 2010.

[9] R. Pressman, *Ingeniería del software*, México: Mc Graw Hill., 2010.

Agradecimientos

En especial al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Colima por mantener el Verano de Formación de Jóvenes Investigadores como un espacio donde se puede iniciar en el proceso formal de la investigación aplicada.



Ciencias *de la* Computación

Ingeniantes

Arquitectura de conectividad de los pueblos originarios, un caso de éxito en la aplicación de la arquitectura de conectividad en red en Mecatlán, San Luis Potosí, México



Colaboración

María José Aradillas, Universidad Intercultural de San Luis Potosí; Juan Antonio Cabrera Rico, Universidad Politécnica de San Luis Potosí

RESUMEN: El presente caso de estudio presenta el proyecto de interconexión a Internet a través de fibra óptica de la Universidad Intercultural ubicada en Mecatlán, en el municipio de Tamazunchale en el estado de San Luis Potosí. El proyecto muestra los principales logros tanto en materia de conectividad como en el uso y productos generados a partir de que los docentes y estudiantes de la Universidad han logrado. Los cambios en la forma en que se desarrollan las labores docentes y académicas a partir del acceso a Internet han mejorado sustancialmente y se han apropiado de herramientas tecnológicas que les permiten adoptar conocimientos de frontera.

PALABRAS CLAVE: Conectividad, Innovación educativa, internet, pueblos indígenas, tecnología.

ABSTRACT: This case study presents the proposed interconnection to the Internet services via optical fiber for the Intercultural University located in Mecatlán, in the municipality of Tamazunchale in the state of San Luis Potosi. The project shows the main achievements both in connectivity and the use and products generated from the teachers and students of the University have achieved. Changes in the way the academic teaching assignments and develop from the Internet have improved substantially and have appropriate technological tools that allow them to adopt cutting-edge knowledge.

KEYWORDS: Connectivity, educative innovation, Internet, Indigenous people, information technology.

INTRODUCCIÓN

Acorde a datos del Censo de Población y Vivienda 2010 realizado por el INEGI a nivel nacional el 6.5 por ciento de la población es hablante de alguna lengua originaria, en el Estado de San Luis Potosí habitan las culturas Náhuatl, Tének y Xi'oi, así como el tránsito de los Wixárika, conforman un 10.7 por ciento de población hablante de idioma originario en el Estado potosino; es importante destacar que en el municipio de Tamazunchale el 44.3 por ciento es hablante de alguna variante lingüística yuto-nahua y/o maya (1).

El municipio de Tamazunchale se ubica en la micro-región huasteca sur, es una zona densamente poblada con pulverización de asentamientos, la población indígena se desenvuelve en la zona de montaña con paisaje tropical; tiene un alto índice de marginación en tanto el índice de Desarrollo Humano es de 0.6945, es un municipio de contrastes con una riqueza cultural a la par de un alto nivel de marginación (2).

La Educación Superior es un agente de cambio para mejorar las condiciones de desarrollo en la huasteca sur del estado potosino, con esta premisa en el 2011 se crea la Universidad Intercultural de San Luis Potosí (UICSLP) de la fusión de las extintas Universidades Comunitaria e Indígena de San Luis Potosí. La estructura de esta nueva institución se integra por Unidades Académicas, una de las cuales se ubica en la comunidad de Mecatlán y sus barrios cuya clave INEGI es 240370053; la operación de esta sede comienza el 13 de agosto de 2001.

La ubicación de la sede de la UICSLP en la localidad de Mecatlán deriva en que el poblado es considerado una de las 7 localidades estratégicas del municipio de Tamazunchale; en gran medida por su ubicación geográfica donde confluyen otras comunidades para realizar actividades económicas, de salud, académicas y culturales.

En dicha comunidad se presenta la problemática de la no existencia de empresas de telecomunicaciones por lo que no se cuenta con el servicio de Internet, lo que conlleva el nulo acceso de la Institución al servicio de Internet, considerado un derecho universal.

El objetivo de la investigación se concreta en llevar a cabo la interconexión de la Universidad Intercultural en Mecatlán desde la cabecera municipal de Tamazunchale con una distancia de 8 kilómetros utilizando enlaces de fibras ópticas para llevar el servicio de Internet a la institución.

METODOLOGÍA

Derivado del compromiso institucional de la universidad se realizó gestiones para lograr la inversión que propiciará la conectividad llevando el servicio de telefonía e internet a la Unidad Académica de Tamazunchale; lo anterior por medio de la canalización de fibra óptica en 7.5 kilómetros distancia que conecta la comunidad con la cabecera municipal.

En esta actividad, se involucró a la comunidad en la planificación y en la realización del proyecto denominado "Conectividad y equipamiento para favorecer el desarrollo con identidad de los pueblos originales en las Unidades Académicas de la Universidad Intercultural de San Luis Potosí que atienden a población indígena en zona huasteca" donde se explora el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Lo anterior en gran medida retoma los datos de los informes del SITEAL que revelan el desafío común en el continente para la construcción de los modelos de incorporación de las TIC en las agendas de políticas educativas de cada uno de los países latinoamericanos con vistas a disminuir las brechas existentes y garantizar el derecho a la educación de la población.



Figura 1. Ubicación de las localidades de Tamazunchale y Mecatlán, en el estado de San Luis Potosí.

El conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla de un lugar a otro (TIC) implica muchísimas vertientes, entre ellas "superar la brecha digital constituye un desafío para las políticas educativas de los países latinoamericanos, ya que la incorporación de las TIC en los distintos sistemas educativos se configura como una estrategia central para generar nuevas oportunidades de aprendizaje para aquellas personas que no tienen acceso a Internet en sus hogares" (SITEAL, 2012).

Entonces, según Sunkel y Trucco (2012), la integración de las tecnologías de la información y comunicación en los sistemas educativos a fin de contribuir a la inclusión social y la reducción de la brecha digital, incluye por lo menos 3 puntos en común:

- La consideración de la educación como un área estratégica para la reducción de la brecha digital;
- El uso de los sistemas de educación formal como ámbito privilegiado para la implementación de políticas públicas destinadas a promover la democratización del acceso a las TIC; y
- El reconocimiento de los diferentes momentos y grados de desarrollo en que se encuentra el proceso de inclusión digital en las instituciones educativas a la llegada de las iniciativas.

El centro de incubación para la aplicación de las TIC en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí se da a través de la Unidad Académica Tamazunchale que tiene una zona de influencia de 49 localidades, de las investigaciones realizadas se concluyó que no se tiene la infraestructura y equipos necesarios para impartir

adecuadamente los contenidos en nivel medio superior y superior en la región en instituciones dirigidas a población indígena.

Según el Informe sobre tendencias sociales y educativas en América Latina que abarca las Políticas TIC en los Sistemas Educativos de la región, elaborado en el marco del proyecto SITEAL de la UNESCO “las nuevas prácticas asociadas con las tecnologías llegaron incluso a aquellas escuelas donde todavía no ingresaron los dispositivos electrónicos. En territorios donde las políticas de informatización de la educación aún no han sido desplegadas, ingresa a las aulas a través de los estudiantes, de sus modos de vivir, de ver el mundo, de la mano de sus subjetividades, modeladas en la tecnología digital”⁴

Como consiguiente, dicha premisa establece de la obligatoriedad de las instituciones educativas de atender necesidades que los jóvenes estudiantes muchas veces aún ni siquiera saben que tienen; sobre el desarrollo de capacidades cada vez más complejas que implican el conocimiento de nuevas formas de organización y construcción del entorno que los rodea, ir más allá de la simple memorización o acumulación de información.

RESULTADOS

Así para acercar las TIC al contexto de la UICSLP el 2 de julio de 2012 se firma el convenio de colaboración entre la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) y la universidad por medio del cual se establecen las bases y mecanismos de colaboración para el desarrollo de acciones conjuntas entre ambas instituciones a fin de implementar el proyecto denominado “Conectividad y equipamiento para favorecer el desarrollo con identidad de los pueblos originales en las Unidades Académicas de la Universidad Intercultural de San Luis Potosí que atienden a población indígena en zona huasteca”

El propósito del citado proyecto incluye dotar a la sede de Tamazunchale con la infraestructura, equipamiento, capacitación y mantenimiento de la arquitectura de conectividad que permitirá desarrollar acciones integradas hacia la disminución de las brechas digitales entre las comunidades académicas indígenas.

Lo que permitirá promover el respeto a los derechos lingüísticos y culturales de los indígenas, fortalecer el reconocimiento de sus manifestaciones artísticas y de sus saberes y conocimientos tradicionales; asimismo constituirá la base de mejora de la vinculación de las comunidades académicas-indígenas con redes de investigación, foros de reflexión y la sociedad del conocimiento a través de las nuevas TIC.

El proyecto esta sustentado por las líneas de acción establecidas en el Programa Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas 2007-2012 de la CDI me-

dante el cual se contempla el establecimiento de acciones para superar los rezagos sociales que afectan a la población indígena, reconocer, promover y valorar la diversidad cultural y lingüística, contribuir en el rescate y difusión de las expresiones y manifestaciones culturales de los pueblos y comunidades, entre otros.

INNOVACIÓN EN LA SOLUCIÓN

Derivado del análisis de las condiciones orográficas donde se ubica la Unidad Académica de Tamazunchale se diseñó una estrategia que consistía en, a partir de un punto en zona urbana donde se tenga acceso a internet, instalar un sistema de cableado de fibra óptica mediante obra civil de canalización a fin de retransmitir el servicio al otro extremo a través de aproximadamente 7.5 kilómetros y cumpliendo con la normatividad vigente establecida en la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, así como permisos en la Junta Estatal de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.



Figura 2. Despliegue de cable de fibra óptica a través de un puente en carretera Tamazunchale Mecatlán.

La instalación de la estructura que alberga el módem que provee el servicio de Internet se encuentra en la oficina de la supervisión de secundarias generales de la zona XX ubicada en la col. Los Tamarindos en la cabecera municipal de Tamazunchale.

A partir de ese punto se colocó un enlace de fibra óptica de 7.5 km a través del suministro y tendido de tubería PAD con 90 registros de block de 50 x 50 x 70cm, así como dos switch de 24 puertos Ethernet, un UPS para aula y nodo en unidad. De esta infraestructura se utilizó los hilos 1 y 2 de fibra óptica para transmisión/recepción respectivamente del punto origen, con 10 hilos disponibles para el crecimiento; lo que, gracias a dicha capacidad instalada, perfila la expansión del tema de conectividad y permite la sustentabilidad a largo plazo de la obra.

