



**Instituto Tecnológico  
de Zacatepec**



**SEP**

# **Notisit**

**REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

**OBJETOS DE APRENDIZAJE, UNA ESTRATEGIA  
PARA LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA**

**UN MODELO TARIFARIO PARA AUTOPISTAS  
RENTABLES DE ALTAS ESPECIFICACIONES**

**DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y DE MASA EN YESO  
RESIDUAL DE MOLDES PARA CERÁMICA**

**COMPARACIÓN DE TERMOTRANSFORMADORES  
POR ABSORCIÓN DE UNA Y DOS ETAPAS PARA  
REVALORIZACIÓN DE ENERGÍA DE DESECHO  
INDUSTRIAL**

**APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA  
DISEÑAR MODELOS DE SIMULACIÓN QUE DETERMINE  
LAS NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA  
DE LA ISLA DE COZUMEL, QUINTANA ROO**

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF HEAT  
CONDUCTION IN ROCK SPHERES**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CÓMPUTO PARA  
EVALUAR ECONÓMICAMENTE PROYECTOS**

**CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL  
PROCESO DE MAQUINADO DE LA PLANTA MYCOM  
MAYEKAWA**

**Artículos presentados en el**

**I Congreso Internacional en Tecnología e Innovación 2011**

Realizado del 11-15 de Abril del 2011 en el Instituto Tecnológico de Zacatepec

**No. 48  
Septiembre  
2011**



ISSN No. 1405-9967  
Certificado de Licitud de Título No. 11163  
Certificado de Licitud de Contenido No. 7794  
Que otorga la comisión calificadoradora de publicaciones  
y revistas ilustradas de la Secretaría de Gobernación.  
Reserva 04-2005-091915321800-102

## DIRECTORIO

Ing. Jorge Aceves Jiménez.  
DIRECTOR.

MC. Yolanda Figueroa Ocampo.  
SUBDIRECTORA DE PLANEACIÓN.

MEM. Ramiro Rodríguez Salgado.  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO.

MARH. Rogaciano Velázquez Vázquez.  
SUBDIRECTOR DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS.

Ing. Alma Lilly Nava Sedano.  
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE  
COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN.

Eduardo Vázquez Aranda.  
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN ESCRITA.

Eduardo Sidarta Arriaga Ambriz  
JEFE DE LA OFICINA DE DIFUSIÓN AUDIOVISUAL

Susana Castro Martínez.  
SECRETARIA.

Impresión Editorial del ITZ

Arturo Fernández Ortiz

Jesus Basilio Castrejón Cortes

COORDINADOR TÉCNICO DE  
LA REVISTA NOUSITZ

Dr. Rene Salgado Delgado

Tiraje 250 ejemplares Distribución Gratuita.

## CONSEJO EDITORIAL

ING. JORGE ACEVES JIMÉNEZ  
PRESIDENTE DEL CONSEJO DE EDITORIAL

MEM. RAMIRO RODRÍGUEZ SALGADO  
SECRETARIO ACADÉMICO

ING. VIRIDIANA GARCÍA NAVARRO  
SECRETARIO OPERATIVO DEL CONSEJO DE EDITORIAL

ING. ALMA LILLY NAVA SEDANO  
SECRETARIO TÉCNICO DEL CONSEJO DE EDITORIAL

## ASESORES

DR. EDGAR GARCÍA HERNÁNDEZ  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DR. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ CAMPOS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DR. FRANCISCO JAVIER CARTUJANO ESCOBAR  
DEPTO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

ING. RICARDO RODRÍGUEZ ROBLEDO  
DEPTO. DE METAL-MECANICA

DR. JOSÉ LUIS CORONEL TRUJILLO  
DEPTO. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DR. RENE SALGADO DELGADO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ING. RODOLFO LÓPEZ BAILÓN  
DEPTO. DE QUÍMICA - BIOQUÍMICA

DRA. ANA CELIA CAMPOS HERNÁNDEZ  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

M.C. ÁNGEL SANDOVAL JACOBO  
DEPTO. CIENCIAS BÁSICAS

DRA. MINERVA GUADALUPE VARGAS VEGA  
POSGRADO DE METAL-MECANICA

ING. CLAUDIA BARRETO CABRERA  
DEPTO. DE ING. INDUSTRIAL

ING. CLAUDIA NOGUERÓN GONZÁLEZ  
INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

MARH. ROBERTO YÁÑEZ HERNÁNDEZ  
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

LIC. BLANCA NIEVES CABRERA LÓPEZ  
CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

**OBJETOS DE APRENDIZAJE, UNA ESTRATEGIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA—Páginas (04-15)**

Larisa Enríquez-Vázquez

Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación. Circuito exterior s/n; frente a contaduría. Ciudad universitaria, México, D.F. 04510:

larisaev@unam.mx

**UN MODELO TARIFARIO PARA AUTOPISTAS RENTABLES DE ALTAS ESPECIFICACIONES—Páginas (16-32)**

Salvador Flores-Hernandez<sup>1\*</sup>, Marco Aurelio Velázquez Velasco<sup>1</sup>

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Departamento de Ciencias de la Tierra. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, chavafloresh@yahoo.com.mx

**DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y DE MASA EN YESO RESIDUAL DE MOLDES PARA CERÁMICA—Páginas (33-41)**

Rodolfo López Bailón\*, Juan Pablo Pérez Orozco, Zully Vargas Galarza, Rodolfo López Chávez y

Manuel Jesús Granados Baeza

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Zacatepec,

**COMPARACIÓN DE TERMOTRANSFORMADORES POR ABSORCIÓN DE UNA Y DOS ETAPAS PARA REVALORIZACIÓN DE ENERGÍA DE DESECHO INDUSTRIAL ———Páginas (42-54)**

R.J. Romero\*, S. Silva-Sotelo, J. Ibarra-Bahena, L. Velázquez-Avelar, M. Náfate-Gutiérrez

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca Morelos., 62209 Mexico. rosenberg@uaem.mx

**APLICACIÓN DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA DISEÑAR MODELOS DE SIMULACIÓN QUE DETERMINE LAS NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA DE LA ISLA DE COZUMEL, QUINTANA ROO —————Páginas (55-69)**

William Alberto Carrillo Interián<sup>1\*</sup>, José Manuel Ramírez Romero<sup>2</sup>

1) Instituto Tecnológico de Chetumal, Departamento de Ciencias Básicas, Av. Insurgentes No. 330 esquina Av. Andrés Quintana Roo, colonia David Gustavo Gutiérrez Ruiz, Apartado Postal No. 267, C.P. 77013, ciudad Chetumal, Quintana Roo México, william.carrillo@upaep.edu.mx

2) Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Av. Independencia Nacional No. 151, Autlan, Jalisco, jmromero@cucsur.udg.mx

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF HEAT CONDUCTION IN ROCK SPHERES—Páginas (70-75)**

Contreras-Palacios A.<sup>1</sup>, Cazarez-Candia O.<sup>1,2\*</sup>, Torres-Tapia I.G.<sup>1</sup>, Ovando-Castelar R.<sup>1</sup>, Campos-Álvarez J.<sup>1</sup>

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec, Morelos, C.P. 62780, cazarez\_oct@hotmail.com 2) Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas Norte 152, col. San Bartolo Atepehuacan, México D.F., C.P. 07730

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CÓMPUTO PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE PROYECTOS ———Páginas (76-98)**

Jorge Miguel Paulino Vázquez Alvarado<sup>1\*</sup>, Ignacio Ocampo Millán<sup>2</sup>, Juan de Dios Bustamante Orañegui<sup>1</sup>, Mayra Rubí Rodríguez Tapia<sup>3</sup>

1) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatepec. Km 0.5 Carr. Zacatepec – Galeana. Zacatepec, Mor. CP. 62780 Correo e: vazquez.jorge@inifap.gob.mx.com

2) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Autopista del Sol km 104, Colonia Real del Puente, Xochitepec, Mor. C. P. 62790

3) Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Sistemas

Computacionales e Informática. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec, Mor. C.P. 62780.

**CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MAQUINADO DE LA PLANTA MYCOM MAYEKAWA ———Páginas (99-112)**

José Luis Coronel Trujillo<sup>1\*</sup>, Guadalupe Gómez Ortiz<sup>1</sup>, Luis Alberto Medina Juárez<sup>1</sup>, Oscar Román Rosales<sup>1</sup>, Elías Estrada Gonzaga<sup>1</sup> Victoria Yazmin Atala Campos<sup>1</sup>

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Industrial,

Departamento de posgrado e investigación. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, zacatepecjlet@hotmail.com

# OBJETOS DE APRENDIZAJE, UNA ESTRATEGIA PARA LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA

Larisa Enríquez-Vázquez

Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Cómputo y Tecnologías de Información y Comunicación. Circuito exterior s/n; frente a contaduría. Ciudad universitaria, México, D.F. 04510:

[larisaev@unam.mx](mailto:larisaev@unam.mx)

## RESUMEN

Los objetos de aprendizaje representan un modelo de creación de contenidos digitales educativos, basados en dos características fundamentales: reuso e interoperabilidad. El reuso de contenidos se enfoca en obtener más y mejor provecho de un contenido educativo a través de la adaptación del mismo, para diferentes contextos. En el caso de la enseñanza de las distintas ramas de las ingenierías, se identifica una oportunidad real en la aplicación de los objetos de aprendizaje.

**Palabras clave:** objetos de aprendizaje, reuso

## ABSTRACT

Learning objects represent a model for creating digital educational content. This model focuses on two main characteristics: reuse and interoperability. Content reuse is meant to take the most out of educational content through adapting content for different contexts. In the specific case of teaching engineering

**Keywords:** learning objects, reuse

## 1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Ingeniería, como ocurre con la enseñanza de muchas otras disciplinas, se enfrenta ante un gran reto para adaptarse a las circunstancias actuales que la sociedad vive. Por un lado, la situación global demanda que los profesionistas reúnan una serie de competencias y habilidades mínimas generales que faciliten las alianzas organizacionales y la movilidad de personal pero por otro lado, también es necesario fomentar el análisis del contexto específico de cada región y así promover que los egresados de alguna carrera profesional, atiendan problemas cercanos a ellos. En el caso específico de la enseñanza de la Ingeniería, donde se estudia la aplicación de la tecnología en sus diferentes ramas, se vuelve especialmente importante la idea de formar gente capaz de incidir en el mejoramiento de su entorno, aprovechando mejor los recursos con los que se cuenta y considerando las características propias del mismo (sociales, económicas, políticas y culturales).

Albéniz et al [1], en su libro “Evolución de los tres momentos de la docencia en Ingeniería”, mencionan:

*“La concepción de la ingeniería como un agente determinante del desarrollo social debe estar fuertemente radicada en la esencia de los programas de educación de nuevos ingenieros, materializada en la promoción de la investigación para el desarrollo y el uso de las nuevas tecnologías, la transferencia de conocimiento a través de la Región, el trabajo solidario para encontrar soluciones a los problemas comunes y el fomento a la movilidad de investigadores, profesionales y estudiantes.”*

Aunado a esta situación, existe además lo que podemos llamar la modernización de la docencia, donde los efectos de las tecnologías de información y comunicación van más allá de la transformación de los ambientes de aprendizaje impactando también en el trabajo que los distintos actores venían realizando, en los modelos educativos empleados e incluso, en las estructuras organizacionales de las instituciones educativas.

En el caso específico de los ambientes de aprendizaje, el espacio físico ha dejado de ser imprescindible. Las diferentes herramientas y tecnologías con las que contamos actualmente permiten que desarrollemos una inmensa cantidad de actividades académicas, prácticamente desde cualquier lugar del mundo. Impartir una clase, participar en un debate grupal, atender dudas personales de los estudiantes, recibir y revisar tareas y proyectos, distribuir documentos; son ejemplos de las muchas acciones que se están llevando a cabo a distancia, en una gran cantidad de instituciones de educación superior. Además, la flexibilidad de acceso que ofrecen estos entornos educativos ha dado lugar a la incorporación de modelos de educación abierta e informal, en los modelos escolarizados y formales dando como resultado opciones reales para contribuir en la solución de problemas como cobertura y equidad.

*La velocidad de los procesos de formación se ha multiplicado con la presión de la ciencia y la tecnología sobre las fronteras académicas de la educación profesional. La complejidad y el dinamismo de las formas de movilidad del conocimiento multiplican*

*la importancia de las redes y grupos de investigación para generar y divulgar conocimiento por fuera del ámbito universitario, mientras la omnipresencia de Internet, la versatilidad y desarrollo de las telecomunicación, la instrucción a distancia y el uso creciente de medios virtuales determinan la reducción del tiempo de trabajo presencial de estudiantes y profesores, fomentan la autogestión del aprendizaje y plantean serios interrogantes sobre la vigencia del papel de la educación superior en el mapa de las nuevas relaciones con el conocimiento y la sociedad (Cañón [2]).*

Hoy en día existen ejemplos de organizaciones y centros de conocimiento que ofrecen oportunidades de actualización y capacitación de manera permanente y en algunos casos, con acceso gratuito. Empresas privadas han creado programas de formación propios que, no nada más permiten que empleados que tenían algún tipo de estudio o carrera trunca la concluya, sino que además se registren en programas de especialización o profesionalización que impactarán directamente en el trabajo que realizan al interior de la organización.

Es dentro de este marco, donde entonces debemos plantearnos la pregunta, ¿qué hacemos como universidades para adaptarnos a estos cambios? ¿Cómo fomentar habilidades para la autogestión de los estudiantes? ¿Qué se puede hacer en el caso específico de la enseñanza de la Ingeniería?

De acuerdo a lo que señala el rector de la Universidad Nacional de Catamarca, en Argentina y ex-presidente de la CONFEDI (Consejo Federal de Decanos de la Ingeniería), la enseñanza de la Ingeniería, en cualquiera de sus ramas, conlleva la enseñanza y formación en competencias y habilidades tales como:

- aplicar las matemáticas y las ciencias
- diseñar y conducir experimentos
- interpretar datos
- diseñar sistemas, componentes y procesos

- trabajar de manera interdisciplinaria

Incluso, una inquietud de la ASIBEI (Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería) es la de crear un Espacio Común Iberoamericano para la Enseñanza de la Ingeniería, que facilite la movilidad estudiantil, posibilite la equivalencia profesional y eleve la calidad de la enseñanza en la región; entre otros.

