



Ingeniería. Investigación y Tecnología

ISSN: 1405-7743

iit.revista@gmail.com

Universidad Nacional Autónoma de México  
México

Mendoza-Díaz, A.; Abarca-Pérez, E.; Centeno-Saad, A.G.  
Auditorías de seguridad vial de carreteras en operación  
Ingeniería. Investigación y Tecnología, vol. X, núm. 2, abril-junio, 2009, pp. 137-166  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40411431005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Auditorías de seguridad vial de carreteras en operación

### *In-Service Road Safety Audits*

A. Mendoza-Díaz

*Instituto Mexicano del Transporte, México.*

*E-mail: Alberto.Mendoza@imt.mx*

E. Abarca-Pérez

*Instituto Mexicano del Transporte, México.*

*E-mail: Emilio.Abarca@imt.mx*

A.G. Centeno-Saad

*Instituto Mexicano del Transporte, México.*

*E-mail: acenteno@imt.mx*

(Recibido: mayo de 2007; aceptado: abril de 2008)

#### **Resumen**

Una auditoría de seguridad vial es un análisis formal que pretende garantizar que un camino existente o futuro cumpla con criterios óptimos de seguridad, llevado a cabo por un equipo de expertos, cuyos miembros son independientes del proyecto del camino. Puede realizarse en una, varias o todas las etapas del proyecto (planeación, proyecto, construcción, antes de abrir el camino al tránsito y operación). El desarrollo e implantación de un proceso de auditorías de seguridad en carreteras es una de las estrategias que se han aplicado en México en los últimos años para reducir la accidentalidad y sus consecuencias asociadas. El objetivo de este trabajo es presentar los procedimientos que se han desarrollado y aplicado en México, así como los beneficios y problemas que se han encontrado. Se ilustra también la aplicación de esos procedimientos, a un caso específico. Se hace énfasis en la auditoría de carreteras en operación, que es el tipo que mayor aplicación y desarrollo ha tenido en México.

**Descriptor:** Auditoría, seguridad vial, carretera, proyecto, inspección, normatividad.

#### **Abstract**

*A road safety audit is a formal analysis that seeks to guarantee that an existing or future road fulfills optimal safety criteria, conducted by a team of experts whose members are independent of the road project. It can be carried out in one, several or all of the stages of the project (planning, design, construction, before opening the road to traffic, and operation). The development and implementation of a road safety audit process is one of the strategies that have been applied in Mexico in recent years to reduce road accidents and their associated consequences. The objective of this work is to present the procedures that have been developed and applied in Mexico, as well as the benefits and problems that have been encountered. The application of those procedures to a specific case is also shown. Emphasis is made in the audit of highways in the operation stage, which is the type that greater application and development has had in Mexico.*

**Keywords:** Audit, safety, road, project, inspection, regulation.

## Introducción

Mejorar sustancialmente la seguridad vial en carreteras continúa siendo motivo de gran preocupación y ocupación en todos los países.

Una estrategia que se ha utilizado recientemente en México durante los últimos años para tratar de reducir la accidentalidad y sus consecuencias asociadas, ha sido la aplicación de medidas correctivas. Sin embargo, este tipo de medidas, desde el punto de vista de la seguridad vial, representan una solución a un problema manifiesto, causa de un número significativo de accidentes, lesionados y muertos.

En años recientes, se ha buscado complementar la estrategia anterior con un enfoque que, en lugar de ser una solución a un problema manifiesto, contribuya a prevenirlo mediante un análisis de riesgos. Uno de los principales esfuerzos dirigidos a este fin, ha sido el desarrollo e implantación de un proceso de auditorías de seguridad en carreteras.

El objetivo de este trabajo es presentar los procedimientos que se han desarrollado y aplicado en México, así como los beneficios y problemas que se han encontrado. Se ilustra la aplicación de esos procedimientos, a un caso específico.

Se enfatiza en la auditoría de carreteras en operación, que es el tipo que mayor aplicación y desarrollo que se ha tenido en México. Este tipo de auditorías son preventivas, en cuanto a corregir errores antes de que ocurran los accidentes. En este trabajo, por la palabra auditor, deberá entenderse que, más que a una persona en particular, se hace referencia a un equipo de dos o más personas encargados de la auditoría.

## Procedimientos desarrollados y aplicados en México

Se ha partido de la definición de que una Auditoría de Seguridad Carretera es un proceso que pretende garantizar que los caminos, desde su etapa de planeación, se diseñen con criterios óptimos de seguridad para todos los usuarios, verificando que se mantengan dichos criterios durante las etapas de proyecto, construcción y puesta en servicio de la misma (Austroroads, 2004).

Uno de los aspectos más relevantes dentro del proceso de aplicación de una Auditoría de Seguridad Carretera es determinar el momento en que ésta se llevará a cabo. Una auditoría se puede llevar a cabo en una, varias o todas las etapas de un proyecto (planeación, proyecto, construcción, antes de abrir el camino al tránsito y operación).

En México, la mayoría de los avances y aplicaciones se han generado en torno a los caminos en la etapa de operación, a través de un programa anual dirigido a identificar todos aquellos elementos que representen un riesgo potencial para la seguridad de los usuarios. El énfasis se ha puesto en mejorar la condición de los 14 mil kilómetros de corredores troncales principales, los cuales comunican los sitios más importantes del país entre sí (capitales de los estados, ciudades, puertos y fronteras) y con el exterior. A continuación, se describen los pasos que se han seguido en México en la realización de auditorías de caminos en operación.

### Solicitud de la auditoría

En el caso de carreteras en operación, la autoridad responsable de la operación de la misma es la encargada de solicitar la auditoría.

Una vez realizada la solicitud, la autoridad responsable de la operación de la carretera establece en los términos de referencia, los alcances de la auditoría, es decir, la etapa o etapas en las que se llevará a cabo, además de establecer también la forma en que se efectuará el trabajo, los datos básicos de la carretera que serán entregados y el contenido del reporte que deberá entregar el auditor al finalizar el trabajo.

### Recopilación de información necesaria

La autoridad responsable de la operación de la carretera también proporciona al auditor los datos de entrada necesarios, que una vez entregados, son revisados por el mismo auditor, quien coteja que la información contenga los siguientes datos básicos:

- a) El nombre de la carretera y los tramos a auditar (según su kilómetro de inicio y kilómetro final).
- b) El tipo de carretera, de acuerdo con el Reglamento de Pesos y Dimensiones (SCT, 2000).
- c) El croquis o plano de localización de la carretera.
- d) Volúmenes de tránsito y su composición vehicular.
- e) Información sobre las condiciones del entorno vial, incluyendo los servicios, el clima, la fauna, la flora, la topografía, etc.
- f) Una copia de toda la normatividad aplicable.
- g) Los planos donde se muestra el alineamiento horizontal, vertical y los detalles de las secciones del camino.
- h) Un historial de accidentes de la carretera, en donde se incluyen los periodos, los tipos, la distribución temporal y la frecuencia.



14. Retirar.

15. Las observaciones que se estimen pertinentes.

Los recorridos para las inspecciones de campo son tanto diurnos como nocturnos. Las anomalías detectadas y registradas en los formatos son fotografiadas, generándose con ello el testimonio visual del trabajo de campo.

Una vez terminada la inspección, el auditor lleva a cabo el trabajo de gabinete, donde procesa y analiza toda la información registrada en los formatos de campo para diagnosticar la situación que prevalece en los tramos de estudio.

Con los resultados del análisis y el diagnóstico, determina y señala los principales elementos que representan un riesgo en el camino y proponen en forma enunciativa las posibles soluciones para cada elemento analizado.

#### Reporte de la auditoría

Los resultados de la aplicación de la auditoría son comunicados a través de un reporte escrito, el cual incluye las recomendaciones de seguridad o acciones correctivas sobre los aspectos que involucran peligros innecesarios o irrazonables para los usuarios de la carretera. En el reporte no se incluyen los aspectos positivos de la carretera.

Las recomendaciones establecidas en el reporte se limitan a indicar la posible solución y no a desarrollar ésta a detalle.

#### Ejemplo de aplicación

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realizó la auditoría de seguridad de la autopista de cuota México-Puebla, la cual tiene una longitud total de 110 kilómetros y un TDPA de alrededor de 30,000 vehículos.

La composición del tránsito en esta carretera incluye 20% de vehículos de carga, de los cuales 5% son tractocamiones.

En la dirección de México hacia Puebla, entre el kilómetro 0 y el 56, esta carretera asciende con pendientes de entre el 4 y el 5%, descendiendo con pendientes similares del kilómetro 56 hasta el 95.

Por su cercanía a la Ciudad de México, esta carretera se encuentra a más de 2 mil metros sobre el nivel de mar, por lo cual en buena parte del año (otoño e invierno) su superficie se encuentra mojada o con hielo, siendo también frecuente la presencia de niebla en el camino, particularmente durante las madrugadas.

El trazo de esta autopista es sinuoso, habiéndose detectado en ella gran incidencia de accidentes, particularmente en los tramos en descenso (del kilómetro 56 hasta el 95 en la dirección de México hacia Puebla y del 56 al 0 en la dirección de Puebla hacia México).

Para los dos tramos anteriores, se siguieron los pasos del procedimiento de auditoría antes descrito.

A manera de ejemplo, la figura 2 muestra un segmento de alta peligrosidad del tramo en descenso de México hacia Puebla, sentido en que el kilometraje crece. El segmento consiste en dos curvas continuas opuestas de grados 4.5 y 4 consecutivamente. La velocidad de proyecto de este segmento es de 100 kilómetro por hora y el límite máximo establecido de 90 kilómetros por hora. La carretera tiene dos carriles de 3.50 m en tangente, con acotamientos interno y externo de 0.50 y 1 m, respectivamente. Ambas curvas cuentan con las ampliaciones, sobreelevaciones y transiciones requeridas por las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras (SCT, 1984).

La parte superior de la figura 2 ilustra la geometría y el señalamiento registrados para el segmento durante las inspecciones de campo.

Como resultado de la auditoría, se detectaron las siguientes anomalías:

- a) Ambas curvas tienen grados mayores que el máximo correspondiente a sus velocidades de acuerdo con las normas de proyecto geométrico de carreteras (3.5 grados).
- b) Para las condiciones del segmento, tanto el ancho de carril como el ancho de los acotamientos interno y externo son menores a los mínimos especificados por las normas de proyecto geométrico de carreteras (3.65, 1 y 2.5 m, respectivamente).
- c) Dado que los camiones de carga al circular por el carril de la derecha descienden a muy bajas velocidades (de manera similar a como lo hacen en el ascenso), se detectó que representan un serio riesgo para los autobuses y los vehículos ligeros que descienden a mucha mayor velocidad (a una velocidad promedio de más de 30 kilómetros por hora que la de los camiones de carga).
- d) También se detectó la necesidad de mejorar el señalamiento vertical y horizontal, haciéndolo más claro y conspicuo.