Para la realización de los trabajos derivados del proyecto se contó con el apoyo de la Junta Estatal de

Caminos (JEC) y el Ayuntamiento de Tamazunchale 2012-2015 para las autorizaciones de uso y cambio de suelos, utilización del derecho de vía entre otras.

La importancia de esta solución obedece a llevar una topología de enlace punto a punto entre dos comunidades remotas a través de fibras ópticas multimodo, siempre bajo la normatividad vigente. Se recalca que esta topología es innovadora debido a que la mayoría de los proyectos que se tienen documentados se basan principalmente en enlaces de microondas terrestres y utilizando bandas de frecuencias de uso libre en los 2,400 MHz o 5,800 MHz (donde no se requiere concesión ni permiso por parte de la autoridad) y que bajo estas circunstancias de clima y topografía los equipos suelen presentar daños constantes debido a la alta temperatura y a la humedad constante.

Todos los trabajos fueron transparentados por el comité de contraloría social integrado por las autoridades de la comunidad de Mecatlán. En total el monto autorizado por parte de CDI, para la implementación del proyecto fue de \$1,504,180.00 este recurso se destinó para generar un proceso de inclusión digital en la UICSLP, la conclusión de los trabajos de la obra se dio el 17 de mayo de 2013, permitiendo así tener servicio de internet y telefonía a la Unidad Académica de Tamazunchale.

Los primeros productos en materia de tecnologías de la información y que son el resultado del proyecto:

- Acceso por parte del personal y estudiantes de la institución en Mecatlán a la Red Social Institucional (www.facebook.com/uicslp.tamazunchale), perfil en red social cuyo objetivo es dar a conocer los trabajos académicos y culturales de la Unidad Académica para generar posicionamiento en la región y coadyuvar a los trabajos de promoción y captación de matrícula.
- Desarrollo y descarga de la aplicación web (www.uicslp.edu.mx/WebApp), versión móvil del sitio web institucional por parte del personal y estudiantes de la institución en Mecatlán.
- Acceso por parte de los estudiantes y docentes de Mecatlán a la plataforma educativa Moodle (www.uicslp-moodle.mx); plataforma virtual para la realización de actividades académicas a distancia.

Además de conexiones vía Skype con las Unidades Académicas de la zona huasteca para compartir videoconferencias realizadas con colaboradores externos; destacando entre las principales las efectuadas con el Maestro Israel Guevara Nava desde Las Vegas, Nevada, abordando el tema de las funciones de un experto en turismo y el papel primordial que éste juega en el desarrollo de una economía como la regional; se tuvo también, desde la Cd. de México, la participación del Maestro Gilberto Guzmán Otero, director del Colegio de Líderes de la fundación Miguel Ángel Cornejo compartiendo su experiencia en temas de liderazgo.

Para poder hablar de inclusión resulta indispensable definir el término “brecha digital”, la cual hace referencia a las diferentes condiciones socioeconómicas entre aquellas poblaciones con acceso a los beneficios de la Sociedad de la Información y las que no, implicando también desigualdades en referencia al acceso a las tecnologías de la información y comunicación y su consecuente capacidad para utilizar las TIC de forma eficaz.

La utilización de las TIC en la Unidad Académica de Mecatlán pretende elevar la calidad educativa, reforzar la capacitación de personal docente y la consecuente vinculación entre las comunidades académicas. Derivado de lo anterior se verán reducidas las desigualdades regionales de género y entre grupos sociales; al modernizar y ampliar la infraestructura educativa.

El binomio impulso - fortaleza para el desarrollo y la utilización de nuevas tecnologías en los entornos educativos reduce la brecha existente entre aquellos que sí cuentan con acceso suficiente y completo a las tecnologías de la información y los que no.

A la fecha se ha ejecutado la primera fase de este proyecto, mismo que ha permitido el acceso a servicios de voz y datos en la Unidad Académica beneficiando directamente a una comunidad universitaria de 140 personas; con eso se concretó el primer periodo cuyo propósito ha sentado las bases para la consecución de la vinculación entre comunidades académicas.

A fin de contar con datos que permitieran la generación de un comparativo de forma cuantitativa entre la situación actual y el antecedente histórico se estructuraron modelos de encuestas dirigidas a alumnos, docentes y personal administrativo; se presentan a continuación los resultados de mayor impacto para el proyecto en cada uno de los modelos.

El primer material se tituló “Cuestionario para personal administrativo”. Tuvo como objetivo “conocer la opinión del personal administrativo de la Unidad Académica Tamazunchale respecto del impacto en sus labores producto de la implementación de la primera fase del proyecto “Conectividad y equipamiento para favorecer el desarrollo con identidad de los pueblos originales en las Unidades Académicas de la Universidad Intercultural de San Luis Potosí””.

Aplicándose a 4 integrantes de la plantilla administrativa, el 100% de los encuestados argumentaron la utilización de la conectividad vía internet como indispensable para la realización de sus tareas, así como una cuantificable mejoría en las tareas inherentes de puestos de control y directivos para el envío y recepción de información, a la par de la optimización de recursos materiales y humanos producto de la mejora en los canales de comunicación y la toma de decisiones.

Las opiniones del alumnado se concentraron en el instrumento "Cuestionario para alumnos" presentando respuestas afirmativas del 100% al cuestionamiento de la utilización de la conectividad vía internet para actividades académicas, así como un porcentaje igualitario de aseveraciones que externan el ahorro de recurso económico al utilizar el servicio en el Campus.