Sin duda las acciones que deberán emprenderse son diversas y de diferente índole que incluyen la revisión y renovación de los planes curriculares, las modalidades educativas, el desarrollo de recursos didácticos; entre otros. En el aspecto específico de contenidos educativos para la enseñanza y el aprendizaje, no es suficiente con ajustar las currículas de las distintas carreras sino también es importante crear materiales que faciliten la distribución del conocimiento, la aprehensión de conceptos y la adaptación de materiales para diferentes contextos. Al igual que tecnologías como Internet ofrece las oportunidades de encontrar información precisa en el momento que lo requerimos, deberíamos considerar la posibilidad de contar con materiales puntuales que promovieran habilidades, capacidades y/o conocimientos específicos para reforzar, actualizar o introducir un nuevo concepto, una técnica, una metodología o un proceso. Es en este sentido que los objetos de aprendizaje representan una propuesta para la elaboración de contenidos educativos de gran alcance.

## **2. QUÉ SON LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE**

El término de objeto de aprendizaje se introdujo en la década de los '90 para referirse a un modelo de creación de contenidos digitales educativos, basados principalmente en dos características fundamentales: reuso e interoperabilidad. El reuso de contenidos se enfoca en obtener más y mejor provecho de un contenido educativo a través de la re-adaptación del mismo para así ajustarlo a contextos educativos específicos. Por lo que respecta a la interoperabilidad, el objetivo es lograr contenidos educativos que se comuniquen de una mejor manera con diferentes plataformas para el aprendizaje (comúnmente llamadas LMS y LCMS por sus siglas en inglés Learning Management System y Learning Content

Management System), dando pie así a tener información sobre la manera en la que interactúan los estudiantes con los contenidos educativos que se les ofrece.

Dadas estas dos características fundamentales se puede intuir que, si bien se habla de los objetos de aprendizaje como recursos dirigidos a la educación, también es cierto que interviene fuertemente una serie de características tecnológicas que garantizan el reuso y la interoperabilidad. Dichas características están asociadas a una serie de iniciativas y estructuras informáticas que permiten que los objetos de aprendizaje puedan ser, por un lado transportados, integrados y reutilizados en diferentes LMS y por otro lado, organizados y adaptados de diferentes maneras a través de la edición del árbol de contenidos que presentan los objetos de aprendizaje. Estas especificaciones se concentran en dos modelos llamados SCORM (Shareable Content Object Reference Model) e IMS-CP (IMS Content Package), respectivamente. Dicho de otra manera más visual y resumida, podemos definir al objeto de aprendizaje a través del siguiente mapa conceptual, que muestra la inter-relación tecnológica y didáctica que existe en un objeto de aprendizaje (Enríquez, [3]).

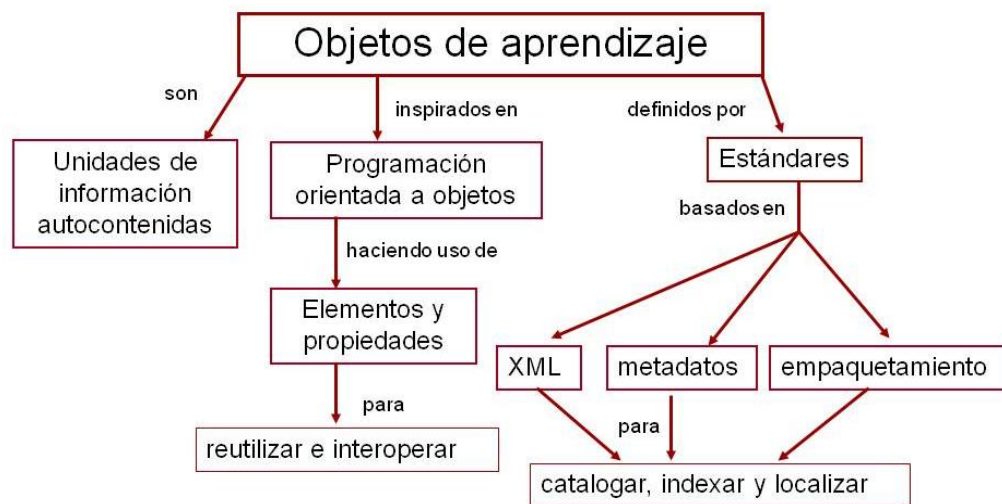


Figura 2.1 Mapa conceptual que define a los objetos de aprendizaje



### **3. OBJETOS DE APRENDIZAJE COMO APOYO A LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERÍA**

Las experiencias en desarrollo de objetos de aprendizaje son muchas y de diversa índole ya que se les revisa desde diferentes áreas. Para el caso específico del área educativa, a través de esta estrategia se ha buscado alcanzar diferentes objetivos, tales como:

- apoyar y reforzar actividades escolares (tanto docentes como de aprendizaje)
- brindar patrones de materiales, para la enseñanza basada en competencias
- construir acervos digitales de materiales educativos
- construir programas de educación a distancia
- impulsar programas de educación flexibles, abiertos
- promover el estudio autónomo
- generar la cultura de compartir contenidos

En el caso de la enseñanza de la Ingeniería, encontramos diferentes casos de uso que van desde la creación de objetos de aprendizaje como materiales de apoyo a programas de formación específicos, en la adquisición de habilidades y competencias, hasta la conformación de repositorios digitales de contenidos educativos que ponen al alcance de, prácticamente todo mundo, recursos de formación y actualización. Además, por medio de esta estrategia, es posible apoyar otras líneas y enfoques, que ayudarían a enfrentar los retos que hoy en día la enseñanza de la Ingeniería enfrenta y que a continuación se describirán.

#### **3.1 Desarrollo de materiales reutilizables**

Realizar materiales educativos bajo el esquema de objeto de aprendizaje es considerar un mayor alcance del material, ya que al hablar de objetos de aprendizaje estamos, de manera implícita, hablando de una enseñanza centrada en el objeto de estudio. Bajo este esquema, dicho objeto se percibe de una manera modular que puede adaptarse dependiendo de diferentes circunstancias, tales como son el contexto educativo, el perfil del estudiante, el nivel de complejidad con el que se quiere abarcar el objeto de estudio y la perspectiva

desde la cual se quiere abordar; por mencionar algunas.

Es así como podemos hablar de un módulo que encierra la idea fundamental del concepto a tratar pero, por otro lado también se cuenta con otros módulos orientados a dar el contexto necesario y nivel de dificultad específico y necesario para el estudiante que estamos atendiendo. Incluso Chiappe [4] destaca que un objeto de aprendizaje está conformado por tres componentes, siendo una de ellas de contenidos y otra de contextualización.

Para el caso de la enseñanza de la Ingeniería existen diferentes ramas de estudio que van desde el trabajo en la industria a través del análisis y diseño de procesos de producción y manufactura, hasta la implementación de modelos de conservación del campo y los bosques, pero que a la vez contienen características esenciales en lo que se refiere a formación científica. De ahí que la gran mayoría de las instituciones de educación superior presenten un tronco común para las diferentes carreras que ofrecen en esta área, donde comúnmente destacan asignaturas como Geometría Analítica, Cálculo diferencial e integral, Álgebra, Fundamentos de Física e incluso de Química. Es así como, si una institución decide elaborar materiales educativos digitales de apoyo a sus programas de formación, los objetos de aprendizaje pueden diseñarse de tal manera que atiendan, tanto las generalidades como las especificidades de los conceptos y temas por revisar que cada rama presenta, reutilizando los contenidos centrales del concepto y adecuando únicamente el contexto.