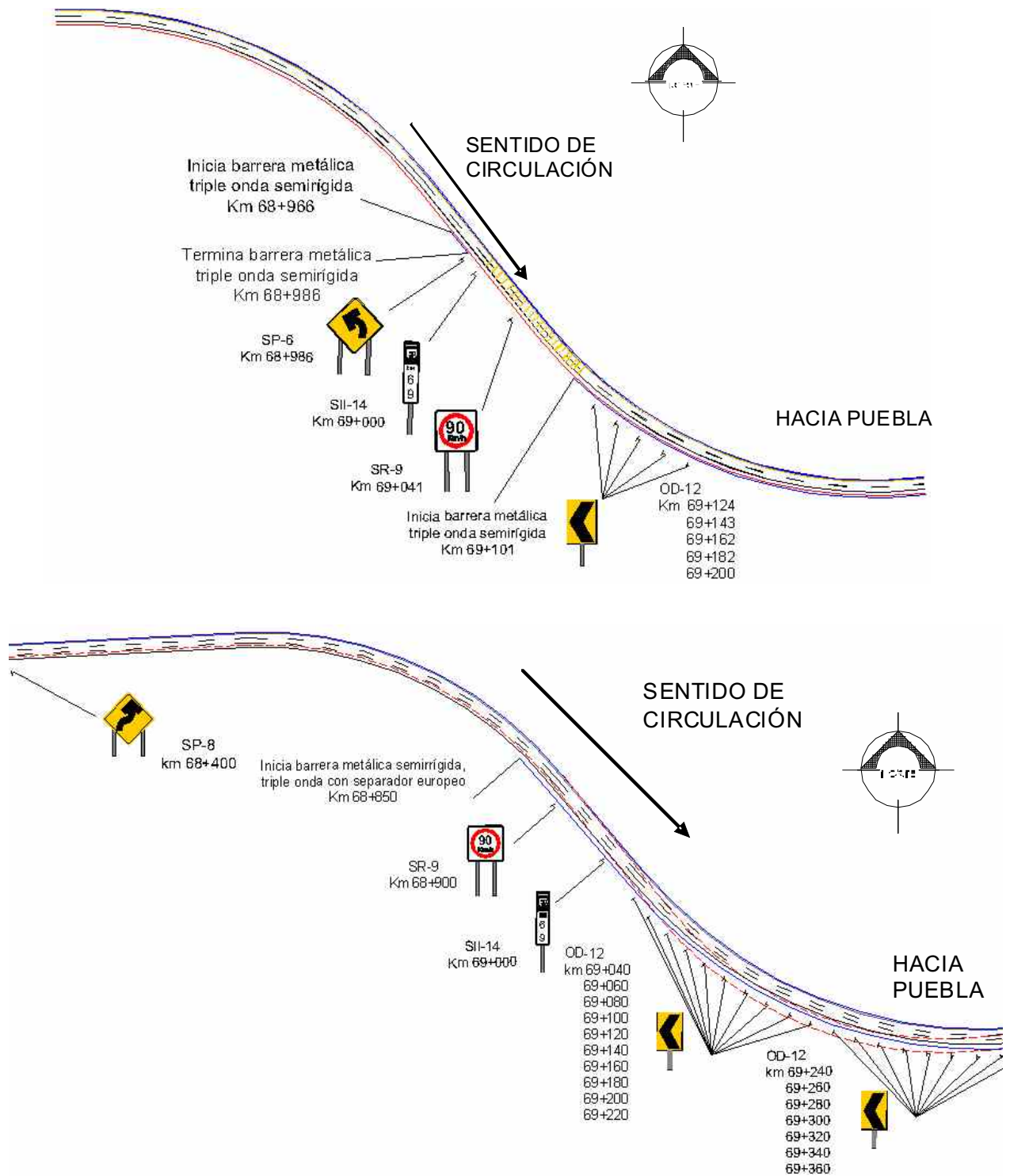


Figura 2. Segmento de alta peligrosidad del tramo en descenso de México hacia Puebla



En el reporte de la auditoría se recomendó modernizar el segmento mediante la realización de las siguientes acciones:

- Modificar las curvas, derecha e izquierda, disminuyendo el grado de curvatura a  $3^\circ$ , con carriles de 4 m de ancho al centro de la curva, aumentando la longitud de la misma y proporcionando acotamientos interno y externo de 1.00 m y 2.50 m, respectivamente; y
- Ampliar la sección transversal de 2 a 3 carriles de circulación, proporcionando un ancho mínimo de 3.65 m por carril en tangente. Esta ampliación deberá realizarse hacia el interior de la curva, incrementándose la visibilidad en el sitio y mejorando el trazo en el cuerpo "B". La localización definitiva del trazo será en función del estudio específico de proyecto geométrico que se realice para este caso.
- Se recomendó también adicionar las obras de drenaje requeridas, de acuerdo al nuevo alineamiento, en función del estudio hidrológico detallado que deberá realizarse para este sitio.

La parte inferior de la figura 2 muestra los conceptos generales que deberán cubrir las modernizaciones mencionadas en cuanto al trazo y al señalamiento correspondiente. En esta parte, el trazo punteado en color rojo corresponde a la situación actual, en tanto que el trazo mejorado se presenta con línea continua en color azul.

La figura 3 muestra una vista desde el acotamiento externo hacia la salida de la segunda curva en sentido hacia Puebla, durante la inspección en campo.



Figura 3. Fotografía de la segunda curva, durante la inspección de campo

La figura 4 presenta una vista de la misma curva, durante la realización de las obras de mejoramiento. La figura 5 ilustra el impacto de la auditoría, después de la realización de las mejoras.

### Beneficios y problemas

En México, el incremento de la seguridad vial mediante el mejoramiento de la infraestructura se ha buscado a través de la atención de puntos negros o tramos peligrosos, que es un programa de tipo correctivo; así como de la realización de auditorías de seguridad de carreteras en operación, que es un programa de tipo preventivo. La inversión anual en mejoramiento de las carreteras (construcción, modernización y conservación) asciende al orden de 0.25% del Producto Interno Bruto.



Figura 4. Fotografía de la segunda curva, durante la realización de los trabajos de mejoramiento



Figura 5. Fotografía de la segunda curva, con las recomendaciones de la auditoría

Como resultado de estas medidas y de otras que se han venido realizando en el marco de un enfoque sistémico de administración de la seguridad vial, el índice de muertes por cada 100 millones de vehículos-kilómetro en la Red Carretera Federal se ha reducido de 6.5 a 4.4 en los últimos 10 años, a pesar de que los vehículos-kilómetro recorridos se incrementaron en un 33% durante ese periodo.

Una carencia importante que existe en México es que no se cuenta con un documento regulatorio que norme la realización de auditorías. En algunos países en los que esta normativa ya existe se establecen: los casos en los que la auditoría es obligatoria (en carreteras federales principales); sus etapas (factibilidad, proyecto preliminar, proyecto definitivo, construcción, preapertura y operación); el papel y responsabilidades de los diferentes actores (p. ej. organismo responsable de la carretera, organismo responsable del proyecto, equipo de proyecto, equipo auditor, etc.); el perfil requerido para los integrantes del equipo auditor; los procedimientos específicos para realizar la auditoría; etc.

Otro problema es que no existen auditores capacitados y certificados para realizar las auditorías. En la mayoría de los casos, las auditorías han sido efectuadas por ingenieros civiles con experiencia en proyectos, conservación y construcción de carreteras, pero sin mayor formación en ingeniería de seguridad vial. Será indispensable que se plantee como una exigencia al futuro la capacitación y certificación obligatoria de los equipos de auditores.

En México, según las disposiciones legales vigentes, primero deberán generarse organismos acreditados de certificación de auditores. Esta acreditación podrá otorgarla una asociación civil autorizada para ello por el Gobierno Federal, denominada Entidad Mexicana de Acreditación, AC (Secretaría de Comercio y Fomento

Industrial, 1991). Dentro de los organismos que pudiesen llegar a acreditarse como certificadores de auditores se encuentran los centros de investigación, las universidades, las asociaciones gremiales, etc.

En tanto no se cuente con los organismos nacionales acreditados para certificación de auditores, una alternativa la proporcionan algunas firmas internacionales de consultoría en seguridad vial, las cuales ofrecen cursos de certificación para ingenieros que deseen ser entrenados y certificados como auditores en seguridad vial. El costo por este servicio puede llegar a ascender a 20 ó 30 mil dólares por candidato.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Mexicano del Transporte la oportunidad que les brindó de realizar el presente trabajo.

### Referencias

- Austroroads *Road Safety Audits*. Sydney, Australia. 2004. Pp. 100.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Autorización para Operar como Entidad Nacional de Acreditación a la Asociación Civil denominada Entidad Mexicana de Acreditación, AC (EMA)*. Diario Oficial de la Federación. México, DF. 1991.
- SCT. *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico: Carreteras*. Dirección General de Servicios Técnicos. México, DF. 1984.
- SCT. *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*. Diario Oficial de la Federación. México, DF. 2000.



---

#### **Semblanza de los autores**

*Alberto Mendoza-Díaz.* Obtuvo el grado de ingeniero civil, con mención honorífica, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en 1979. Asimismo, el grado de maestro en ciencias y de doctor en la Universidad de Texas en Austin en 1983 y 1986, respectivamente. Es coordinador de seguridad y operación del transporte del Instituto Mexicano del Transporte. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Es miembro activo de varias asociaciones gremiales relacionadas con la ingeniería civil, las vías terrestres y el transporte.

*Emilio Abarca-Pérez.* Es ingeniero civil egresado de la Universidad Autónoma de Chiapas en 2001. En 2003, obtuvo el grado de maestro en ingeniería con especialidad en vías terrestres de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es investigador de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte. Ha participado en diversos proyectos de investigación relacionados con la seguridad y operación del transporte.

*Agustín Gerardo Centeno-Saad.* Es ingeniero civil del Instituto Tecnológico de Durango, donde obtuvo el título en 2001. Cursó los estudios de maestría en ingeniería en 2003, con especialidad en vías terrestres en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es investigador asociado en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, en donde desarrolla proyectos de investigación relacionados con la seguridad vial, sitios de alta incidencia de accidentes y modelación de redes de transporte.

# Arquitectura de sistemas tecnológicos para la educación basada en Web

## *Technology System Architecture for Web-Based Education*

A. Canales-Cruz

*Centro de Investigación en Computación del IPN, México DF.*

*E-mail: alejandro\_canales@cuaed.unam.mx*

R. Peredo-Valderrama

*Centro de Investigación en Computación del IPN, México DF.*

*E-mail: peredo@cic.ipn.mx*

L. Balladares-Ocaña

*<sup>1</sup>Centro de Investigación en Computación del IPN, México DF.*

*E-mail: ballad@cic.ipn.mx*

I. Peredo-Valderrama

*Centro de Investigación en Computación del IPN, México DF.*

*E-mail:peredo@cic.ipn.mx*

J.H. Sossa-Azuela

*<sup>1</sup>Centro de Investigación en Computación del IPN, México DF.*

*E-mail: hsossa@cic.ipn.mx*

(Recibido: agosto de 2007; aceptado: junio de 2008)

### **Resumen**

En este trabajo se presenta una nueva arquitectura para el desarrollo de sistemas de Educación Basada en Web. Estos sistemas se centran en el estudiante y se adaptan a sus necesidades personales de forma inteligente. La arquitectura se basa en la especificación IEEE 1484 LTSA (Learning Technology System Architecture) y reúne a los modelos de desarrollo de software y diseño instruccional. Por una parte, el modelo de desarrollo de software se encuentra sustentado bajo un Sistema Multi-Agentes (MAS), emplea los métodos y técnicas de la Ingeniería de Dominio para el desarrollo de CARIOO (Componentes de Aprendizaje Reutilizables e Inteligentes Orientados a Objetos). Los CARIOO son un tipo especial de Objetos de Contenido Compartible de acuerdo a SCORM (Sharable Content Object Reusable Model). Por otra, el modelo de diseño instruccional incorpora un modelo mental como los Mapas Conceptuales (MC) para transmitir, construir y generar conocimientos adecuados a este tipo de ambiente.

**Descriptores:** Huracán, campo de velocidades de vientos huracanados, registros de velocidades de viento, perfil radial depresiones de Holland, Isidoro, Emily, Wilma.

### **Abstract**

*In this paper a new architecture for development of Web-Based Education systems is presented. These systems are centered in the learner and adapted to their personals needs in intelligent form. The architecture is based on the IEEE 1484 LTSA (Learning Technology System Architecture) specification and it assembles to software development and instructional design patterns. On the one hand, the software development pattern is supported under a Multi-Agents System, it employs the methods and technical of the Domain*

*Engineering for development of IRLCOO (Intelligent Reusable Learning Components Object Oriented). IRLCOO are a special type of Sharable Content Object according to SCORM (Sharable Content Object Reusable Model). On the other hand, the instructional design pattern incorporates a mental model as the Conceptual Maps to transmit, build and generate appropriate knowledge to this educational environment type.*

**Keywords:** *Web-Based Education (WBE), multi-agents system, domain engineering, conceptual maps and web semantic.*

## Introducción

Actualmente, la educación centrada en el estudiante tiene como objetivo que la secuenciación y autoría de contenido, los modelos pedagógicos y los procesos de evaluación cumplan las metas de aprendizaje de los estudiantes. Además, los repositorios de contenido y evaluaciones deben ser apropiados para los requerimientos particulares de cada individuo. Pero al mismo tiempo, tienen que ser flexibles y disponibles para ajustarse y utilizarse por una amplia comunidad de desarrolladores y estudiantes, respectivamente. Es necesario que el desarrollo de un sistema de Educación Basada en Web (EBW) considere toda la diversidad de requerimientos (tecnológicos y pedagógicos) y proporcione las funcionalidades necesarias a través de los recursos Web.

Asimismo, la ingeniería de dominio tiene que considerar las especificaciones particulares demandadas por los sistemas de EBW, como es la automatización de la generación de componentes reusables de contenido y evaluación, tanto como sea posible. Los componentes ayudan a reducir la complejidad, la administración del cambio y el reuso (Wang, 2005). Mientras que para crear las experiencias de enseñanza-aprendizaje dentro de este ambiente de EBW, es necesario el uso de un modelo mental como los mapas conceptuales.

El propósito de este trabajo es mostrar una nueva arquitectura para el desarrollo de sistemas de EBW que se basa en la especificación IEEE 1484 LTSA (IEEE, 2001). Para lograr esta meta, este artículo se ha organizado como sigue: inicialmente se presenta la arquitectura de sistemas tecnológicos y a continuación se describe cada una de las capas que la componen; después, se muestra un sistema de autoría de contenido llamado SiDeC y un sistema de evaluación, que son el resultado de la aplicación de dicha arquitectura.