Los posicionamientos del personal docente respecto al proyecto no se dejaron de lado, plasmándose éstos en los resultados de aplicación del instrumento "Cuestionario para docentes"; el 100% de los encuestados reflejan una percepción positiva en el mejoramiento de las actividades académicas y complementarias en las asignaturas asignadas a partir del inicio del servicio de conectividad vía internet, además que el mismo porcentaje externa el considerable ahorro de recursos económicos y de tiempos al poder acceder al servicio en la unidad académica.

INICIATIVAS Y TRABAJOS RELACIONADOS

Existen diferentes estrategias para disminuir la brecha digital en diferentes lugares del mundo; como ejemplos podemos citar:

Google a través de su proyecto Google Station, donde se busca brindar acceso gratuito a Internet a sus usuarios.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de las iniciativas Punto México Conectado (referencia), así como del proyecto de interconexión de escuelas a través de infraestructura subcontratada.

Fundación Telmex en donde además del equipamiento de un centro de cómputo se busca brindar la conectividad del centro educativo beneficiado.

Fundación Televisa donde principalmente se equipa con tecnologías de la información a los centros de cómputo de las escuelas del nivel básico.

Por otro lado, existen iniciativas que son de carácter individual ya sea por una misma comunidad o por un sistema educativo o por un mismo centro educativo el cual se encuentra incomunicado.

Sin embargo, cada proyecto de conectividad que desea llevarse a cabo y principalmente en zonas de alta marginación, se desarrolla en forma particular, ya que las características propias de cada comunidad representan una complejidad diferente.

CONCLUSIONES

En general, los resultados de los 3 instrumentos hacen constar que el poder acceder a la infraestructura y equipo necesarios para la conectividad vía voz y datos por medio de fibra óptica en las instalaciones de la Unidad Académica Tamazunchale ha permitido que a la par se hayan dado avances considerables en los

siguientes aspectos:

- La eficiencia de los procesos académico- administrativos de la sede,
- La migración a otros canales de comunicación más transversales, eficientes y específicos en la estructura de la Unidad Académica.
- El incremento del uso de las TIC en las aulas.
- La revitalización de los lazos de comunicación y colaboración con personas e instituciones externas; y
- El inicio en los trabajos de investigación y desarrollo de nuevas herramientas digitales en la Unidad Académica.

Estos elementos son tan versátiles que ha permitido implementar nuevas estrategias de promoción y captación de matrícula, entre los que se menciona el desarrollo de talleres de corta duración dirigidos a estudiantes de nivel medio superior para impartirse durante visitas que éstos realicen a las instalaciones del Campus, así como conferencias especializadas cuyo público objetivo son los docentes de nivel básico y medio.

En un mediano plazo se trabajó en el diseño de estrategias y herramientas que garanticen una mayor optimización de los recursos digitales por medio de una implementación óptima de los mismos, vía jornadas académicas de investigación e intercambios, logrando así parámetros de conectividad segura aún en los entornos más exigentes, tanto dentro del Campus como entre otras Unidades Académicas e individuos y entidades externas.

Al conjuntar la misión y visión institucionales con el objetivo del proyecto, y tomando como base la capacidad instalada, física y digital, en la Unidad Académica Tamazunchale, producto del mismo y de la posterior inversión que en materia se ha realizado, a la vez tomando como base las perspectivas, a corto, mediano y largo plazo presentadas, puede determinarse la correcta aplicación de la primera etapa del proyecto; así, puede asegurarse que la continuidad de etapas posteriores del mismo proyecto u otros de temática similar ayudaría a aterrizar instrumentos que disminuyan las brechas existentes en la región.

BIBLIOGRAFÍA

[1] INEGI. (n.d.). *Hablantes de lengua indígena en México. de la página electrónica: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/lindigena.aspx?tema=P>*

[2] UNIDAD DE MICRORREGIONES DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE PLANEACIÓN MICRORREGIONAL. (2013). *de la página electrónica: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=24&mun=037>*

[3] México. Universidad Intercultural de San Luis Potosí. (2017). *La Universidad Intercultural de San Luis Potosí. San Luis Potosí.*

[4] SITEAL. (2014). *Informe Sobre Tendencias Sociales y Educativas en América Latina*. de la página electrónica: <http://www.siteal.iipe-oei.org/contenido/515>

México. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2017). *Datos abiertos, Infraestructura de telecomunicaciones*. Ciudad de México.

México. Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2018). *Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión*. Ciudad de México.

Paola Sanoni Chamorro. (2012). Perú. *Memoria del proyecto EHAS-@Lis*. Grupo de telecomunicaciones rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Laurel Evelyn Dyson, Max Hendrix & Stephen Grant. (2007). *Indigenous people and information technologies: issues and perspectives*. (pp. 14-28). USA.