A manera de ejemplo, revisemos el siguiente material de la Universidad de Northampton [5] que aparece en la figura 3.1, el cual es un manual breve que explica cómo hacer que funcionen los motores y los engranes para un equipo específico de robots. El manual se desarrolló para un fin particular específico que tiene que ver con un proyecto de robótica de la misma universidad. Sin embargo, como el objeto de aprendizaje está enfocado en explicar cómo funcionan los motores de un juego para armar robots, el módulo se podría extender para estudiarlo desde el aspecto de ingeniería industrial, ingeniería en sistemas o ingeniería mecánica; por mencionar algunos donde, si solamente se agregan determinadas

preguntas o actividades específicas, se puede orientar el enfoque de estudio.

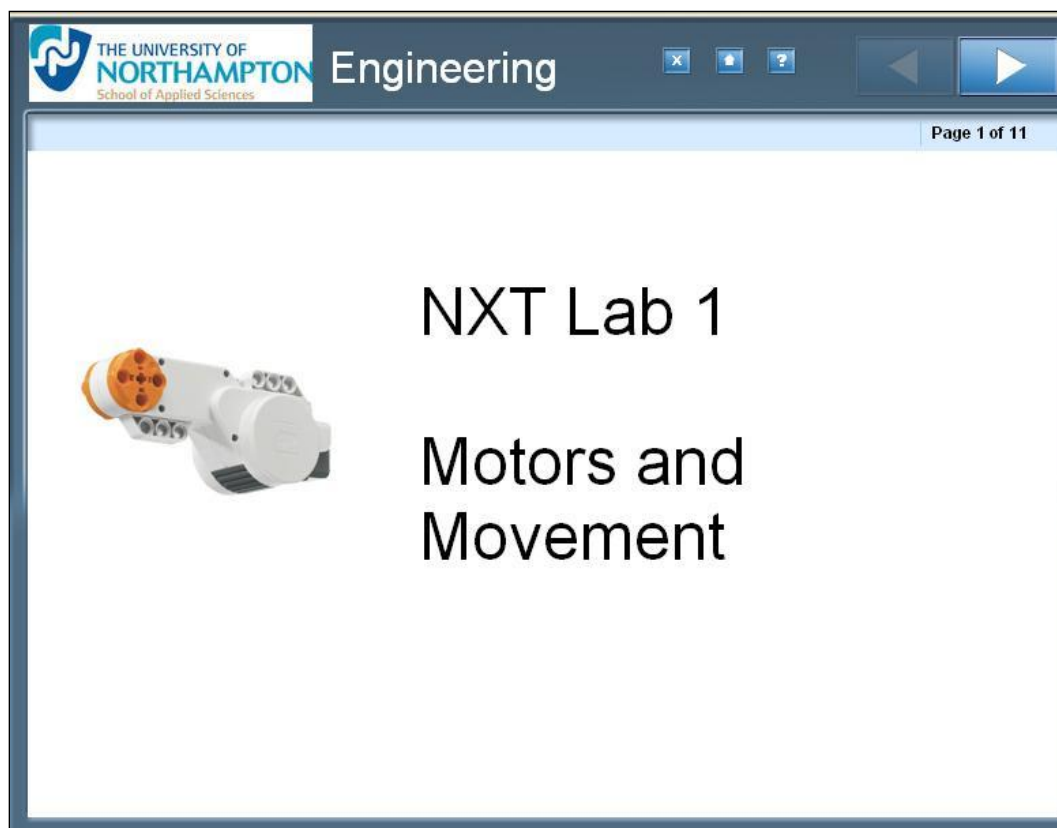


Figura 3.1. Objeto de aprendizaje “Motors and movement”,  
de la Universidad de Northampton

### **3.2 Movilidad estudiantil y programas compartidos**

El surgimiento y la evolución de las TIC han abierto oportunidades a todas las instituciones y centros de educación y capacitación, de transformarse a sí mismas y a los programas que ofrecen a sus estudiantes. Es de esta manera que encontramos una variedad en los modelos organizacionales y modalidades de formación y capacitación a las que han recurrido cada una de ellas para atender las demandas que la sociedad actual les solicita.

Dentro de estas nuevas organizaciones, encontramos cada vez, con mayor frecuencia, la conformación de alianzas universitarias ya sea para compartir programas de formación (en modalidades a distancia o semipresenciales) o bien, para facilitar la movilidad de los

estudiantes de una institución a otra. En particular en México se ha creado el Espacio Común de Educación Superior para establecer un espacio educativo nacional que permita la conjunción de esfuerzos para elevar los niveles académicos y fortalecer la educación y la investigación como tareas y obligaciones públicas, en beneficio de las comunidades de alumnos y académicos (ECOES, <http://www.ecoes.unam.mx/>)<sup>1</sup>

Este tipo de acuerdos conlleva un trabajo de consensar el trabajo de formación que ofrecen los distintos socios a través de sus planes y programas de estudio y, para ello los objetos de aprendizaje ayudan desde dos puntos de vista. Por un lado, la facilidad que ofrecen los objetos de aprendizaje para ser compartidos, permiten que se intercambien contenidos entre instituciones; de tal manera que:

- se garantice que las instituciones participantes cubran de manera similar los programas de formación
- se puedan distribuir tareas de elaboración de contenidos, de acuerdo a las fortalezas y áreas de expertise que cada institución tiene, conformando así una producción colaborativa de materiales educativos

Por otro lado, al incluir los objetos de aprendizaje un modelo de comunicación con las plataformas educativas para registrar el desempeño del estudiante, resulta fácil y transparente para las entidades participantes, constatar el trabajo de los actores involucrados (profesores, alumnos y administrativos).

### **3.3 Actualización permanente**

Hoy en día, los cambios constantes y tan rápidos que ocurren en el ámbito laboral y social, obligan más que nunca a estar en un proceso de actualización permanente. Anzorena [6], en el 2003, comentaba:

---

<sup>1</sup> El ECOES también ha extendido su oferta educativa a través del ECOESAD (Espacio Común de Educación Superior a Distancia), donde sobra mencionar los beneficios que se obtendrían en programas de dicha modalidad, bajo el diseño de objetos de aprendizaje.

*Estamos pasando de concebir a la educación como algo que acontece durante un tiempo determinado en un ámbito formal, donde se asimila información para adquirir un saber técnico que luego será aplicado a lo largo de la carrera profesional, a una concepción del aprendizaje como un proceso permanente, que excede los ámbitos formales de educación e implica incorporar en forma continua una actualización del conocimiento específico, como un conjunto de saberes y destrezas que posibiliten la efectividad laboral en ámbitos organizacionales dinámicos y complejos, cruzados por la incertidumbre y las turbulencias del entorno.*

Se menciona entonces que las instituciones de educación superior deben considerar la formación de los individuos en habilidades y competencias que les permitirán ser responsables y analíticos con respecto a la capacitación y actualización que requieran para enfrentar los cambios laborales y sociales de un mundo globalizado, así como para el estudio autodirigido que garantice que dicha capacitación y actualización sea permanente.