## Arquitectura de sistemas tecnológicos educativos

La arquitectura de sistemas tecnológicos educativos que se presenta, considera una gran parte de los elementos

que intervienen dentro de un ambiente de EBW y pretende sentar las bases para los nuevos desarrollos de este tipo de sistemas. La producción de software educativo bajo esta arquitectura se caracteriza por su colaboración en el aprendizaje de los estudiantes. Básicamente, esta arquitectura presenta avances referentes al estudio de las interacciones entre las entidades del sistema, la incorporación de elementos pedagógicos que intervienen directamente en el aprendizaje de los estudiantes, la descomposición en componentes del sistema de aprendizaje y muestra una metodología para el desarrollo de sistemas de EBW, a través de un modelo de ciclo de vida doble. Estos avances son reflejados en la especificación de cinco capas que se describen en la siguiente figura 1.

## Interacciones entre las entidades del sistema

Como resultado del análisis de las interacciones entre las entidades del sistema, se obtuvieron los flujos de información que se muestran en la figura 2. Se concluye que existen cinco tipos básicos de interacción que tienen lugar en el WBE: el estudiante-contenido, estudiante-tutor, estudiante-estudiante, estudiante-universidad y tutor-universidad (Grahame, 1996; Grahame 1989). Con el reconocimiento de que estas interacciones analizan los flujos de trabajo que conforman el modelo de datos a nivel de negocio. Dicho modelo define los objetos de datos clave y sus relaciones entre ellos y con otras áreas de negocio.

## Características de diseño relacionadas con el estudiante

El diseño de la arquitectura de sistemas tecnológicos para la EBW es afectado directamente por las necesidades de los estudiantes y, en particular, la naturaleza del aprendizaje humano. En este sentido, se establece un modelo de diseño instruccional para transmitir, construir y generar conocimientos adecuados a este tipo de ambiente. Dicho modelo se basa en la teoría cognitiva de Mapas Conceptuales (MC), que son un modelo

mental sobre la forma en que los seres humanos estructuran una información y tienen la finalidad de ayudar a los estudiantes en la adquisición de conocimiento. Un

MC es una técnica gráfica utilizada durante el proceso de enseñanza-aprendizaje como recurso esquemático o mapa de navegación.

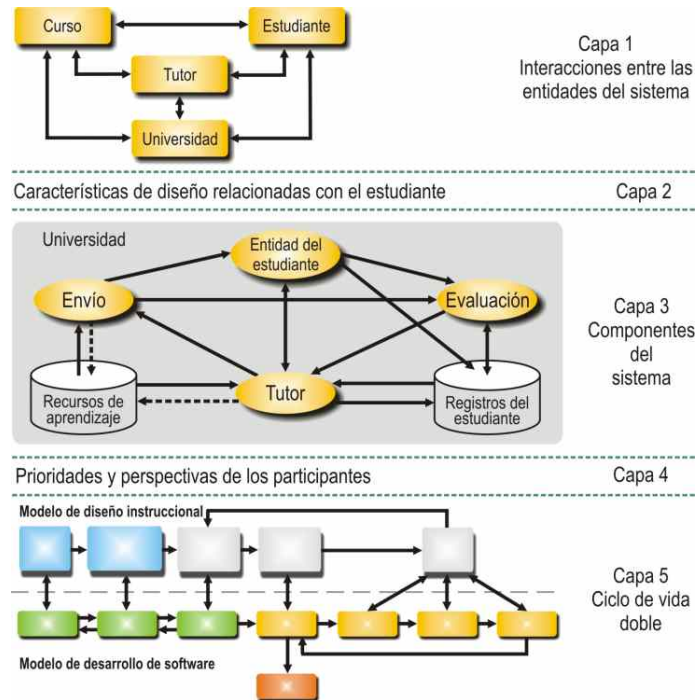


Figura 1. Arquitectura de Sistemas Tecnológicos Educativos para la EBW

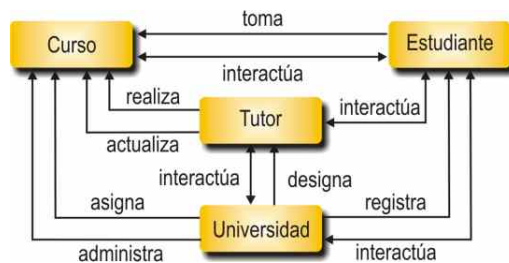


Figura 2. Entidades del sistema de EBW

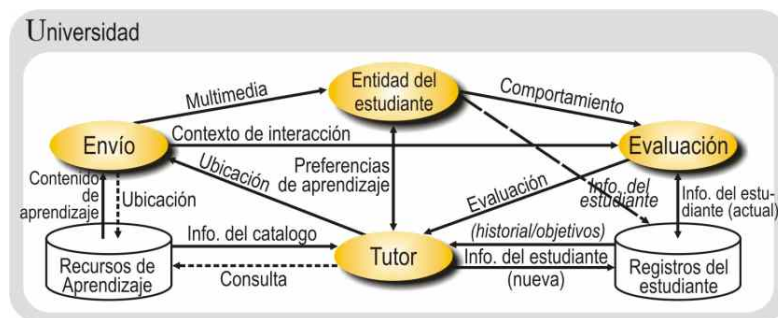


Figura 3. Componentes del sistema

## Componentes del sistema

En la figura 3 se muestra la capa de componentes de esta arquitectura, en donde se identifican cinco procesos: entidad del estudiante, evaluación, tutor, proceso de envío y universidad; dos bases de datos: Recursos de aprendizaje y Registros del estudiante; así como catorce flujos de información entre estos componentes.

Primeramente, se considera el proceso de la Universidad porque interviene de forma directa en todo el sistema educativo, de acuerdo con las interacciones entre las entidades del sistema (capa 1). Por otra parte, el proceso del Tutor ha sido dividido en dos: Tutor y Tutor virtual, debido a que este proceso tiene que adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes. Por ejemplo, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje algunas decisiones, tales como secuencia, pruebas y actividades, se eligen manualmente por el Tutor, así que la adaptación del curso puede tardar dependiendo de la velocidad de reacción del Tutor y muy probablemente se haga al final del tema.

En este sentido, se presenta un Tutor virtual que realice dichas modificaciones de manera automática cada vez que el estudiante termine una lección, ejercicio o prueba y guarde todos los movimientos realizados dentro del historial (registros del estudiante).

Brevemente, el funcionamiento global de los componentes del sistema tiene la siguiente forma:

- 1) Los estilos de aprendizaje, estrategias, métodos, etc., son negociados entre el estudiante y otro participante, y se comunican como preferencias del aprendizaje.
- 2) \*Se recolecta la información de las valoraciones (informales y semiformales) del estudiante en base a su comportamiento, por ejemplo: trayectoria, tiempo empleado, intentos, uso de los diferentes contenidos de aprendizajes, etc. Esta información se guarda directamente en los Registros del estudiante mientras el estudiante interactúa con el sistema.
- 3) El Estudiante es observado y evaluado en el contexto de interacciones multimedia.
- 4) La evaluación produce valoraciones (formales) y/o información del Estudiante.
- 5) La información del estudiante (respuestas escritas, seleccionadas, de voz, etc., y otros detalles más de la evaluación del Estudiante) se guarda en la base de datos (Registros del Estudiante).

---

\* Estas son tareas nuevas que se incorporaron al modelo original de IEEE 1484 LTSA.

- 6) El Tutor revisa la evaluación e información del Estudiante, así como las preferencias, el historial y posiblemente, los objetivos de aprendizaje futuros.
- 7) El Tutor virtual revisa el comportamiento e información del Estudiante y de manera automática e inteligente hace modificaciones dinámicas en la secuencia del Curso (personalizado de acuerdo a las necesidades del Estudiante) basándose en el diseño del proceso de aprendizaje.
- 8) El Tutor/Tutor virtual busca en los Recursos de aprendizaje, vía consulta e información del catálogo, un contenido de aprendizaje apropiado para el estudiante.
- 9) El Tutor/Tutor virtual extrae la ubicación de la información de los catálogos disponibles y pasa las ubicaciones (URLs) al proceso de envío o entrega, por ejemplo, un plan para la lección o ligas a contenidos.
- 10) El proceso de envío extrae el contenido de aprendizaje desde los Recursos de aprendizaje, basándose en las ubicaciones (URLs) y transforma el contenido de aprendizaje en una presentación multimedia interactiva y adaptable para el estudiante.
- 11) La Universidad soporta todo el sistema educativo. Esta nueva tarea proporciona una manera de intercambiar información extra entre la Universidad, Estudiantes y Tutores, tal como: respuesta a dudas y comentarios para expresar en general sus opiniones acerca de los cursos, tutores, estudiantes y el sistema educativo.

Es importante la orientación a componentes que se le ha dado a esta capa, ya que la finalidad que se persigue es implementar una familia de aplicaciones (premi-sa de la ingeniería de dominio).

## CARIOO

Los CARIOO se desarrollaron con Flash. Flash es un integrador de medios y tiene un poderoso lenguaje de programación denominado ActionScript (Macromedia, 2006). Este lenguaje es completamente orientado a objetos y permite el desarrollo de los componentes multimedia de contenido y de evaluaciones. En tiempo de ejecución, los componentes cargan objetos de medios de comunicación y ofrecen un ambiente programable y adaptable a las necesidades del estudiante. Flash cuenta con los "Smart Clips" para los elementos de aprendizaje denominados: interacciones de aprendizaje. El objetivo es generar una biblioteca multimedia de CARIOO para los sistemas de EBW con el propósito de separar el contenido del control. En consecuencia, los componentes



utilizan diferentes niveles de código dentro del Flash Player. Con esta estructura, es posible generar componentes especializados que son pequeños, reusables y apropiados para integrarlos a un componente más grande en tiempo de ejecución. La plataforma de desarrollo de CARIOO proporciona ciertas funcionalidades de comunicación dentro de la interfaz de Programación de la Aplicación con el LMS (Learning Management System), el sistema Multi-Agentes y los diferentes marcos de trabajo como AJAX (Crane, 2006), Hibernate (Peak, 2006), Struts (Holmes, 2004), y la descarga dinámica de medios en tiempo de ejecución.

Los CARIOO se meta-etiquetan con el propósito de completarlos como una función similar a los códigos de barras de los productos, el cual se utiliza para identificar los productos y determinar ciertas características específicas de ellos. Este contraste se hace con el meta-etiquetado de Resource Description Framework (RDF/XML) (RDF, 2005), lo cual permite cierto grado de inferencia dentro de los materiales a través del empleo de los medios que proporciona la plataforma de Semántica Web.

ActionScript adiciona el componente "WebServiceConnector" para conectar a los servicios Web con los CARIOO.

El componente "WebServiceConnector" proporciona el acceso a los métodos remotos ofrecidos por un LMS, a través de SOAP (Simple Object Access Protocol). Esto da a un servicio Web la habilidad para aceptar parámetros y regresar un resultado al script, en otras palabras, es posible acceder y unir los datos entre el servicio Web público o el propio con los CARIOO. Es posible reducir el tiempo de programación, ya que se usa una simple instancia del componente "WebServiceConnector" para hacer múltiples llamadas a la misma funcionalidad dentro del LMS.

El componente descubre e invoca el servicio Web utilizando SOAP y UDDI (Universal Description, Discovery, and Integration), a través del *middleware* y el servidor JUDDI (Java UDDI). Colocando una capa en tiempo de ejecución entre un cliente de servicio Web y el servidor, se incrementan las opciones para escribir más inteligente y dinámicamente los clientes.

Reduciendo las necesidades de la dependencia del código duro dentro de los clientes de servicios Web. Sólo es necesario utilizar diferentes instancias para cada una de las diferentes funcionalidades. Los servicios Web pueden descargarse y desplegarse dentro de un CARIOO.

## Prioridades y perspectivas de los participantes

En esta capa se describe el sistema de componentes (capa 3) desde una variedad de perspectivas de acuerdo a los participantes (Universidad, Tutor y Estudiante). Si se analiza el diseño de la capa 3, con certeza se realizará de diferente forma de acuerdo a la percepción de los participantes, por ejemplo, puede enfocarse desde un punto de vista del contenido de aprendizaje, las evaluaciones, centrada en el alumno, la forma de entrega de los contenidos de aprendizaje, la tecnología a emplear, etc.