México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Tecnologías de la información y comunicaciones. TICs en hogares*. De la página electrónica <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/ticshogares/>

México. Consejo Nacional e Población. (2018). *La distribución territorial de la población en México*. De la página electrónica <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/la-distribucion-territorial-de-la-poblacion>



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Metodología para la medición del pensamiento sistémico en empresas manufactureras en México

RESUMEN: En el ámbito de las empresas de manufactura a nivel mundial se enfrentan al reto de mitigar los efectos al incorporar nuevas tecnologías en sus procesos, en la Industria Mexicana se requiere de nuevas habilidades en los equipos de trabajo, conexión clara entre el desarrollo, automatización y las necesidades de capacitación para operarlas, el propósito del presente artículo es realizar una investigación exploratoria utilizando pensamiento sistémico, se contempla la población de los departamentos de Ingeniería, Introducción de nuevos programas, Calidad, Operaciones, Planeación, Materiales, Finanzas y Recursos Humanos de empresas manufactureras de la zona conurbada de Reynosa Tamaulipas México, obteniendo una muestra del personal de supervisión a directivo, apoyándose de la herramienta Escala de Pensamiento Sistémico (STS) integrando 20 atributos agrupados en 3 dimensiones (Interrelación, lugar de atención y Flexibilidad), para su posterior procesamiento utilizando la herramienta LimeSurvey, el objetivo es medir el pensamiento sistémico de los individuos (locus de atención, interrelación de tareas y flexibilidad) en la gestión de ingeniería e introducción de nuevas tecnologías en la industria manufacturera y validar su confiabilidad.

PALABRAS CLAVE: Ingeniería, Manufactura, Pensamiento Sistémico, Proyectos, Tecnología.



Colaboración

Eduardo Ernesto Cisneros Lascuráin, Universidad Internacional Iberoamericana; Miguel Ángel Cohuo Ávila; Elsy Verónica Martín Calderón; Wendy Argentina Cetina López; Mayra Pacheco Cardín, Instituto Tecnológico Superior de Calkini

ABSTRACT: In the field of manufacturing companies worldwide, they face the challenge of mitigating the effects of incorporating new technologies into their processes, in the Mexican Industry new skills are required in the work teams, clear connection between development, automation and training needs to operate them, the purpose of this article is to conduct exploratory research using systems thinking, the population of the departments of Engineering, Introduction of new programs, Quality, Operations, Planning, Materials, Finance and Human Resources of companies is contemplated manufacturers of the metropolitan area of Reynosa Tamaulipas Mexico, obtaining a sample of supervisory personnel to management, relying on the tool Systemic Thinking Scale (STS) integrating 20 attributes grouped into 3 dimensions (Interrelation, place of attention and Flexibility), for further processing using the LimeSurvey tool, the objective is to measure the systemic thinking of individuals (locus of attention, interrelation of tasks and flexibility) in engineering management and introduction of new technologies in the manufacturing industry and validate their reliability.

KEYWORDS: Engineering, Manufacturing, Projects, Systems Thinking, Technology.

INTRODUCCIÓN

El panorama de las organizaciones y el personal de ingeniería en ellas dedicado a la introducción de nuevas tecnologías es drásticamente cambiante a través del tiempo. La American Society for Engineering Management (ASEM, por sus siglas en inglés) define la gestión de la ingeniería como "el arte y la ciencia de planificar, organizar, asignar recursos y dirigir y controlar actividades que tienen un componente tecnológico". El entorno en el que las organizaciones y

sus miembros operan ha evolucionado significativamente desde la creación de esta sociedad.

En el actual entorno de gestión de la ingeniería se requiere [1] una lucha constante con: (1) proliferación de sistemas y tecnologías intensivos en información; (2) múltiples interesados con perspectivas potencialmente divergentes y agendas impulsadas políticamente; (3) recursos disponibles para el apoyo a las misiones escasos y dinámicamente cambiantes; (4) cambios constantes en los requisitos y el contexto de ejecución, (5) avances tecnológicos que superan las capacidades y compatibilidad potencial de las infraestructuras necesarias para apoyar su desarrollo, (6) urgencia para la reconfiguración inmediata y sensible para hacer frente a los cambios en los supuestos operativos; (7) creación de perspectivas a largo plazo para hacer frente a las crisis emergentes haciendo prácticamente inocuas las formas tradicionales de planificación; (8) las complejidades e incertidumbres crecientes son una regla y no una excepción y, (9) Operaciones tenues en el mejor de los casos. Estas características no son propensas a disminuir en un futuro próximo y, por el contrario, es más probable que aumenten en gravedad. El éxito de las futuras generaciones de líderes de ingeniería estará directamente vinculado a su capacidad de afrontar con eficacia este nuevo mundo.

En este artículo se describe la utilización de la Escala de Pensamiento Sistémico (EPS, o STS por las siglas en inglés de System Thinking Scale) para entender el estado del pensamiento sistémico entre el personal de la industria manufacturera y así tratar de manera eficaz el dominio del problema cada vez más complejo. Las preguntas en la encuesta capturan las tres dimensiones [2] que se propone son los componentes de este constructo los cuales definen como:

Interrelación: la toma de decisiones exitosa por parte de los administradores requiere una apreciación de la interconexión de las partes de una tarea o problema. El conocimiento de teorías y modelos es parte de la dimensión de "Conocimiento conceptual" [3] que permite al aprendiz entender cómo funciona un sistema. Una simulación empresarial holística proporciona numerosas oportunidades para que las personas prueben sus habilidades de toma de decisiones. Los individuos responden cada período a circunstancias determinadas por sus propias decisiones, así como a las de otras empresas en la industria. Los administradores deben considerar cómo las decisiones de marketing, operaciones, finanzas y administración se afectan mutuamente, así como el conjunto total de decisiones influye en el rendimiento general de la organización. Esta dimensión se captura en el inventario de la EPS a través de varias declaraciones que evalúan cómo los administradores perciben la relación entre el todo y las partes.

Lugar de atención: esta dimensión se refiere a lo que se enfoca un tomador de decisiones al tomar decisiones.