Pero entonces, más allá de la creación y adaptación de programas y planes curriculares, también las universidades podrían proveer a las comunidades de egresados, y a los profesionistas en general, una serie de materiales que ayudaran a mantenerlos competitivos en el mercado laboral. Dicha objetivo se puede lograr a través de repositorios o acervos digitales de objetos de aprendizaje, los cuales reúnen recursos y ofrecen servicios digitales para favorecer la creación, difusión, uso y preservación tanto de las colecciones contenidas en los acervos, como de los datos de las mismas y de las experiencias de uso obtenidas por los usuarios. Incluso, al considerar la interoperabilidad como un tema fundamental, es posible crear redes de acervos digitales para compartir e intercambiar recursos entre instituciones, facilitando además las búsquedas en todos ellos, a partir de un único acceso y del uso de los metadatos para una identificación más clara.

Un ejemplo valioso de una red federada de repositorios de objetos de aprendizaje es la que se tiene en Australia. LORN (Learning Object Repositories Network) es una red nacional patrocinada por la comunidad australiana que reúne recursos educativos, tanto del sector

público como del privado, operando bajo los principios de confianza, cooperación e interoperabilidad. Actualmente LORN contiene más de 3000 objetos de aprendizaje.

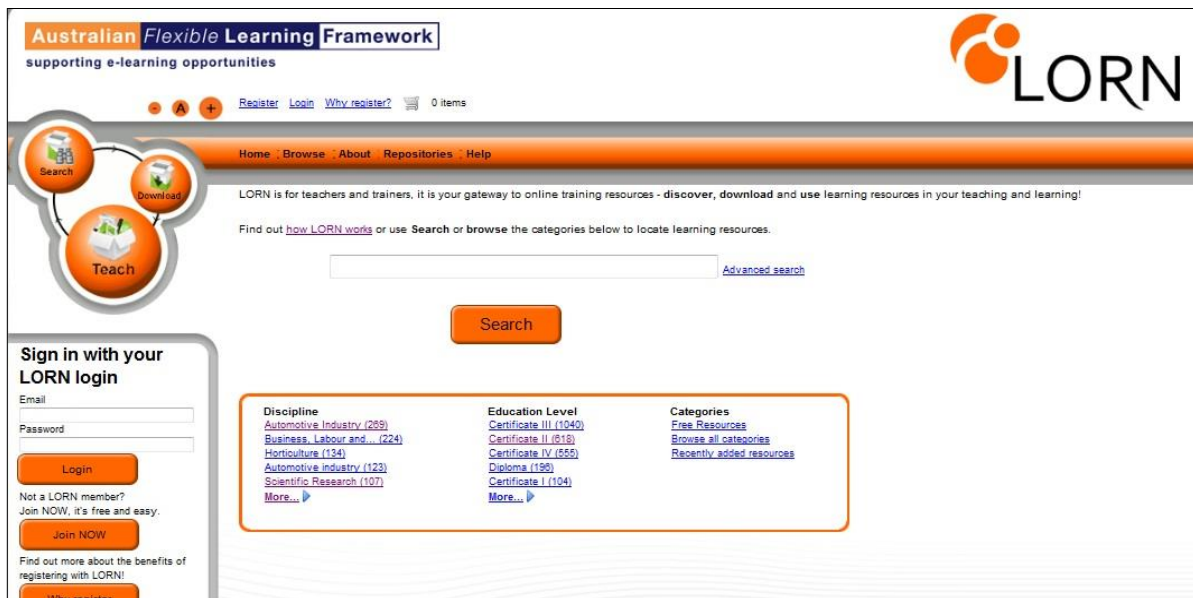


Figura 3.2 LORN (<http://lorn.flexiblelearning.net.au>)

#### 4. CONCLUSIONES

En general, los retos que la educación superior enfrenta se refieren a la capacidad misma para cambiar y ajustarse a los nuevos tiempos y las demandas profesionales actuales, sin olvidar el carácter de cultura universal, compromiso social y formación básica que debe brindar.

El caso de la Ingeniería no es la excepción, como tampoco lo es la posibilidad de aplicar los objetos de aprendizaje en esta disciplina para apoyar los esquemas de formación, capacitación y/o actualización, ya sea bajo modelos presenciales, a distancia, bimodales; en sistemas formales o no formales de educación, aplicando diversos modelos educativos y estrategias de enseñanza.

El futuro que se acerca en relación a los ambientes personales de educación y las plataformas educativas hacen prever la necesidad de contar con herramientas y contenidos que fácilmente puedan adaptarse a las necesidades del usuario pero que al mismo tiempo

puedan comunicarse con otros entornos. El concepto de objeto de aprendizaje, a lo largo de estos años ha madurado, al igual que los lineamientos y estándares que integra para su diseño y operación. Las líneas de trabajo que se actualmente se desarrollan apuntan precisamente para atender y mejorar las funciones de interoperabilidad, adaptabilidad y durabilidad, por lo cual se vislumbran como una excelente opción para enfrentar los retos que tenemos presentes en la generación de contenidos educativos.

## REFERENCIAS

- [1] Albéniz Vicente, Cañón Julio César, Salazar Jaime, Silva Eduardo. [Evolución en los tres momentos de la docencia en ingeniería.](#) ARFO editores e impresores Ltda., Colombia, 2009.
- [2] Cañón Julio César. [Enseñanza de ingeniería en Iberoamérica. Un compromiso con el desarrollo de la región.](#) ARFO editores e impresores Ltda., Colombia, 2010.
- [3] Enríquez Larisa. *Diseño de objetos de aprendizaje.* IV Seminario de Tecnologías de la Información aplicadas a la Educación Superior de la Organización de los Estados Americanos. 2005. México. Encuentro Internacional de educación superior, Virtual Educa, 2005.
- [4] Chiappe Andrés. [Modelo de diseño instruccional basado en objetos de aprendizaje \(MDIBOA\): aspectos relevantes.](#) Bogotá, Colombia. Universidad de la Sabana, 2006.
- [5] Adams Jonathan. [Motors and movement.](#) Northampton, Reino Unido. Universidad de Northampton, 2008.
- [6] Anzorena Oscar. *Rev. Reflexión Académica en Diseño y Comunicación.* 4 (4), 124, 2003.

# UN MODELO TARIFARIO PARA AUTOPISTAS RENTABLES DE ALTAS ESPECIFICACIONES

Salvador Flores-Hernandez<sup>1\*</sup>, Marco Aurelio Velázquez Velazco<sup>1</sup>

1) **Instituto Tecnológico de Zacatepec**, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Departamento de Ciencias de la Tierra. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, chavafloresh@yahoo.com.mx

## RESUMEN

En este trabajo, se ha realizado el diseño de un Modelo Tarifario para clases vehiculares ligeras, apropiado para aplicarse en autopistas de cuota de alta rentabilidad. La obtención del Modelo se ha construido mediante el uso de la Regresión Lineal Múltiple con el apoyo del Método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios y un programa de cómputo. La estructura matemática del modelo consiste básicamente de variables económicas como: Tarifa, que es la variable de respuesta, siendo las variables explicativas: Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente, Ingresos y Costos de Deterioro de la carpeta. La autopista México – Cuernavaca considerada de Altas Especificaciones y económicamente rentable de acuerdo con la generación de sus ingresos netos, sirvió de referencia para este documento.