En este caso, las prioridades y perspectivas del diseño de la capa 3 se plantearon inicialmente tomando en cuenta a todos los elementos que intervienen en el entorno del estudiante (capa 1) y los elementos pedagógicos (capa 2). Estos últimos son reflejados en el hecho de agregar un nuevo flujo de información a la capa 3 (el no. 2), que se encarga de enviar directamente información del estudiante a la base de datos (registros del estudiante), sobre su comportamiento dentro del escenario de aprendizaje. Esta información se analiza y proporciona elementos para decidir sobre la dirección (secuenciación dinámica), que debe tomar la instrucción del estudiante, pero desde una perspectiva pedagógica, la cual, no sólo contempla a las evaluaciones escritas o de otra índole como método para valorar el conocimiento adquirido de los estudiantes.

En conclusión, la capa 4 proporciona un análisis sobre el diseño de la capa 3 desde la perspectiva de un sistema adaptable e inteligente (secuenciación dinámica) y en donde intervienen principalmente los procesos de Entidad del Estudiante y Tutor. Dicho análisis es importante porque servirá para la implementación de la capa 3. Cabe recalcar que el diseño de la capa 3 se mantiene, lo único que cambia es el énfasis hacia ciertos procesos y flujos de información que juegan un papel importante de acuerdo a nuestra perspectiva y que representan una innovación dentro de esta arquitectura que se presenta.

## Ciclo de vida doble

La arquitectura de sistemas tecnológicos para la EBW considera los aspectos pedagógicos, o dicho de una manera más formal, la inclusión de un modelo de diseño instruccional que permita traducir principios pedagógicos de aprendizaje, en una estrategia para el desarrollo de contenido de aprendizaje y actividades (Díaz-Barrija, 2002). La incorporación de un modelo de diseño instruccional dentro del proceso de desarrollo de software

para la EBW, genera la necesidad de un ciclo de vida con esta característica. Pero al revisar los estándares internacionales ISO/IEC 9001 (ISO, 2000), 90003 (ISO, 2000), 12207 (ISO, 2002) y 15504 (ISO, 2004) de ingeniería de software que rigen la industria en este campo, éstos sólo contemplan básicamente el desarrollo de software desde una perspectiva tecnológica y no profundizan dentro de los requerimientos del campo de aplicación del software, como en este caso es la educación. En todos los estándares de ciclos de vida citados, sólo en la sección de requerimientos es posible incluir los requerimientos pedagógicos.

En la figura 4 se muestra el ciclo de vida doble. Este ciclo une el modelo de desarrollo de software y el modelo de diseño instruccional, lo que es una innovación en el proceso de desarrollo de software actual, ya que hasta

el momento esta característica no es considerada en los estándares citados. El propósito de este ciclo de vida es no sólo desarrollar software educativo basado en cuestiones tecnológicas o computacionales, sino además, agregar elementos cognitivos que colaboren en la adquisición de conocimiento de los estudiantes. La unión de estos modelos representa un avance dentro del desarrollo de software educativo, debido a que el ciclo de vida doble integra los principios pedagógicos de aprendizaje dentro del desarrollo de software, ya que se considera que intervienen de manera directa para que se lleve a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje. El modelo de diseño instruccional se basa en los MC, mientras que el modelo de desarrollo de software se rige por la ingeniería de dominio.

El ciclo de vida doble proporciona al desarrollador la facilidad para ir y venir desde un extremo pedagógico a otro tecnológico para el diseño de la aplicación. Esto se debe a que el software tiene una finalidad educativa, por lo que los principios pedagógicos guiarán el desarrollo tecnológico del software. Además, este ciclo de vida doble ayuda al rápido desarrollo y entrega de partes del software.

En la primera etapa del ciclo de vida doble se definen los objetivos del software y se hace un análisis del dominio, lo que equivale a obtener los requerimientos del software tanto pedagógicos como tecnológicos. Para la segunda etapa se obtiene un modelo del dominio, que es el proceso para desarrollar un modelo estructural suficientemente genérico que represente el dominio. Además, se elige un modelo pedagógico para el desarrollo de cursos, que en este caso son los MC, aunque cabe aclarar que se puede utilizar otro modelo pedagógico.

En la tercera etapa se desarrollan las actividades de aprendizaje y el desarrollo de los componentes reutilizables del sistema. Puede observarse que el ciclo de vida doble permite en estas tres etapas retroceder y avanzar entre ellas durante el desarrollo de software con la finalidad de incorporar la información necesaria para diseñar el software hasta alcanzar las metas trazadas para cada etapa.

En la etapa 4 se desarrolla una versión del software que posteriormente en la quinta etapa se muestra al usuario y se refina el producto en función de la retroalimentación del usuario. Este ciclo se repetirá hasta alcanzar un software adecuado, ya que la característica del ciclo de vida doble es precisamente ser evolutivo. Esta característica es muy importante, ya que proporciona la posibilidad de cambiar la dirección del producto a medio camino, en respuesta a las peticiones del usuario. Si se emplea con cuidado la entrega evolutiva, puede

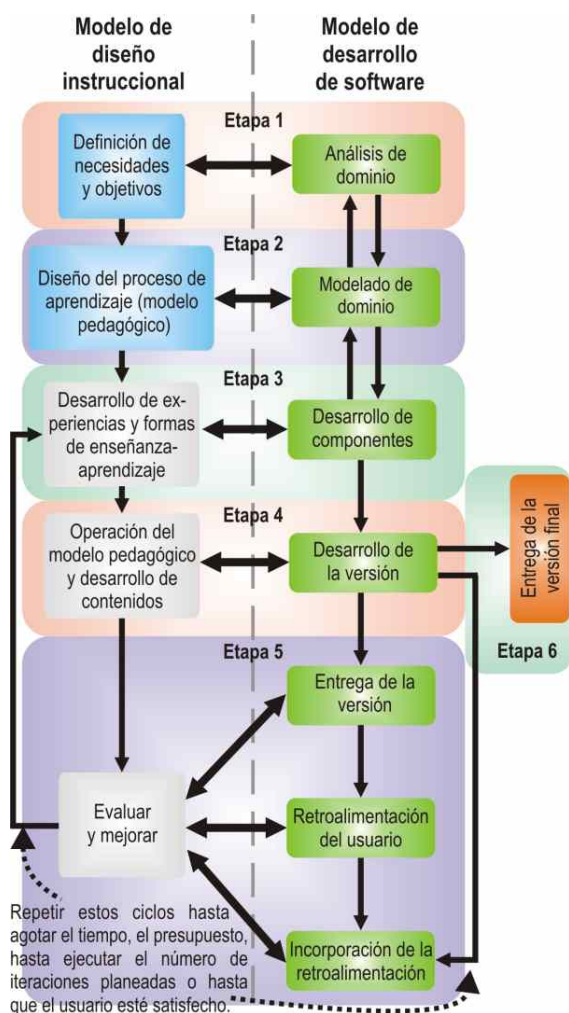


Figura 4. Ciclo de vida doble

mejorar la calidad del producto, reducir el tamaño del código y producir una distribución más uniforme de los recursos de desarrollo y prueba (Mc Connel, 1997). Finalmente, en la sexta etapa se entrega la versión final al usuario.

### Sistema de Desarrollo de eCursos

El Sistema de Desarrollo de eCursos (SiDeC) es una herramienta que facilita la autoría de contenido de aprendizaje y tiene la finalidad de solucionar la carencia técnica de los profesores, al simplificar la creación y publicación de cursos dentro de un ambiente de EBW. Además, la estructura y empaquetamiento del contenido multimedia se logra a través del uso de los CARIOO, a un nivel muy bajo de granularidad. En la figura 5 se muestran los grandes pasos que sigue el SiDeC para la construcción de los materiales educativos.

De acuerdo con la arquitectura de sistemas tecnológicos educativos para la EBW, el SiDeC se construyó

bajo la especificación de la capa 2 “Componentes del sistema”, (figura 3).

El SiDeC es una herramienta de meta datos para la generación de CARIOO y cursos en línea (figura 6). Estos cursos cumplen con las especificaciones de los CARIOO y con los elementos de aprendizaje de los modelos de SCORM (agregación de contenido, secuenciación y navegación y ambiente de tiempo de ejecución) (ADL, 2004). Los meta datos representan la descripción específica del componente y sus contenidos, tales como: título, descripción, descriptores, objetivos de aprendizaje, tipo de elemento y derechos de uso. La herramienta de meta datos proporciona plantillas para todos los meta datos y almacena cada componente en el SiDeC o en otro repositorio estándar de IMS/IEEE.

Hasta el momento, las plantillas de las lecciones del SiDeC se basan en la teoría cognitiva de los MC, pero en el futuro se considerarán otras teorías como: Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el método de casos, el método por proyecto, etc.

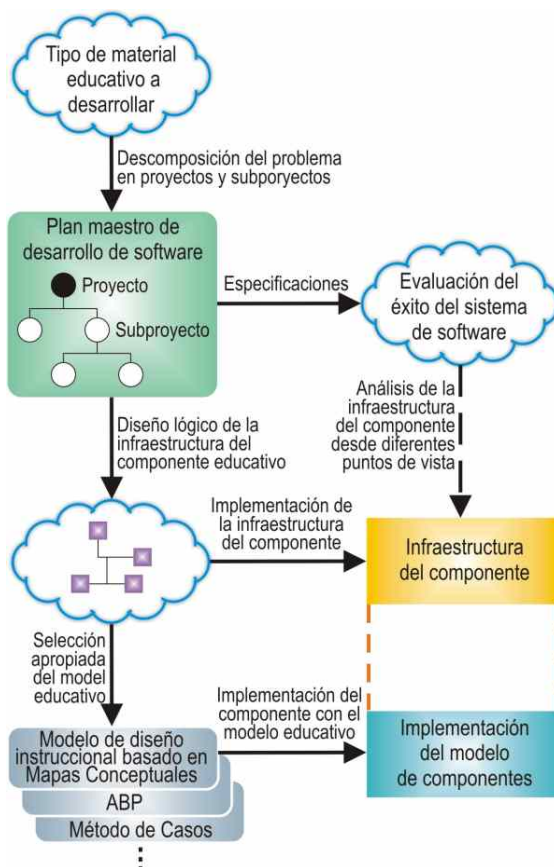


Figura 5. Método de desarrollo de materiales educativos

La figura 7 ilustra como el SiDeC implementa a los MC como un mapa de navegación, mostrando a los estudiantes un panorama global de los objetos de contenido a lo largo de las experiencias de aprendizaje. Estas experiencias siguen la estrategia instruccional, la cual contempla la modificación de la estructura del contenido de aprendizaje a través de la entidad Tutor/Tutor virtual. Tales modificaciones tienen el objetivo de proporcionar aprendizaje significativo y enseñar a pensar a los estudiantes (Díaz-Barriga, 2002).

Basándose en los MC, el SiDeC representa la estructura del curso que el estudiante sigue. El proceso de entrega

identifica un contenido de aprendizaje para el estudiante. El contenido de aprendizaje tiene un CARIOO asociado con él. Después, el proceso de entrega lanza el CARIOO y lo presenta al estudiante (figura 3). La figura 7 muestra cómo se organiza la estructura del curso y cómo el contenido de aprendizaje puede interpretarse dentro de un árbol de contenido de aprendizaje. Un árbol de contenido de aprendizaje es una estructura conceptual las actividades de aprendizaje administradas por el proceso de entrega de cada estudiante. Esta información se encuentra dentro del *imsmanifest.xml* que está definido dentro del modelo de agregación de contenido de SCORM (ADL, 2004).



Figura 6. Contenido de aprendizaje generado por el SiDeC

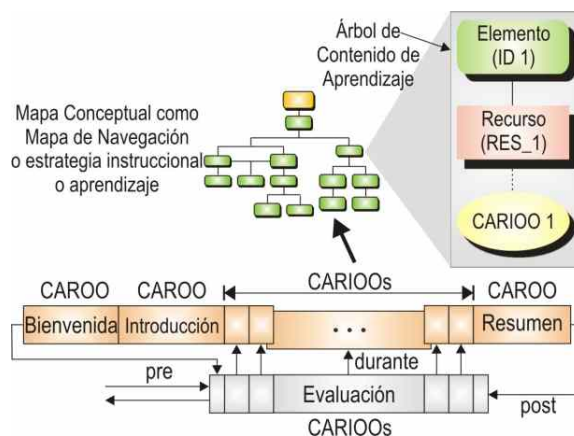


Figura 7. La estructura del curso



## Sistema de evaluación

El sistema de evaluación se diseñó bajo la misma filosofía utilizada en el SiDeC. La funcionalidad del sistema de evaluación deposita dentro del análisis del perfil del estudiante que se construye durante las experiencias de enseñanza-aprendizaje. El perfil se basa en las métricas que se obtienen del comportamiento del estudiante en tiempo de ejecución. Estas medidas se almacenan dentro de los registros del estudiante que componen el perfil (figura 3). La generación de las nuevas secuencias de los cursos está en función de los resultados obtenidos, además del cálculo del nivel de adaptación.