Algunas personas se centran en las partes de una tarea cuando desarrollan una respuesta, mientras que otras toman la información y la procesan en un contexto holístico [4]. El pensamiento sistémico requiere un enfoque más holístico: la capacidad de ver toda la tarea con cualidades y características distintas de sus partes. En dos estudios que utilizaron una simulación de negocios como herramienta, hubo diferencias en las percepciones cognitivas holísticas en la industria [5] y una relación positiva persistente entre el pensamiento sistémico y el desempeño durante varios períodos [6]. Esta dimensión se captura en el inventario de EPS a través de varias preguntas que evalúan a qué prestan atención los administradores mientras realizan tareas.

Flexibilidad: además de pensar de manera holística y ver la relación entre los diversos componentes de una tarea o problema, un pensador sistémico también debe ser creativo y responder a las condiciones cambiantes mientras resuelve problemas. Esto significa tener la capacidad y la voluntad de ser flexible en su enfoque para resolver problemas. A medida que las organizaciones se esfuerzan por seguir siendo relevantes, los líderes exitosos a menudo enmarcan las situaciones que enfrentan de una manera que permite flexibilidad [7]. No es raro que los tomadores de decisiones con experiencia desarrollen una gama de respuestas apropiadas para un problema dado. Estas experiencias o "scripts" se adquieren a lo largo del tiempo y se almacenan en la memoria, para recuperarlos posteriormente. Esto aumenta la flexibilidad del estilo de toma de decisiones de un gerente y puede llevar a una mayor capacidad de ser creativo en la solución de problemas [8]. No es la situación de toma de decisiones rutinaria la que requiere flexibilidad tanto como la atípica, lo que hace que un líder busque en su variedad de experiencias pasadas para llegar a una gama de posibles soluciones. Por lo tanto, una escala que mide el pensamiento sistémico debe incluir una tercera dimensión que llama "flexibilidad" [2]. Este componente se captura en el inventario de EPS a través de varias preguntas que evalúan el grado de rigidez de los administradores para completar las tareas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología.

En este estudio se evaluaron las habilidades de pensamiento sistémico de una muestra de empleados de nivel supervisión a directivo de industrias manufactureras.

La población incluye al personal administrativo de los departamentos de Ingeniería, Introducción de nuevos programas: calidad, operaciones, planeación, materiales, finanzas y recursos humanos de empresas manufactureras de la zona conurbada de Reynosa Tamaulipas México.

Para este estudio se selecciona una muestra con varianza desconocida, pues se trata de un estudio con un diseño de investigación exploratorio. Tabla 1 [9].

Tabla 1. Selección de la muestra. Elaboración propia.

Característica	Valor
Universo	Normal
Población con distribución	0.9
Tamaño de la población	11075
Error de muestreo	0.1
Tamaño requerido	66.83 $\approx$ 67

Se usó una Escala de Pensamiento Sistémico (EPS) de 20 ítems [10] abarcando tres dimensiones del pensamiento sistémico. Se integró por 20 atributos (ítems) agrupados en tres dimensiones: Interrelación, lugar de atención y Flexibilidad. Se utilizó la escala de Likert que mide actitudes o predisposiciones individuales en contextos sociales particulares [11], tomando una escala de 1 a 5, donde: 1 = muy en desacuerdo, 2 = bastante en desacuerdo, 3 = algo en desacuerdo, 4 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 5 = algo de acuerdo, 6 bastante de acuerdo y 7 muy de acuerdo.

Para la aplicación de la encuesta se recurrió a la herramienta LimeSurvey instalada en un host propio, este cuestionario se administró a 68 personas (muestra) de la industria maquiladora de nivel supervisor o superior.

Los datos se analizaron para determinar la estructura factorial y la validez de las dimensiones mediante el análisis de confiabilidad y el análisis factorial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El comprender el proceso de pensamiento de quienes toman las decisiones puede ayudar a explicar la calidad de las soluciones que ofrecen y si existe alguna relación entre el estilo de pensamiento y el desempeño [8].

A pesar de la inversión de las compañías de manufactura en investigación y desarrollo, existe por lo general una divergencia persistente y problemática en la rapidez con que se pueden introducir nuevos productos en el mercado, típicamente incluye una combinación de tiempos de ajuste del diseño, de desarrollo de los procesos y la fabricación así como la rapidez con que los cambios de diseño o las modificaciones de los productos existentes pueden implementarse a través de procesos de documentación y producción de volumen ya que se enfrentan a retos en la gestión del conocimiento, estructuras organizacionales inadecuadas y resistencia al cambio por parte del personal. En un tiempo de competencia global demandante, la distancia entre la promesa técnica y el cumplimiento genuino de las expectativas es un asunto especialmente grave. Por esto es necesario entender los retos claves que los administradores responsables se enfrentan al momento de implementar nueva tecnología en la industria.

Con ese fin, el objetivo de la investigación descrita en este artículo es identificar el nivel de pensamiento sistémico de los individuos antes del uso de una simulación de computadora empresarial total. La Escala de Pensamiento Sistémico (EPS) mide las tres dimensiones del pensamiento sistémico: locus de atención, interrelación de tareas y flexibilidad.

RESULTADOS

Abordando los ítems importantes y haciendo referencia a la explicación de la tabla 2 se exponen los resultados del análisis descriptivo de los ítems (medias), las cuales fueron obtenidas mediante el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)®.