Para determinar las condiciones iniciales del modelo, se han tomado como referencias la Teoría del Consumidor que se enuncia como Ingreso igual a Cantidad por Precio y la Ley de la Demanda expresada como “a mayor demanda menor precio”. A partir de estos conocimientos y la aplicación del Modelo se decidió incrementar el Tránsito Diario Promedio Anual con la idea de reducir la tarifa de cuota y mantener constantes los Ingresos. Ante este escenario, la tarifa resultó aceptable y en algunos casos mejoraron los ingresos.

**Palabras claves:** Modelo tarifario, autopistas rentables, variables económicas, reducción de tarifas.

## ABSTRACT

We have realized a design for a fare kind for light vehicular categories; we think that is appropriate to apply on high-income highways. This model has been built using the Multiple Lineal Regression according to the method of Ordinary Minimum Quadrants and the computer software. The mathematical model structure has economic explicable variables like Fare, answer variable, being the variables explained; every day Traffic Annual Average Equivalent, Incomes and carpet Damage Costs. Mexico-Cuernavaca highway considered economic according to generate clear incomes, it is a reference for this document.

The model first conditions can be determined taking references of the Costumer Theory is declared as an income similar to a Price Quantity and the Request Law mentioned as “higher request minor price”. Through this knowledge and the Model application was decided increase the Annual Average Daily Traffic with the thought of diminishing the fare and constantly keeping the increments. After all this, fare was acceptable and sometimes increased the profits.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento, se investiga un Modelo Tarifario [1, 2, 3, 4, 5] en autopistas de cuota rentables que actúa de acuerdo con las condiciones económicas que resultan de actividad cotidiana del servicio, es decir, se asume que para que existan altos niveles de ingresos se requiere que la cantidad de vehículos (Tránsito Diario Promedio Anual, que la



Secretaría de comunicaciones Transportes lo abrevia como TDPA) que pasa por un punto (caseta de cobro), esté plenamente asegurada. Una manera de asegurar: 1) Ingresos Monetarios; 2) Unidades Vehiculares (por sus siglas TDPA), es de contemplar la calidad del servicio ofertado con las tareas de conservación y mantenimiento de la infraestructura.

En el sistema carretero local, solamente cuatro autopistas de cuota son rentables ( $VPN > 0$ ), particularmente la autopista México – Cuernavaca, considerada también de Altas Especificaciones es evaluada con la técnica del Valor Presente Neto para certificar su rentabilidad [6].

Por otra parte, es conveniente mencionar que la información utilizada en el desarrollo del modelo se integra a partir de 1991, año en que el gobierno local propuso el manejo de la economía en pesos en vez de miles de pesos.

## **2. Metodología**

### **2.1. Los modelos tarifarios**

Una importante gama de variables se han mezclado para fijar actitudes en aquellos que se han dedicado a la obtención de un modelo tarifario que cumpla con las expectativas tanto de los operadores de proyectos, usuarios y de la administración. La utilización de modelos para la obtención de aquella tarifa que cumpla con las expectativas de los actores depende de indicadores cuyos valores se tienen ya registrados en manuales. En otros casos la obtención de una variable quizá dependa de otras.

Así por ejemplo (Rico A., et al 1995), propone en su modelo con seis ecuaciones que involucran variables como: costos de operación vehicular, longitudes de la carretera alterna y de la autopista, número de ejes equivalentes, aforos vehiculares o predicción de la demanda vehicular, además del empleo de tablas y gráficas que complementan un proceso de determinación de la tarifa de cuota.

(Hun K., et al 2000), ofrece un modelo tarifario en dos partes, determina una tarifa base y una tarifa variable en función de la inversión total de construcción de la infraestructura y de los costos variables respectivamente, adicionalmente requiere de un modelo de regresión

para pronosticar el tráfico en un horizonte de 30 años. (Bonifaz J., et al (2001) efectuó un estudio a base de variables micro y macroeconómicas: índice de precios al consumidor, tipo de cambio y una tarifa inicial que integra los costos de mantenimiento de la infraestructura; se complementa el estudio con datos obligados y relacionados con el costo de la tarifa inicial. (Vergara C., et al 2002) brinda un modelo con características interesantes. Es decir, plantea nivelar las condiciones económicas entre los actores que intervienen (usuarios, concesionario y administración) mediante su modelo planteado. La propuesta incluye otras variables: inversión, beneficios para el concesionario, costos de mantenimiento y una tarifa sombra que en casos de desequilibrio financiero el gobierno participaría con este subsidio.

## 2.2. Propuesta del Modelo Tarifario

Este documento propone un Modelo Tarifario que involucra exclusivamente a los vehículos ligeros (autos, pick – ups, vans), para determinar la tarifa de cuota en autopistas de alta rentabilidad. Para ello, se utilizarán los datos de la autopista México – Cuernavaca, localizada en el Corredor 4 del Sistema Carretero Mexicano [7]



Figura 1. Red carretera sujeta al cobro de peajes en México, se incluye el corredor 4 (Acapulco – Tuxpan), Fuente: Treviño H. México 2030, Infraestructura para el futuro, 2007

### 2.3. Supuestos y Justificación del Modelo Propuesto

La existencia de variables económicas específicas como: (Ingreso, Tránsito, Tarifa de Cuota y Costos de Deterioro), constituyen el razonamiento fundamental para definir la Teoría del modelo propuesto. Es decir, el modelo se basa esencialmente en La Ley de la Demanda [8] comprendida en la Teoría del Consumidor. Esto ha sido útil para depurar el modelo y generar otras condiciones adecuadas para la estimación de la tarifa de cuota.

### 2.4. Autopistas Rentables

Una autopista de cuota es rentable si en la utilización del VPN como técnica de valoración económica de proyectos carreteros resulta que los ingresos netos actualizados al periodo inicial son mayores que los costos incurridos.

#### 2.4.1. Utilización de VPN como indicador de rentabilidad económica de la Autopista México – Cuernavaca.

De acuerdo con Baca, G., (1994), Si  $VPN > 0$ , el proyecto es rentable. En este apartado, se determina la evaluación económica de la autopista México – Cuernavaca. Es decir, la evaluación permite observar los beneficios económicos para los operadores del proyecto. Para ello se recurre a la Teoría del Valor Presente Neto, cuya expresión es la siguiente:

$$VPN = -I_o + \sum \frac{(I_i - C_i)}{(1+r)^i} + VR_n \quad (1)$$

Donde:

VPN = Valor Presente Neto

$I_o$  = Inversión del proyecto

$I_i$  = Ingresos del proyecto

$C_i$  = Costos operativos del proyecto

r = Tasa de actualización

$VR_n$  = valor de rescate o salvamento

i = Número de años del proyecto.

Datos adicionales:

$I_0 = 2.5$  millones de dólares / Km. La administración central, utiliza este índice para autopistas que no disponen de obras estructurales como puentes o túneles y cuando la autopista dispone de dos a tres carriles por sentido. Este es el caso de la autopista México – Cuernavaca.