El sistema de evaluación combina los CARIOO, meta-etiquetas adicionales y una plataforma de agentes en Java. También, se consideran algunas tecnologías del campo de la inteligencia artificial para recrear un ambiente de semántica Web. La semántica Web se dirige a ayudar a los usuarios a lograr sus actividades en línea y ofrece grandes ventajas, tales como: reducción de la complejidad para los desarrolladores potenciales, estandarización de las funcionalidades y atributos, definición de un conjunto especializado de APIs.

Todos los recursos tienen un URI (Universal Resource Identifier). Un URI puede ser una URL (Unified Resource Locator) o algún otro identificador único. Un

identificador no necesariamente permite el acceso a un recurso. La capa de XML se usa para definir los meta datos de SCORM de los CARIOO que se utilizan para intercambiar datos sobre la Web. En otras palabras, la capa de XML corresponde al lenguaje utilizado para definir la estructura de los meta datos (XML, 2003) y la capa de RDF representa el lenguaje utilizado para describir toda la información y las clases de meta datos (RDF, 2005). Un CARIOO meta-etiquetado refleja la esencia del uso de una ontología (meta-ontología) que se dedica a definir la semántica para establecer el uso de las palabras y términos en el contexto del vocabulario. Su nivel lógico corresponde al razonamiento utilizado para establecer la consistencia y la exactitud del conjunto de datos y para inferir conclusiones que no están expuestas explícitamente.

En resumen, los componentes y la operación del SiDeC y el sistema de evaluación se muestran en la figura 8. Básicamente, el sistema de evaluación se cumple a través de dos fases.

La primera fase es soportada por el LMS y se dedica a presentar los contenidos que se realizan con el contenido de los CARIOO. Las evaluaciones se realizan calificando los CARIOO y, en algunos casos, por simuladores basados en los CARIOO. Estos procesos se despliegan a través del marco de trabajo de AJAX.

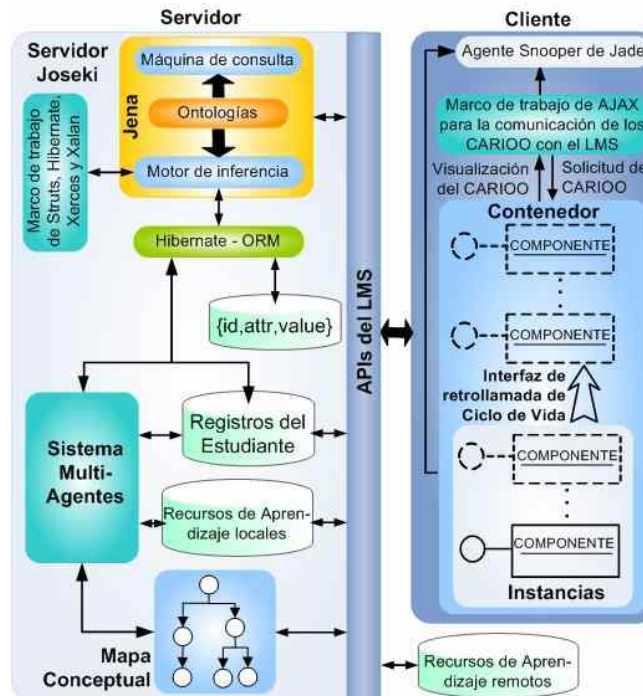


Figura 8. Plataforma de Semántica Web para la EBW



La segunda fase analiza los Registros del estudiante que se lleva a cabo por el servidor basado en JADE y el sistema multi-agentes. Esta plataforma de agentes consta de siete agentes: Snooper, Buffer, Learner, Evaluation, Delivering, Coach, e Info. La idea fundamental es automatizar el análisis del estudiante a través del Tutor y dar resultados parciales que puedan ser útiles para la instrucción final del estudiante. Estos agentes se implementan como programas Java Beans, que están incrustados en las aplicaciones que se ejecutan tanto del lado cliente como del lado servidor. Los agentes emplean la secuenciación dinámica para cambiar la secuencia del curso o las evaluaciones. La secuenciación se define por la estrategia instruccional basada en MC y emplea la navegación/secuenciación de SCORM. Una vez que se recibe la información necesaria (secuencia, tipo de CARIOO y localización, etc.), esto se representa como una cadena construida dinámicamente por la máquina de inferencia basada en reglas conocida como JENA (JENA, 2005) y el servidor JOSEKI (JOSEKI, 2005) para generar retroalimentación dinámica.

Un aspecto importante dentro del desarrollo, tanto del sistema de evaluación como del SIDEDEC, es la persistencia de los datos. Para ello, se utiliza el marco de trabajo de Hibernate. Hibernate es un proyecto ambicioso que se dirige a solucionar completamente el problema de la persistencia de los datos en Java (objetos) que se manejan dentro de las aplicaciones y que se guardan en una base de datos relacional (Peak, 2006). ORM (Object/Relational Mapping) es el nombre que se le da a la solución automatizada para este problema.

### Generación de materiales educativos

Tanto el sistema SIDEDEC como el sistema de evaluación se implementaron usando Struts (Holmes, 2004) y bajo el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (Model-View-Controller, MVC por sus siglas en inglés), mejorando la reusabilidad y mantenibilidad del sistema. Los componentes CARIOO se dividen en dos tipos fundamentales: indivisibles y compuestos, bajo el patrón de diseño de composición, la utilización de este patrón de diseño permitió simplificar la Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface, API por sus siglas en inglés), para la manipulación y composición de los componentes CARIOO. Los componentes indivisibles permiten conformar unidades más complejas denominándose compuestos a partir de las unidades indivisibles, separando la parte de contenido/navegación, por medio de un componente contenedor que se encarga de cargar los contenidos y la

navegación, y posibilitando la modificación de un *ims-manifest.xml* personalizado para adecuarlo a las verdaderas necesidades del estudiante. Todos los componentes CARIOO tienen meta datos con información adicional como: nivel, objetivos, autor, etc. Con la finalidad de que por medio del motor de inferencias puedan reconfigurarse para adecuarlos a las verdaderas necesidades del estudiante en tiempo de ejecución.

En la figura 9 se muestra la generación de materiales educativos en tiempo de ejecución tanto para el SiDeC como para el sistema de evaluación. A continuación, se describe brevemente el funcionamiento global del proceso:

- 1) Cuando el tutor desea crear ya sea un contenido de una lección o una evaluación, accede a dichos sistemas desde un navegador Web como cliente. Ambos sistemas tienen la capacidad de ir mostrando al usuario los materiales que va creando en el instante mismo, tal y como se presentarán a los estudiantes, esto se logra gracias al empleo de componentes CARIOO para la previsualización. Los estilos de aprendizaje, estrategias, métodos, etc., son negociados entre el estudiante y otro participante, y se comunican como preferencias del aprendizaje.
- 2) Se toman métricas del estudiante a lo largo de los diferentes cursos por medio de los componentes CARIOO y es evaluado en el contexto de interacciones multimedia.
- 3) La evaluación produce métricas adicionales y/o información del estudiante, la información del estudiante se guarda en una base de datos del historial (registros del estudiante).
- 4) Continuando con la presentación de componentes CARIOO de contenidos y evaluación por medio del proceso de envío, con la finalidad de presentar una interacción de captura de métricas del estudiante en tiempo de ejecución a lo largo del curso.
- 5) El tutor revisa la evaluación e información del estudiante, así como las preferencias, el historial y posiblemente los objetivos de aprendizaje futuros.
- 6) El tutor busca los recursos de aprendizaje vía consulta e información del catálogo para un contenido de aprendizaje apropiado.
- 7) El tutor extrae la ubicación de la información de los catálogos disponibles (URLs) y pasa las ubicaciones al proceso de envío o entrega; por ejemplo, un plan para la lección.
- 8) El proceso de envío extrae el contenido de aprendizaje desde los recursos de aprendizaje, basándose en las ubicaciones (URLs) y transforma el contenido de

aprendizaje en una presentación de contenidos multimedia interactivos para el estudiante, en función de las métricas medidas del estudiante.

## Conclusiones

Este trabajo ha presentado una instancia de los sistemas de EBW. Se ha enfocado en la reusabilidad, accesibilidad, durabilidad e interoperabilidad de los contenidos de aprendizaje, los cuales se construyeron como CARIOO, como el principal componente para la entrega de contenido de enseñanza y evaluación.

Los CARIOO ofrecen una interfaz común y una funcionalidad tal, que se aprovechan para la automatización de la autoría de contenidos de aprendizaje que se

entrega a través de una secuencia dinámica. Los CARIOO aceptan retroalimentación por medio de las valoraciones hechas por la plataforma Multi-Agentes. La información proporcionada se considera como datos en bruto porque se basan en parámetros obtenidos del comportamiento del estudiante.

Un modelo distribuido de espacio de conocimiento compuesto por los CARIOO integra diferentes marcos de trabajo. El desarrollo de este modelo se apoya en el SiDeC y el sistema de evaluación. Considerando la especificación y el empaquetamiento del contenido de aprendizaje del estándar de SCORM. El uso de estos sistemas permite reducir drásticamente el tiempo de desarrollo de autoría de contenido de aprendizaje.

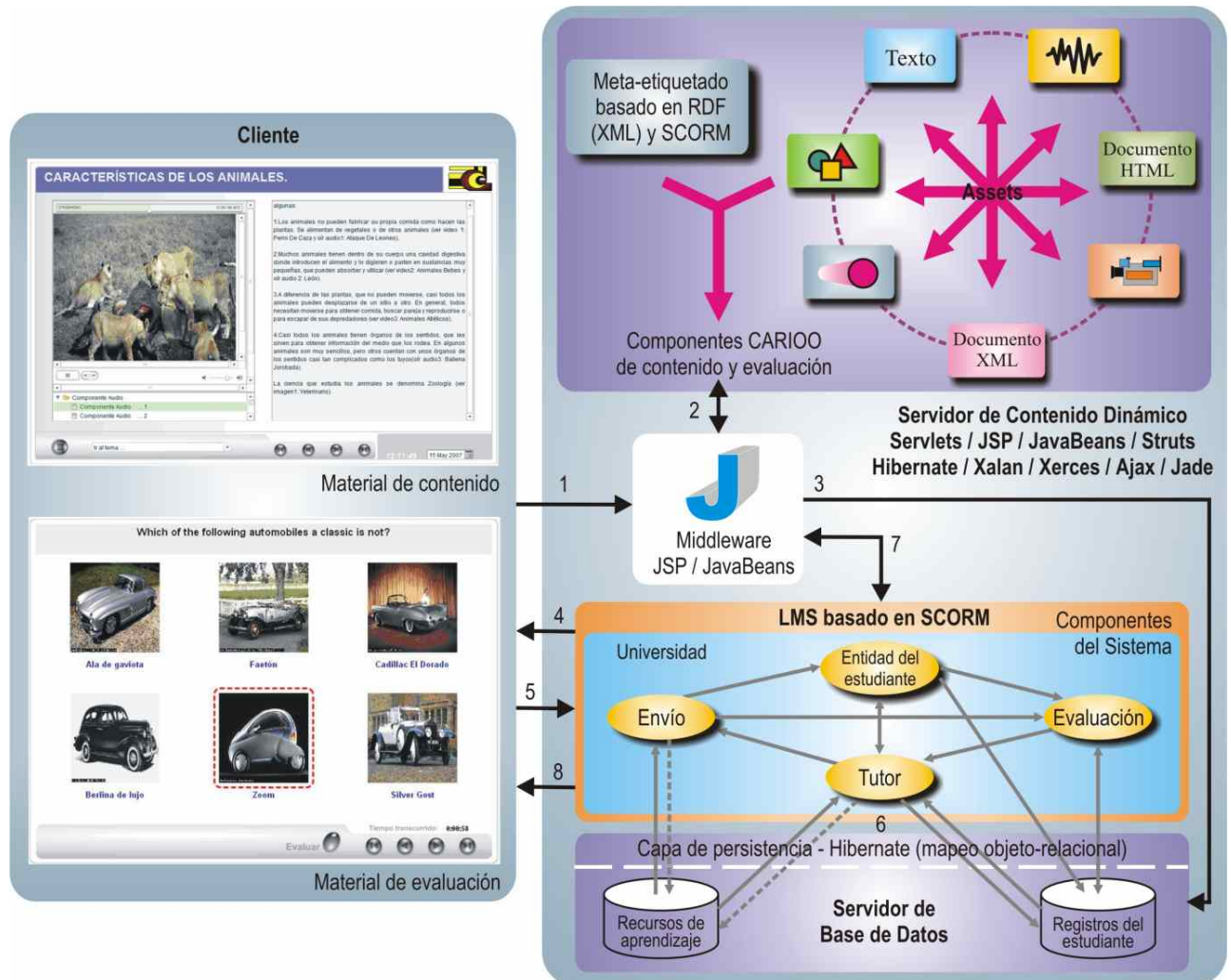


Figura 9. Generación de materiales educativos en tiempo de ejecución

La plataforma multi-agentes se utiliza para la implementación de un *middleware* abierto. La meta técnica de la plataforma es clara: desplegar tecnologías de información distribuidas para que la disponibilidad de los servicios pueda ser más eficiente y flexible. Entre otras ventajas del uso de agentes se tiene que la integración de sistemas puede desempeñarse en un alto grado, la funcionalidad de los CARIOO se incrementa sustancialmente; así como la disponibilidad de implementar diferentes técnicas, estilos de aprendizaje, estrategias instruccionales y técnicas de interacción.