Considerando las dimensiones evaluadas y los resultados del análisis descriptivo de los ítems [11], así como la puntuación es entre 1 (muy en desacuerdo) y 7 (totalmente de acuerdo) se tiene que las medias más sobresalientes fueron:

En la dimensión de Lugar de atención: "creo que la comprensión de cómo ocurre la cadena de eventos es crucial" ($\bar{x}$ =6.48) y "veo más allá de un evento específico para determinar la causa del problema" ($\bar{x}$ =6.47).

Para la dimensión de Interrelación el ítems más importantes fue: "creo que pequeños cambios pueden producir resultados importantes" ($\bar{x}$ =6.39).

Finalmente para la dimensión de flexibilidad con una media de 6.38 ($\bar{x}$ =6.38) el ítems fue: "intento estrategias que no dependen de la memoria de las personas"

Por otra parte, los factores que peor fueron evaluados por la muestra son:

En primera instancia y dentro de la dimensión de lugar de atención en la de: "considero las relaciones entre los compañeros de trabajo en la unidad de trabajo." Con media de 5.53;

Como segundo término se encontró el ítem: "considero la historia pasada y la cultura de la unidad de trabajo" ($\bar{x}$ =5.58) que se encuentra en la dimensión de flexibilidad.

El tercer punto resultó ser: "busco el punto de vista de todos sobre la situación" con media de $\bar{x}$ =5.64 la cual se ubica en la dimensión de lugar de atención.

Para el cuarto y quinto lugar dentro de la dimensión de Flexibilidad quedaron los ítems:

"Reconozco que los problemas del sistema están influenciados por hechos pasados" ($\bar{x}$ =5.70) y "considero que la misma acción puede tener efectos diferentes a lo largo del tiempo, dependiendo del estado del sistema" ($\bar{x}$ =5.75).

Tabla 2. Resultados del análisis descriptivo.
Elaboración propia.

Dimensión	Ítems		Media
Lugar de atención	1	Busco el punto de vista de todos sobre la situación	5.64
	2	Veo más allá de un evento específico para determinar la causa del problema.	6.47
	3	Creo que la comprensión de cómo ocurre la cadena de eventos es crucial	6.48
	4	Incluyo a personas de mi unidad de trabajo para encontrar una solución.	6.14
	5	Creo que los patrones recurrentes son más importantes que cualquier evento específico.	6.06
	6	Pienso en el problema en cuestión como una serie de problemas conectados.	5.67
	7	Considero la causa y efecto que está ocurriendo en una situación.	6.36
	8	Considero las relaciones entre los compañeros de trabajo en la unidad de trabajo.	5.53
	9	Creo que los sistemas están cambiando constantemente.	6.11
	10	Propongo soluciones que afectan el ambiente de trabajo, no a individuos específicos.	6.19
Interrelación	11	Tengo en cuenta que los cambios propuestos pueden afectar a todo el sistema.	6.02
	12	Creo que se necesitan más de una o dos personas para tener éxito.	6.11
	13	Tengo en mente la misión y el propósito de la organización.	6.19
	14	Creo que pequeños cambios pueden producir resultados importantes.	6.39
	15	Considero cómo los múltiples cambios se afectan entre sí.	6.17
Flexibilidad	16	Pienso en cómo los diferentes empleados podrían ser afectados por la mejora.	5.97
	17	Intento estrategias que no dependen de la memoria de las personas.	6.38
	18	Reconozco que los problemas del sistema están influenciados por hechos pasados.	5.70
	19	Considero la historia pasada y la cultura de la unidad de trabajo.	5.58
	20	Considero que la misma acción puede tener efectos diferentes a lo largo del tiempo, dependiendo del estado del sistema.	5.75

Validación del instrumento de medición

Para determinar la fiabilidad del conjunto de elementos que conforman la encuesta, se calculó el coeficiente de consistencia interna alfa de Cronbach “(α)” estandarizado, con el cual se toman en cuenta las correlaciones lineales de las preguntas [12]. Considerando que el valor en la medida que se acerca a 1 indica una mayor confiabilidad

y que de acuerdo con [13] el coeficiente de alfa de Cronbach pueden ser evaluados como: coeficiente alfa > 0.9 es excelente; coeficiente alfa > 0.8 es bueno, coeficiente alfa > 0.7 es aceptable, puede decirse que las 20 preguntas de la encuesta (medidos en la escala de Likert) presentan una consistencia interna excelente, ya que, presentan un valor global de $\alpha = 0.927$ (Tabla 3). Identificación de los factores determinantes

Tabla 3. Estadísticas de fiabilidad. Elaboración propia.

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de Elementos
0.917	0.927	20

La identificación de los factores que determinan el estado del pensamiento sistémico entre el personal de la industria manufacturera de exportación se realizó usando la técnica estadística del análisis de factores [14]. Previo se verificó la adecuación muestral de los datos disponibles mediante dos indicadores del grado de asociación de las variables mediante la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y de esfericidad de Barlett [14].

El KMO obtenido en este estudio fue de 0.834 y la prueba de esfericidad de Barlett es significativa ($\chi^2=774.746$; con 190 gl.), las cuales apoyan la evidencia de correlaciones altas entre las variables y además indican que los datos muestrales disponibles son adecuados para el uso del análisis de factores. Una vez demostrada la adecuación de la muestra, se procedió a determinar los factores críticos o determinantes en la medición del pensamiento sistémico. Para este fin, se seleccionó como método de extracción el de componentes principales y como método de rotación, el VARIMAX.