Longitud del proyecto = 57 Km.

$r = 10\%$ . Dato propuesto por el Banco de México. Institución que califica las tasas de actualización para proyectos de inversión.

$i = 15$  años.

$C_i = 25\%$  de los Ingresos. Ginés de R., et al, (2000), determina en su estudio el 25 % de los ingresos para determinar los costos.

$VR_n = 0$  (no está en venta el servicio).

Fechas: de 1991 hasta 2005

La Tabla1, muestra para los años de estudio la información de los ingresos del proyecto que ha generado el parque vehicular al transitar en la autopista México – Cuernavaca

Año	Ingresos totales de las categorías vehiculares: A, B2, B3, B4, C2, C3, C4, C5,C6, C7, C8, C9	Costos Operativos (\$)	Costos de Mantenimiento (\$)	Ingresos netos (\$)
1991	117'845, 885	29'461, 471	17' 249, 280	71'135, 134
1992	180'988, 504	45'247, 126	17' 968, 950	117'772, 428
1993	230'744, 934	57'686, 234	28' 911, 110	144'147, 590
1994	257'087, 938	64'271, 985	28' 786, 420	164'029, 533
1995	279'928, 701	69'982, 175	35' 883, 860	174'062, 657
1996	336'212, 523	84'053, 131	7'985, 290	244'174, 102
1997	417'935, 823	104'483, 956	51' 449, 140	262'002, 727
1998	497'190, 032	124'297, 508	50' 429, 500	322'463, 024
1999	588'704, 866	147'176, 217	56' 784, 080	384'744, 569
2000	705'812, 930	176'453, 233	96' 658, 050	432'701, 647
2001	779'120, 040	194'780, 010	98' 850, 940	485'489, 090
2002	854'336, 650	213'584, 163	110' 594, 300	530'158, 187
2003	874'529, 385	218'632, 346	127' 258, 960	528'638, 079
2004	974'056, 882	243'514, 221	8' 011, 690	722'530, 971
2005	1' 023'329, 687	255'832, 422	29' 818, 470	737'678, 795

#### 2.4.2. Determinación del VPN

Para determinar los ingresos netos ( $I_i - C_i$ ), se procede a descontar de los ingresos totales,

los costos operativos y los costos de mantenimiento. Este resultado se encuentra en la columna 5 de la Tabla 1

Sustituyendo en la ecuación  $VPN = -I_0 + \sum (I_i - C_i) \div (1 + r)^i$ , los datos de la Tabla 1, la utilización de factores discretos al 10% y efectuando operaciones se obtiene el resultado siguiente:

$$VPN_{2005} = -1,567,500,000 + 71,135,134(0.9091) + 117,772,428(0.8264) + 144,147,590(0.7513) + 164,029,533(0.6830) + 174,062,657(0.6209) + 244,174,102(0.5645) + 262,002,727(0.5132) + 322,463,024(0.4665) + 384,744,569(0.4241) + 432,701,647(0.3855) + 485,489,090(0.3505) + 530,158,187(0.3186) + 528,638,079(0.2897) + 722,530,971(0.2633) + 737,678,795(0.2394) = -1,567,500,000 + 2,106,830,065 = \$ 539,330,065.00$$

$$VPN_{2005} = \$ 539,330,065.00$$

El resultado de un VPN positivo y elevado en el 2005, indica una extraordinaria rentabilidad de la autopista México – Cuernavaca.

## 2.5. Elementos y Variables del Modelo

### 5.1. Tarifas de Cuota e Ingresos

La Tabla 2, indica los valores de la tarifa de cuota, y los ingresos generados por los vehículos ligeros (clase vehicular A) [9].

Tabla 2. Datos para diseño del Modelo. Información proveniente de la administración central.

Año	Tarifa (Pesos)	Flujo vehicular vehículos ligeros (categoría A)	Ingresos Por cobro De tarifas Autos (\$)
1991	17	6' 227, 995	105' 875, 915
1992	20	6' 970, 770	139' 415, 400
1993	25	7' 281, 020	182' 025, 500
1994	25	7' 772, 856	194' 316, 875
1995	30	6' 791, 514	203' 746, 650
1996	38	6' 587, 703	250' 339, 630
1997	46	6' 562, 772	301' 867, 410
1998	50	6' 999, 183	349' 962, 000
1999	50	7' 106, 247	426' 371, 100
2000	68	7' 264, 756	493' 992, 460
2001	70	8' 044, 830	563' 147, 550
2002	75	8' 452, 968	633' 977, 625
2003	75	8' 844, 769	666' 088, 500
2004	80	9' 199, 665	735' 956, 800
2005	80	9' 577, 942	766' 237, 200

## 5.2. Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente de la Categoría vehicular ligera

El cálculo de esta variable, se ha realizado con la ayuda de la Tabla 3 de este documento y de Tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial [10, 11], relativa a automóviles equivalentes para un análisis generalizado de segmentos de autopista y específicamente para proyectos carreteros construidos en zonas montañosas.

Tabla 3. TDPA equivalente de cada una de las categorías vehiculares. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE y Tabla 1.1.3 del Manual de Capacidad Vial.

Año	Unidades Vehiculares	Equivalencia de autos en terreno montañoso	Autos Equivalentes Terreno Montañoso	TDPA Equivalente
1991	6'227, 995	2.7	16'815, 587	46, 070
1992	6'970, 770	2.7	18'821, 079	51, 565
1993	7'281, 020	2.7	19'658, 754	53, 860
1994	7'772, 856	2.7	20'986, 711	57, 498
1995	6'791, 514	2.7	18'337, 088	50, 239
1996	6'587, 703	2.7	17'786, 798	48, 731
1997	6'562, 772	2.7	17'719, 484	48, 547
1998	6'999, 183	2.7	18'897, 794	51, 775
1999	7'106, 247	2.7	19'186, 867	52, 567
2000	7'264, 756	2.7	19'614, 841	53, 739
2001	8'044, 830	2.7	21'721, 041	59, 510
2002	8'452, 968	2.7	22'823, 014	62, 529
2003	8'844, 769	2.7	23'880, 876	65, 427
2004	9'199, 665	2.7	2'483, 996	68, 052
2005	9'577, 942	2.7	25'860, 443	70, 851

La información manejada en Tabla 3 es la siguiente:

- En la primera columna se tiene la categoría vehicular del año 2005.
- La segunda columna contiene las unidades vehiculares anuales.
- En la tercera columna se indica el factor de equivalencia para un terreno montañoso para cada categoría vehicular.
- La cuarta columna resulta de operar el factor de equivalencia por las unidades vehiculares.
- Finalmente en la última columna se tiene el Tránsito Diario Promedio Anual Equivalente que resulta de operar la columna cuatro por  $(1 \div 365)$ .

## 5.3. Costos de deterioro de la carpeta de rodamiento provocado por vehículos ligeros

El costo de deterioro está relacionado con el mantenimiento necesario para cubrir el daño causado por los vehículos en la carpeta de rodamiento [12, 13]. Este parámetro se determina considerando los aspectos siguientes:

- I. El daño causado a la carpeta por la aplicación de un eje dual con un peso de 18,000 libras, llamado Daño Unitario (DU) por eje equivalente Km. (ESAL en inglés). Para ello, se utilizó el apéndice A.
  