Actualmente, se está trabajando en agentes inteligentes que utilizan XML como un lenguaje de comunicación y en la segunda generación de servicios Web. Asimismo, en los estilos de aprendizaje que se ajusten a la EBW. Finalmente, se están desarrollando nuevos componentes CARIOO y se está actualizando constantemente los ya existentes.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al CIC-IPN, al proyecto SIP-IPN 20071166 y a CONACYT por el apoyo económico para el desarrollo de este trabajo bajo el proyecto 143049.

### Referencias

- ADL. Advanced Distributed Learning Consortium [en línea]. 2004. Disponible en: <http://www.adlnet.org>
- Crane D. *Ajax in Action*. Greenwich. EU. Publicaciones Manning. 2006.
- Díaz-Barriga F. *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. Segunda edición. México DF. Editorial Mc Graw Hill. 2002.
- Grahame M. *Three Types of Interaction*. EU. The American Journal of Distance Education. 1989. Pp. 1-6.
- Grahame M. *Distance Education: a System View*. Belmont, CA. Wadsworth, EU. 1996. Pp. 128-132.
- Holmes J. *Struts: The Complete Reference*. California, EU. Publicaciones Mc Graw Hill-Osborne. 2004.
- IEEE 1484.1-2001. Standard for Learning Technology - Learning Technology Systems Architecture (LTSA) [en línea]. 2001. Disponible en: <http://ieee.ltsc.org/wg1>
- International Standards Organization 9001 y 90003. Quality Management Systems and Software Engineering—Guidelines for the Application of ISO 9001:2000 to Computer Software. 2000 Edition.
- International Standards Organization 12207. Systems and Software Engineering-Software Life Cycle Processes. 2002 Edition.
- International Standards Organization 15504. Information Technology-Process Assessment. 2004 Edition.
- JENA. Jena Semantic Web Framework [en línea]. 2005. Disponible en: <http://jena.sourceforge.net/>
- JOSEKI Server. A SPARQL Server for Jena [en línea]. 2005. Disponible en: <http://www.joseki.org/>
- Macromedia, Inc. *ActionScript* [en línea]. Febrero de 2006. Disponible en: <http://www.macromedia.com>
- Mc Connel S. *Desarrollo y gestión de proyectos informáticos*. España. Editorial Mc-Graw Hill. 1997.
- Peak P. *Hibernate Quickly*. Greenwich, EU. Publicaciones Manning. 2006.
- RDF. RDF Specification [en línea]. 2005. Disponible en: <http://www.w3.org/RDF/default.htm>
- Wang A. *Component-Oriented Programming*. Georgia, EU. Publicaciones John Wiley & Sons, Inc. 2005. Pp.3-5.
- XML. Extensible Markup Language, W3 Consortium [en línea]. 2003. Disponible en: <http://www.w3.org/XML>

---

#### **Semblanza de los autores**

*Alejandro Canales-Cruz.* Obtuvo el grado de doctor en ciencias de la computación por el Centro de Investigación en Computación del IPN. Sus líneas de investigación son EBW, multimedia, sistemas inteligentes y desarrollo de software seguro. Asimismo, cuenta con publicaciones y participaciones en congresos en el ámbito nacional e internacional. Actualmente es candidato al Sistema Nacional de Investigadores.

*Rubén Peredo-Valderrama.* Maestro en ciencias de la computación egresado del Centro de Investigación en Computación del IPN. Sus líneas de investigación son: sistemas multi-agentes, EBW y contenidos de aprendizaje multimedia. Actualmente es candidato al Sistema Nacional de Investigadores, cuenta con alrededor de 20 publicaciones y congresos en el ámbito nacional e internacional.

*Leandro Balladares-Ocaña.* Es maestro en ciencias de la computación por el Centro de Investigación en Computación del IPN. Cuenta con diversas publicaciones en revistas de arbitraje internacional y congresos nacionales e internacionales. Sus áreas de investigación son: Interacción Hombre-Máquina (HCI), desarrollo de tecnologías basadas en el Web para fomentar el aprendizaje, aplicaciones con DSPs.

*Iván Peredo-Valderrama.* Ingeniero egresado de la UAM-Iztapalapa. Obtuvo el grado de maestro en ciencias de computación en 2007. Durante los últimos 2 años ha enfocado su trabajo en CBT y posteriormente EBW.

*Humberto Sossa-Azuela.* Es profesor titular del Centro de Investigación en Computación. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores. Tiene más de 30 publicaciones internacionales con arbitraje riguroso y más de 100 trabajos en conferencias nacionales e internacionales.

## Available Energy and Cumulative Frequency Curves for Parabolic Trough Concentrators with Alignment North-South, in the Northwest of Mexico

### *Curvas de frecuencia acumulada para un concentrador solar de canal parabólico con orientación Norte-Sur en el Noroeste de México*

Álvaro Lentz-Herrea

*Instituto de Ingeniería.*

*Universidad Nacional Autónoma de México.*

*E-mail: solar\_lentz@yahoo.com.mx*

Rafael Almanza-Salgado

*Instituto de Ingeniería.*

*Universidad Nacional Autónoma de México.*

*E-mail: ras@pumas.ii.unam.mx*

Serafín López -Ríos

*Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos*

*Comisión Federal de Electricidad. Morelia, Michoacán.*

*E-mail: slopezrios@gmail.com*

Roberto Cadenas-Tovar

*Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos*

*Comisión Federal de Electricidad. Morelia, Michoacán.*

*E-mail: roberto.cardenas@cte.gob.mx*

(Recibido: agosto de 2007; aceptado: abril de 2008)

#### **Abstract**

The Northwest of Mexico is a well known region with the highest ambient temperatures along the summer and the highest levels of irradiance, which make it feasible to install solar field concentrators. This work provides beam irradiance data that can be used to design a solar north-south parabolic trough system. The variation between the value of beam solar irradiance estimated by a pyranometer and the direct irradiance received by the aperture area of a parabolic trough concentrator (PTC) is well-known as  $\cos \theta$ . This variation was evaluated every day of the year, obtaining values of average irradiance for Cerro Prieto (CP) lat.  $32^{\circ}39'$ , long.  $115^{\circ}21'$ , and San Luis Rio Colorado (SLR) lat.  $32^{\circ}30'$ , long.  $114^{\circ}46'$ , with which they were elaborated the available energy and cumulative frequency curves (CFC). These are useful to know the number of hours of field solar concentrators which can operate at different levels of energy, as well as the steam production of a solar-geothermal hybrid system to produce electricity.

**Keywords:** Solar beam irradiance, parabolic trough concentrator, available energy.

#### **Resumen**

*El Noroeste de la República Mexicana es la región con las mayores temperaturas durante el verano y con los mayores niveles de irradiancia solar, lo último hace factible la instalación de concentradores solares. En este artículo se elabora información de la componente*



*directa de la irradiancia solar, la cual es utilizada en el diseño de concentradores solares tipo canal parabólico con orientación Norte-Sur. La variación entre el valor de la irradiancia solar directa obtenida por un piranómetro y al irradiancia directa recibida por el área de apertura de estos concentradores, que se encuentran en posición horizontal, se conoce como  $\cos \theta$ . Esta variación se evaluó cada día del año, obteniéndose valores promedio de la irradiancia para Cerro Prieto (CP), B.C. (lat.  $32^{\circ}39'$ , long.  $115^{\circ}21'$ ), así como para San Luis Río Colorado (SLR) (lat.  $32^{\circ}30'$ , long.  $114^{\circ}46'$ ); además fueron obtenidas las energías disponibles mes por mes, así como las curvas de frecuencia acumulada (CFC). Esta información es útil para conocer el número de horas que un campo solar de concentradores podría operar con diferentes niveles de energía, así como la producción de vapor en un sistema híbrido solar-geotermia para la generación de electricidad.*

**Descriptor:** Irradiancia directa solar, concentradores canal parabólico, energía disponible.

## Introduction

The design of solar concentrator systems requires a specific presentation of meteorological data, namely solar irradiation. The aim of this work is the study of the frequency distribution of solar radiation as cumulative frequency curves of beam irradiation (CFCs) and the related concept of available solar energy from the solar irradiation measured in two cities in the northwest of Mexico: San Luis Río Colorado, lat.  $32^{\circ}30'$ , long.  $114^{\circ}46'$  in Sonora state and Cerro Prieto (CP) in Baja California state, lat.  $32^{\circ}39'$ , long.  $115^{\circ}21'$ .

Cerro Prieto is the most important geothermal field in Mexico; this area also has the highest levels of irradiance in the country (Almanza and López, 1978). These levels of irradiance made it feasible to set up a solar collector field in a geothermal field to create a hybrid system to increase electricity production throughout the day, Lentz *et al.*, 2002; Lentz, 2005. The average peak beam irradiance throughout the year is  $734 \text{ W/m}^2$ . The hybrid system is proposed in order to increase the steam flow available for electric generation in the actual geothermal cycle. The Mexican electricity company (CFE), which belongs to the government, has been in contact with our group in order to study the technical and economical feasibility of a hybrid solar-geothermal system.

San Luis Río Colorado (SLRC) is a city near CP, with about 30 km between them with about the same meteorological conditions, and this place was considered for a project to build a combined cycle with a solar field (CFE, 2002); therefore, a pyrheliometer was installed.

The electricity demand increases during the summer because the ambient temperature can reach  $50^{\circ}\text{C}$ .

One of the reasons of this project is to use the solar resource to increase the production of electricity by increasing the quantity of steam coming from the geothermal wells, Lentz, 2002, which is a mix of brine and steam.

The irradiance data were also measured in the CP geothermal field using a rotating shadow band pyranometer, in which measurements have been made from the year 2000 up to 2004, with these data a year average was obtained. The pyranometer measures with an allowable error  $\pm 2\%$  in days with few clouds and  $\pm 5\%$  in cloudy days or with highly intermittent cloudiness. This device is calibrated yearly at the Geophysics Institute UNAM. This data was compared with a 3 years of DNI (direct normal irradiance) measured at 30 km from this zone with a Kipp & Zonen pyrliometer with allowable error  $\pm 5\%$ . The collected data shows that it is a zone with high levels of solar irradiance and few cloudy days during the year, which suggests that CP and SLRC can be ideal sites for the installation of a field of solar concentrators (CFE, 2003). The goal in CP is to increase the production of steam in the present geothermoelectrical cycle, by the use of a solar field of line-focused concentrators of the parabolic trough type in a solar-geothermal hybrid system. The parabolic trough concentrators (PTC) use the direct component of the solar irradiance, so when equipment like this is used, it requires sites like Cerro Prieto with a high incidence of direct beam irradiance. It is important to clarify that direct solar irradiance (DNI) is measured directly by a pyrheliometer, which is a telescopic type device with a narrow aperture that faces the sun and follows its apparent motion. The measurement device is normal to the originating sun irradiance. Although the PTC is oriented towards the

sun, this one is not completely normal to the sun's irradiance. A PTC can be oriented to one of three forms: in an east-west direction with north-south tracking, a north-south and east-west tracking, and the well-known north-south polar with east-west tracking.

The first two are on the horizontal position, which means that the direction throughout the parabolic trough must take into account the correct moment to evaluate the  $\cos \theta$ . Some preliminary calculations have been made in order to know which orientation of the parabolic troughs is most convenient to get the highest level of solar beam irradiance into the absorber pipe of such concentrators, and the north-south orientation is most convenient. Thus, the PTC solar field proposed is horizontal north-south with tracking east-west, including the correction of  $\cos \theta$  (Almanza and Muñoz, 1994).

Use of real data for a specific place and year provides only a performance simulation for that place and year, but its reliability as a prediction for the long-term average is uncertain. After all, variability in monthly total irradiance from one year to the next commonly exceed  $\pm 10\%$ , and the variability for thermal collectors are even larger (Collares and Rabl, 1979).

## Methodology

### Yearly average

There is a weather station in the geothermoelectric field of Cerro Prieto; in this field has been installed a rotating shadowband pyranometer which measures global and diffuse irradiance. The direct irradiance data is calculated by the same device, so that it is counted based on data from 2000 to 2003. With these data averages, a yearly average was obtained hourly for every day of the year, since the station makes measurements every 15 minutes. Four data were used to make the hourly averages for every day of the year, which were divided equally as well with their corresponding year, with four years used to make the hourly average.