Tabla 4. Matriz de componente rotado. Elaboración propia.

Dimensión	Ítem	Carga factorial de la dimensión		
		1	2	3
Lugar de atención	3	0.705		
	7	0.694		
	13	0.672		
	14	0.664		
	17	0.664		
	15	0.660		
	11	0.657		
	2	0.656		
	16	0.655		
	9	0.650		
	12	0.649		
	4	0.597		
Flexibilidad	10	0.582		
	20		0.865	
	1		0.673	
	19		0.583	
Interrelación	8		0.423	
	6			0.809
	5			0.770
	18			0.623

Los resultados revelan la existencia de tres dimensiones (factores) que logran explicar el 59.83% de la variabilidad de los datos, de la cual un 43.41% corresponde a la primera dimensión, 8.81% a la segunda dimensión y, finalmente, el 7.61% a la tercera dimensión.

Analizando la matriz de la Tabla 4, en donde se presenta la matriz de componentes rotados de las dimensiones o factores que determinan el estado del pensamiento sistémico entre el personal de la industria manufacturera, se observa que la dimensión 1 está asociada a los ítems 3, 7, 13, 14, 17, 15, 11, 2, 16, 9, 12, 4, y 10 de la escala del instrumento (encuesta), y está, por tanto, vinculada con el lugar de atención. Por su parte, en la dimensión 2 agrupa los ítems 20, 1, 19 y 8, referentes a la flexibilidad. Finalmente, la dimensión 3 está compuesta por los ítems 6, 5, y 18, concernientes a la interrelación.

CONCLUSIONES

Fue posible medir el estado del pensamiento sistémico entre el personal de la industria manufacturera de exportación con el desarrollo de un instrumento basado en la escala de Pensamiento Sistémico (System Thinking Scale, STS) y adaptado al tipo de empresa y su contexto.

El instrumento de medición propuesto obtuvo una confiabilidad de excelente de acuerdo con el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach y mediante los indicadores del grado de asociación de las variables como son las pruebas de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y de esfericidad de Barlett, derivando en los siguientes resultados: El pensamiento sistémico puede proporcionar una capacidad valiosa a los líderes organizacionales para tratar de manera eficaz los dominios de los problemas complejos mencionados anteriormente. El pensamiento sistémico no es una solución total, se puede agregar como herramienta que haga frente a las nuevas realidades de la empresa manufacturera de una manera efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Keating, B. Calida, A. Souza-Poza y S. Kovacic, «Systems Thinking», de *Engineering Management Handbook*, American Society for Engineering Management, 2016, pp. 245-297.
- [2] A. L. Halpin y R. Kurthakoti, «Can Systemic Thinking Be Measured? Introducing the Systemic Thinking Scale (STS)», *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, vol. 42, p. 153, 2015.
- [3] D. R. Krathwohl, «A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview», *Theory into Practice*, pp. 212-218, 2002.
- [4] E. Snadler-Smith y B. Badger, «Cognitive style, learning and innovation», *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 10, nº 2, pp. 247-265, 1998.
- [5] W. Wellington, A. J. Faria y T. R. Whiteley, «Holistic cognitive strategy in a computer-based marketing simulation game: An investigation of attitudes towards the decision-making process», *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, vol. 25, pp. 246-252, 1998.
- [6] M. L. Washington, R. Kurthakoti, A. L. Halpin y S. Byrd, «Assessing systemic thinking in undergraduates: An exploratory study using a total enterprise business simulation», *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, vol. 41, pp. 53-63, 2014.
- [7] S. J. Zaccaro, J. A. Gilber, K. K. Thor y M. D. Mumford, «Leadership and social intelligence: Linking social perspectiveness and behavioral flexibility to leader effectiveness», *The Leadership Quarterly*, vol. 2, nº 4, pp. 317-342, 1991.
- [8] D. A. Gioia y P. P. Poole, «Scripts in organizational behavior», *Academy of Management. The Academy of Management Review (pre-1986)*, pp. 449-459, 1984.
- [9] Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Unidad de Analisis Estadístico, «Estimacion del tamaño muestral con varianza no conocida», 4 Marzo 2018. [En línea]. Available: http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/muestreo/nvnc.html.
- [10] S. M. Moore, M. A. Dolansky, M. Singh, P. Palmeri y F. Alemi, *The Systems Thinking Scale*, 2010.
- [11] R. Hernandez, C. Fernandez y P. Baptista, *Metodologia de la Investigacion*, Mexico, DF: McGraw Hill, 2010.
- [12] A. Campo-Arias y H. C. Oviedo, «Propiedades Psicométricas de una Escala: la Consistencia Interna», *Rev. salud pública*, vol. 10, nº 5, pp. 831-839, 2008.
- [13] D. George y P. Mallery, *IBM SPSS Statistics 23 Step by Step A Simple Guide and Reference*, New York: Routledge Taylor & Francis, 2016.
- [14] R. Landero y M. T. Gonzalez, *Estadística con SPSS y Metodologia de la Investigacion*, Mexico: Trillas, 2006. 142 vol.1.
- [18] Y. C. Hsieh, T. C. Hsueh and H. C. Yen, "An Interleaved Boost Converter With Zero-Voltage Transition," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 4, pp. 973-978, April 2009.

Ingeniantes



Ingeniantes

Revista de Investigación • Instituto Tecnológico Superior de Misantla