In San Luis Rio Colorado, a pyrheliometer has been installed which measures direct irradiance, which is measured on data from 2002 to 2003. With these data averages, an average year was obtained. Four data were used to make the hourly averages for every day of the year, which were divided equally as well with their corresponding year, so that two years were used to make the hourly average. In general the seasonal variability of the weather may require a separate calculation for each month of the year.

### Normal direct irradiance by the capturing surface ( $\cos \theta$ )

When devices take advantage of only the direct component of irradiance and in particular the PTC, they are used because its movement is only in one axis. This means that the surface of the concentrator receives solar rays that are not totally normal to the sun, because is there an angle between normal to the plane and the incident irradiance ( $\theta$ ). The cosine of the angle ( $\cos \theta$ ) is defined as the variation between the direct and the normal one to the capturing surface. This is known as an aperture area; it means the projected area of PTC intercepting beam irradiance. The angle is calculated to evaluate the losses generated by this variation. The following equation (1) allows evaluation of the  $\cos \theta$  for a PTC field for the north-south (Duffie and Beckman, 1991):

$$\cos \theta = (\cos^2 \alpha_z + \cos^2 \alpha_s \sin^2 \alpha_s)^{1/2} \quad (1)$$

Where:

$$\alpha_z = \sin \delta \sin \phi \quad \alpha_s = \cos \delta \cos \phi \quad (2)$$

Once the factor  $\cos \theta$  for the entire year is obtained, it is multiplied with the corresponding values of DNI; the result of this is used for the accomplishment of cumulative frequency curves and the available energy of the irradiance that can be taken advantage of the PTC.

### Cumulative frequency curves and available energy

The cumulative frequency curves are defined as curves giving the time ( $n_h$ ) during which the solar irradiance on a given plane has exceed a value ( $I_c$ ). The cumulative frequency curves (CFC) represent the frequency, in terms of monthly average of the number of hours with which the irradiance (global or direct) incident on the aperture area is greater than or equal to a certain critical level (Bourges, 1992; Perrot, 1963). If a system of Cartesian coordinates is constructed with the results of these calculations, the cumulative frequency curves for every month of the year can be shown. The vertical one is the axis of the irradiances ( $W/m^2$ ) subdivided into as many intervals as critical levels are desired, and the horizontal one is the axis where the number of times imagines that the critical level was exceeded throughout the day during intervals that were measured—in this case every fifteen minutes—from sunrise until sunset (diurnal

time), divided by the number of days of the corresponding months, including the years of data whereupon it counts. The CFCs of the direct normal irradiance to the PTC were made for the 12 months of the year, having separated the data of every month in the following way: since it has been seen that solar irradiance reaches the maximum values on days totally cleared of clouds, this means  $1200 \text{ W/m}^2$  in sites with greater insolation. Then the interval will include from 0 to  $1200 \text{ W/m}^2$ , which is subdivided into critical levels (thresholds) of the global or beam solar irradiance, in agreement with the practical interest that it is had for different applications that involve the advantage of solar energy. In this case the interval from 0 to  $1200 \text{ W/m}^2$  was subdivided into 25 intervals of  $\text{W/m}^2$ . Once this subdivision is made, a certain critical level is chosen and it is come to count the number of times that this level was exceeded during each interval of 60 minutes, one hour, throughout every day and of every month of the years that include the information upon which it is measured. This is repeated for all the levels in which the interval of maximum irradiances has been divided and for the site of observation. The cumulative frequency curves display the number of hours' average in which different levels from irradiance in  $\text{W/m}^2$  are had. In this case, they appear to be the hours of direct irradiance for the north-south field concentrators of Cerro Prieto. If the threshold irradiance  $I_c$  of a solar system is known, the CFC makes it possible to obtain the collector operating time directly as  $n_h(I_c)$ .

The area delimited by the CFC, the vertical axes and horizontal axes or  $I_c$  line, represents the solar energy available above the critical flow of irradiance,  $I_c$ . The solar energy available is given by the simple integral in equation 3:

$$H_C(I_c) = \int_{I_c}^{I_{\max}} n_h(I) * dI \quad (3)$$

As noted, for a zero threshold  $H_C = 0$ . The intercept with the vertical axis represents the maximum solar irradiance ( $I_{\max}$ ) which can be achieved during the month on the plane considered,  $I_{\max}$  is generally observed at solar noon on clear days.

#### Comparison of the data

With the purpose of validating the data, that is to say, to verify that they are so reliable, the cumulative frequency curves and solar available energy of beam irradiance in Cerro Prieto are compared with the curves of San Luis Río Colorado.

## Results

Next the Cerro Prieto cumulative frequency curves (figs. 1, 2, 3 and 4) are shown, which display the number of hours that, on average, are measured for different levels of irradiance in  $\text{W/m}^2$ . Figures 5, 6, 7 and 8 show the solar energy available. In this case, the hours of direct irradiance registered in the geothermal Cerro Prieto field appear, taking into account the data from normal beam irradiance averaged from four years, and the value of the  $\cos$  factor.

Figures 9, 10, 11 and 12 are cumulative frequency curves for San Luis Río Colorado, which display the number of hours in  $\text{W/m}^2$  of beam irradiance average from two years and the value of the  $\cos$  factor.

Figures 13, 14, 15 and 16 show the solar energy available. In this case, the hours of direct irradiance registered in San Luis Río Colorado appear, taking into account the data from normal beam irradiance averaged from three years and the value of the  $\cos$  factor.

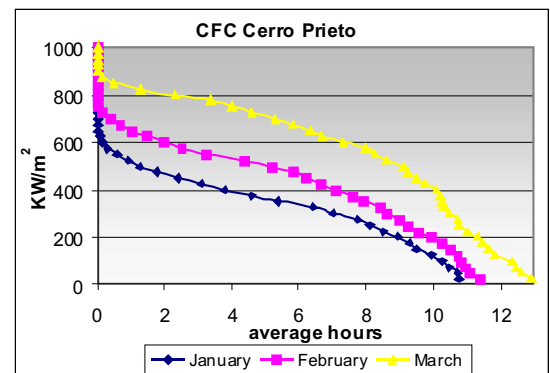


Figure 1. January, February and March Cerro Prieto cumulative frequency curves.

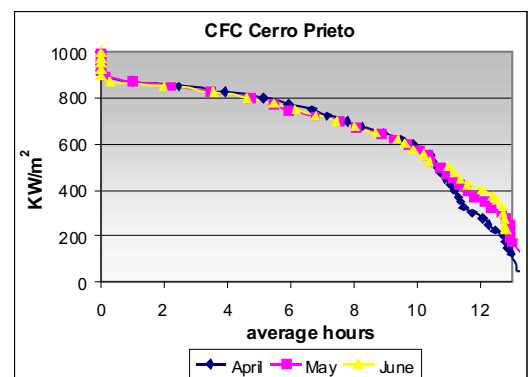


Figure 2. April, May and June Cerro Prieto cumulative frequency curves.

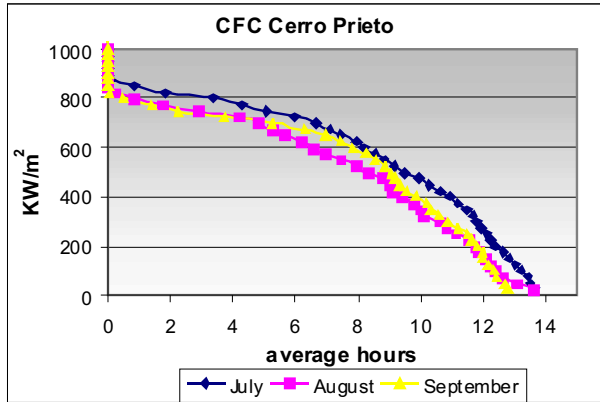


Figure 3. July, August and September Cerro Prieto cumulative frequency curves

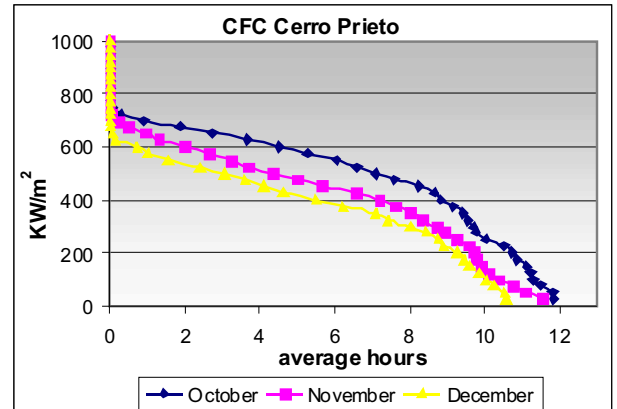


Figure 4. October, November and December Cerro Prieto cumulative frequency curves

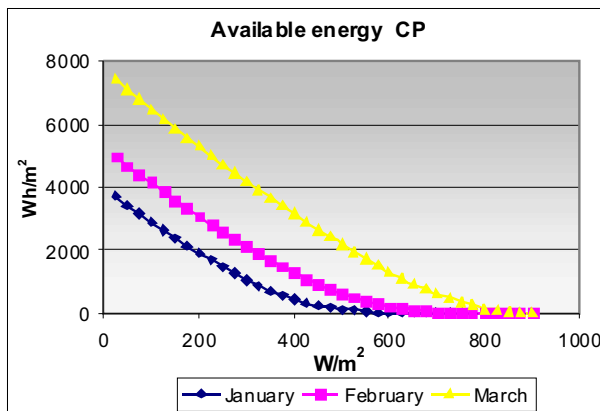


Figure 5. January, February and March Cerro Prieto solar energy available

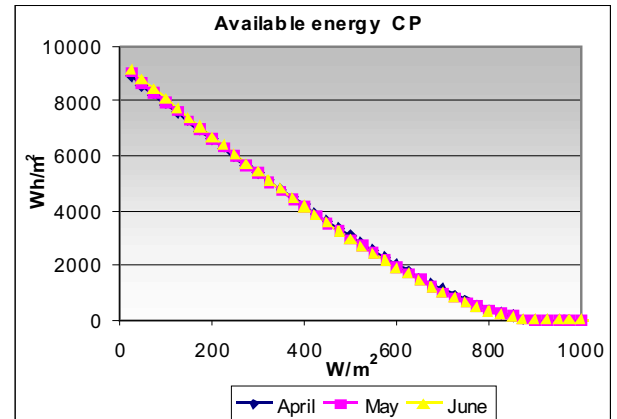


Figure 6. April, May and June Cerro Prieto solar energy available

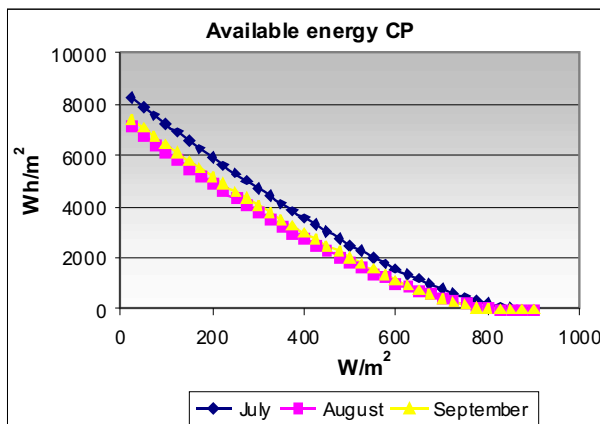


Figure 7. July, August and September Cerro Prieto solar energy available

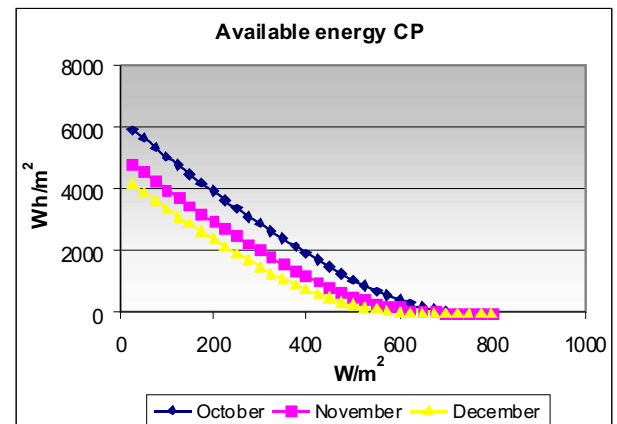


Figure 8. October, November and December Cerro Prieto solar energy available

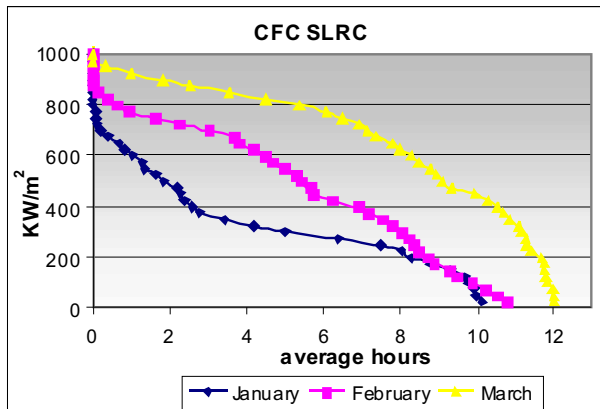


Figure 9. January, February and March SLRC cumulative frequency curves

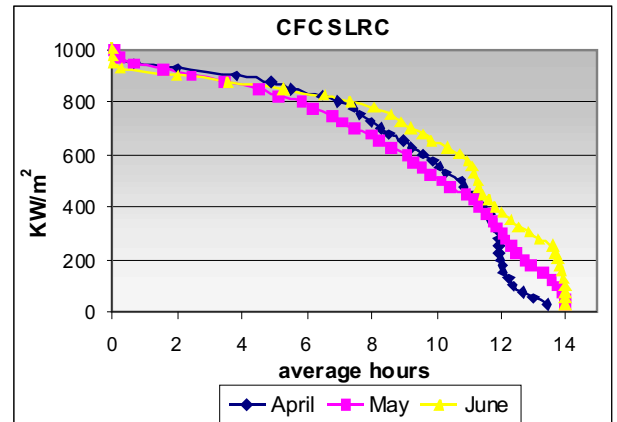


Figure 10. April, May and June SLRC cumulative frequency curves

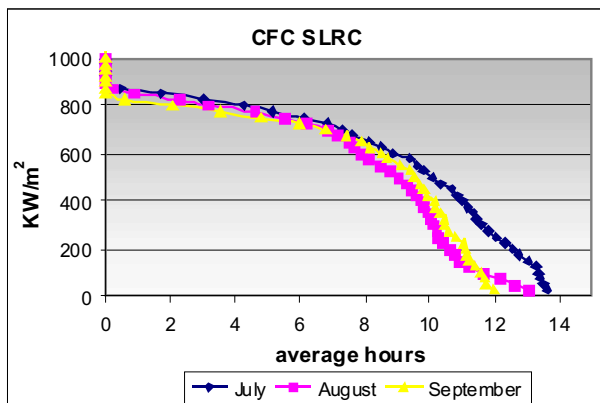


Figure 11. July, August and September SLRC cumulative frequency curves

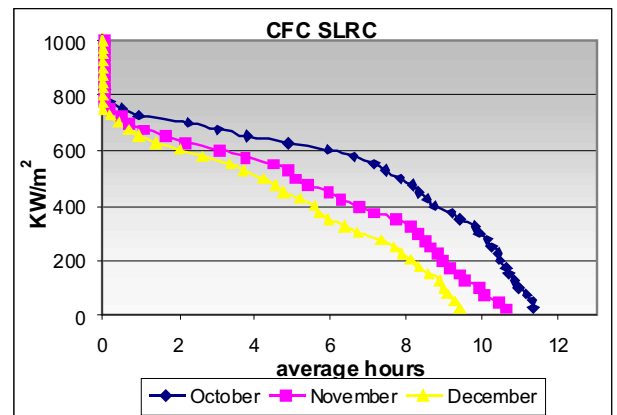


Figure 12. October, November and December SLRC cumulative frequency curves

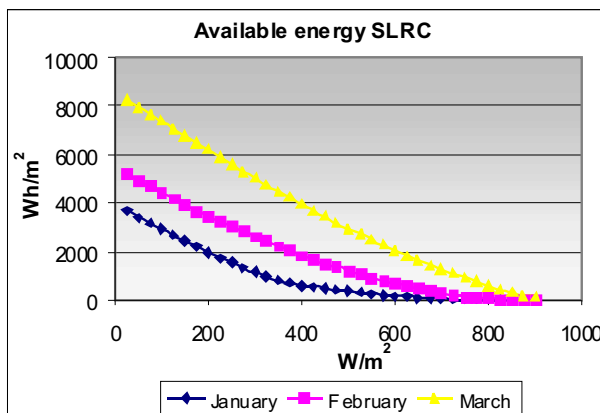


Figure 13. January, February and March SLRC solar energy available

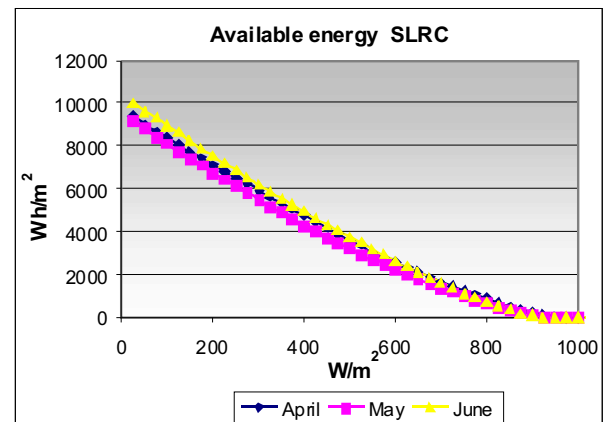


Figure 14. April, May and June SLRC solar energy available



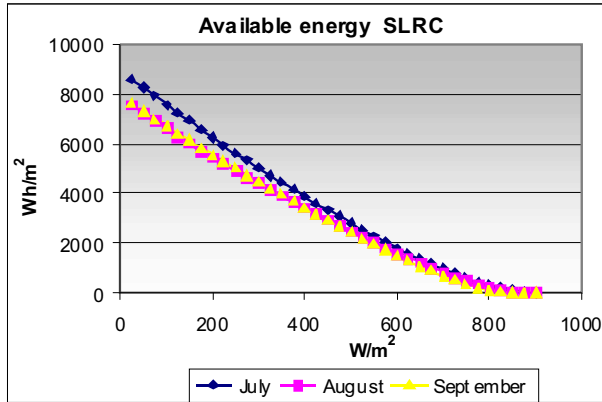


Figure 15. July, August and September SLRC solar energy available

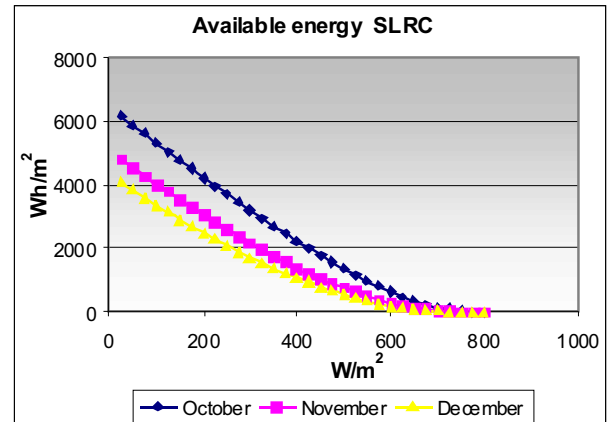


Figure 16. October, November and December SLRC solar energy available

When the cumulative frequency curves and solar available energy of beam irradiance in Cerro Prieto compared with the curves of San Luis Río Colorado, they do not have important variations that could disqualify either set of measurements.

The CFC's are useful to consider the monthly production of a solar field. If it is required, it is possible to do them with greater detail, making a greater number of divisions at the intervals of the critical levels. The CFCs of June in CP and SLRC, which were observed over  $800 \text{ W/m}^2$  had six hours, implying that a concentrator will work with those levels or over if higher irradiance can be obtained during that number of hours. This implies that during this period the steam production can be obtained for that power or over this period if the irradiance is higher, depending on the area of the PTC solar field. If the equipment works over  $400 \text{ W/m}^2$ , it will operate for around 11 hours. Following with another example now with the month of January, such equipment will only operate for around two hours over  $400 \text{ W/m}^2$ , not arriving at one hour over  $800 \text{ W/m}^2$ . In this case the division throughout the year was made by month, but it can be made by another form, for weeks or every 10 days throughout the year.

### Nomenclature

- : Angle of incidence of beam irradiance on a surface [degrees]
- : Solar declination [degrees]
- : Latitude [degrees]
- : Hour angle [degrees]
- : Slope [degrees]

: Surface azimuth angle [degrees]

$n_h$ : Time [hours]

$I_c$ : solar irradiance on a given plane. [ $\text{W/m}^2$ ]

$I_{\max}$ : maximum solar irradiance. [ $\text{W/m}^2$ ]

$Z$ : zenithal

### Conclusions

The data provided in Cerro Prieto of direct solar irradiance are calculated from the data of global and diffuse irradiance measured by a pyranometer of rotating shadowband pyranometer type; these data of direct normal irradiance have the disadvantage of not being measured directly by a pyrheliometer, but for evaluating the technical feasibility are sufficient. The data do not present great variations allowing confidence in them, although the compared data were of global irradiance. It is advisable to count with a pyrheliometer in Cerro Prieto to measure the normal direct irradiance, and not to calculate it since one has become in this case.

The CFC shows that the months with the greater number of hours at the highest levels of irradiance are the months of April to July and, at the other extreme, those of minor level are the months of November to January. With the use of these curves it is possible to observe in which month the greater steam production is possible. If a solar field of solar concentrators were used, this one would be the month of June and the one with the smaller production would be the month of January. The disadvantage of the CFC is that it is not possible to know with exactitude to the hour when the different levels of irradiance are obtained. The amount of energy is known in the number of hours' average per

month, but not in which moment these appear, which is important in an electrical generation plant when is required in detail. This can be done only in real-time if a pyrheliometer is available or, in the future, with satellite images, if a good methodology is available.

The solar field with north-south alignment in the solar-geothermal hybrid system is a good option to cover the demand peak in summer due to air conditioning in Cerro Prieto and San Luis Río Colorado.

### Acknowledgments

To CONACyT by the scholarship granted to the first author, the DGAPA by supported economic for the development of the project, to the Federal Commission of Electricity by the economic support, the asked for information and the facilities.

### References

- Almanza R., López S. Total Solar Radiation in Mexico Using Sunshine Hours and Meteorological Data. *Solar Energy*, 21:441-448. 1978.
- Almanza R, Muñoz F. *Ingeniería de la Energía Solar*. Mexico DF. Colegio Nacional. 1994. Pp. 87-103.
- Bourges B. *Climatic Data for Handbook Europe*, Kluwer. Netherlands. Academic Publishers. 1992. Pp.15 -18.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Internal Report Bid 13164093-002-02, CFE-23-CC-MI-II. (in Spanish). México. 2002.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Private Communication. Morelia Michoacán. 2003.
- Collares-Pereira M., Rabl A. Simple Procedure for Predicting Long Term Average Performance of Nonconcentrating and Concentrating Solar Collectors. *Solar Energy*, 23:235. 1979.
- Duffie J., Beckman W. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. New York, USA. Wiley Interscience. 1991. Pp. 13-27.
- Lentz A., Almanza R., Ruiz V. A Hybrid Solar-Geothermal System to Increase the Quantity of Steam in Cerro Prieto, Baja California, Paul Scherrer Institut. In: Proc 11<sup>th</sup> SolarPACES 2002, International Symposium, Zurich, Switzerland, 2002, p. 553.
- Lentz A. Incremento en la cantidad de vapor de los ciclos geotermoelectricos mediante concentradores solares de canal parabólico. Tesis (Ph. D. dissertation). Posgrado de las Ingenierias UNAM. México, 2005.
- Perrot. *La houille d'or*, Éditions Fayard. Paris. 1963. Pp. 32-36.
- Alvaro Eduardo Lentz-Herrea. Ph. D. in Energy Engineering, UNAM 2005. Engineering Masters in Energy, 1998. Mechanical-Electrical Engineering, UNAM 1995. Research-Professor at the Program of Energy of the Mexico City Autonomous University.
- Rafael Almanza-Salgado. Full Research Professor at the Engineering Institute, UNAM, working in projects of solar energy for 35 years. Level 3 in the National System of Researchers. NATIONAL UNIVERSITY PRIZE 2006 in Technological Innovation and Industrial Design.
- Serafín López-Ríos. He is Mechanical engineer of the Michoacan University; he has been professor in thermal power plants for more than 20 years at the same university. He got his Masterful in Administration at the Vasco de Quiroga University; at the moment holds the position of Assistant Manager of Projects of Renewable Energy in the Management of Geothermal electric Projects of CFE, where he has spent 25 years to the development of geothermal and new renewable energy projects.
- Roberto Cadenas-Tovar. Withdrawn mechanical engineer of the Faculty of Engineering at the UNAM. Scholarship holder and academic technician of the Engineering Institute, UNAM, participating in projects of solar energy. He retired from the Federal Commission of Electricity, where he toiled by 25 years in the Management of Geothermal-electric Projects, participating in geothermal, wind and solar projects.

---

### About the authors