- II. El TDPA equivalente en términos de ESALs.
  
- III. La inflación acumulada desde 1991 ya que los costos de deterioro fueron estimados en \$ 84 por ESAL-Km. en aquella fecha (IMT).

#### 5.4. Inflación acumulada

La Tabla 4, contiene la inflación acumulada en el horizonte de análisis, (de 1991 hasta 2005) [14]. Estos datos sirvieron para actualizar el Costo de Deterioro del camino por el impacto que ejercen los vehículos ligeros.

Tabla 4. Inflación acumulada. Fuente: elaboración propia con datos del Banco de México.

Año	Inflación anual	Inflación acumulada
1991	18.79	1*1.1879=1.1879
1992	11.94	1.3297
1993	8.01	1.4362
1994	7.05	1.5375
1995	51.97	2.3365
1996	27.70	2.9837
1997	15.72	3.4528
1998	18.61	4.0954
1999	12.32	4.5999
2000	8.96	5.0121
2001	4.40	5.2361
2002	5.70	5.5308
2003	3.98	5.7510
2004	5.19	6.0495
2005	3.33	6.2491

#### 5.5. Cálculo de los Costos de Deterioro provocado por los vehículos clase A

Con la ayuda de la Tabla 6, página 15 de “Análisis Económico del Comportamiento de Secciones Estructurales de Carreteras en Diversas Circunstancias, IMT, 1995, incluida en el Apéndice A, se construye la Tabla V que contiene los cálculos del Costos de Deterioro Anual desde 1991 hasta 2005 para la clase vehicular A. El daño Unitario (DU) incluye la sobrecarga que ejerce el vehículo sobre el pavimento.

Tabla 5. Valores de los costos de deterioro causado por la categoría A sobre la carpeta de la autopista México – Cuernavaca. Fuente: elaboración propia con datos de CAPUFE

TDPA Vehículo Tipo A	Equiv ESAL Daño Unitario (DU)	TDPA Equivalente ESAL	10 <sup>3</sup> Veh/día ESAL	Costo De Deterioro Por Veh_Km. Inflación (\$) ÷ 1000 (N \$)	Costo Mant / Día 10 <sup>3</sup> \$ /día	Costo por año Autos Para Mantenimiento (Pesos) 10 <sup>3</sup>
17063 <sub>1991</sub>	0.0005	9	0.513	84*1.1879 = 0.10	0.0513	18.73
19098 <sub>1992</sub>	0.0005	10	0.57	84*1.329 0 = 0.11	0.063	23.00
19948 <sub>1993</sub>	0.0005	10	0.57	84*1.4362 = 0.12	0.0684	24.97
21295 <sub>1994</sub>	0.0005	11	0.627	84*1.5375 = 0.13	0.082	29.93
18607 <sub>1995</sub>	0.0005	9	0.513	84*2.3365 = 0.20	0.10	36.50
18049 <sub>1996</sub>	0.0005	9	0.513	84 *2.9837 =0.25	0.13	47.45
17979 <sub>1997</sub>	0.0005	9	0.513	84*3.4528 = 0.29	0.15	54.75
19176 <sub>1998</sub>	0.0005	10	0.57	84*4.0954 = 0.34	0.20	73.00
19469 <sub>1999</sub>	0.0005	10	0.57	84 *4.599 = 0.39	0.22	80.30
19903 <sub>2000</sub>	0.0005	10	0.57	84 *5.012 = 0.42	0.24	87.60
22041 <sub>2001</sub>	0.0005	11	0.627	84 *5.236 = 0.44	0.28	102.20
23159 <sub>2002</sub>	0.0005	12	0.684	84 *5.530 = 0.46	0.31	113.15
24332 <sub>2003</sub>	0.0005	12	0.684	84 *5.751 = 0.48	0.33	120.45
25204 <sub>2004</sub>	0.0005	13	0.741	84 *6.049 = 0.51	0.38	138.70
26241 <sub>2005</sub>	0.0005	12	0.741	84 *6.249 = 0.53	0.39	142.35

## 2.6. Información y expresiones resultantes, contenidas en la Tabla 5

En la columna (1) se tiene el TDPA de la categoría vehicular A. El TDPA se determinó con:

$$TDPA = \frac{Flujo.Vehicular .Anual}{365} \quad (2)$$

En la columna (2), se tiene la equivalencia en ESAL (Daño Unitario). Donde ESAL es la descarga de 8.5 toneladas sobre la carpeta producido por un eje dual.

En la columna (3), se localiza el TDPA equivalente ESAL, obtenido con la relación:

$$TDPA \text{ equivalente ESAL} = TDPA * (\text{Daño Unitario}) \quad (3)$$



En la columna (4), se encuentra el término denominado:

ESAL-KM / día, tomando en cuenta el TPDA en ESAL y lo longitud (L) en kilómetros del tramo México-Cuernavaca, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\text{Vehículo / día (ESAL)} = (\text{TDPA}) * (\text{Daño Unitario}) * L \quad (4)$$

Donde:

L, es la longitud de la autopista (57 Km.).

En la columna (5), aparece el Costo de Deterioro (\$ 84 por ESAL-Km. al inicio de 1991), afectado por la inflación acumulada en el año en estudio y dividido entre 1000. Esto es para la eliminación de los tres ceros. Por lo tanto:

$$\text{Costo de deterioro} = (\$ 84 * \text{Inflación acumulada}) \div 100 \quad (5)$$

La ecuación [5] también se puede escribir como:

$$\text{Costo Deterioro} = 0.084 \text{ N\$} * \text{Inflación acumulada} \quad (6)$$

En la columna (6), se tiene El Costo de Mantenimiento por día, obtenido con la relación siguiente:

$$\text{Costo de Mantenimiento por día} = (\text{Costo de Deterioro}) * \text{Vehículo / día} \quad (7)$$

Lo anterior se ha generalizado de la siguiente manera:

$$\text{Costos Mantenimiento / Día} = [(\$ 84 * \text{Inflación}_{\text{Acumulada}}) * (\text{TDPA} * \text{Du} * L)] \quad (8)$$

En la columna (7) se tiene la Recolección por año para Mantenimiento de la carpeta. Este valor se obtuvo con:

$$\text{Recolección par Mantenimiento por año de la carpeta} = (\text{Costos de mantenimiento / día}) \text{ por } 365 \text{ días} \quad (9)$$

El término anterior se puede generalizar con la relación:

$$\text{RM / año} = [(\$ 84 * \text{Inflación}_{\text{Acumulada}}) * \text{TDPA} * (\text{Du} * L) * 365] \quad (10)$$

Donde:

RM, es la cuota a cobrar por vehículo para mantenimiento de carpeta.

\$ 84, es el valor en pesos y representa el costo del deterioro al pavimento. Es el costo por eje equivalente por Km., se requiere para el re-encarpetado y mantenimiento correctivo.

Du, es la equivalencia en ESAL de la categoría vehicular analizada

L, es la longitud del tramo de la autopista.

## 2.7. Resumen de datos requeridos para obtener el Modelo Tarifario de la clase vehicular A

La Tabla 6, aporta un resumen de los datos que se requieren para obtener el modelo de prueba: (1) Año de estudio, (2) Tarifa del Vehículo A, (3) TDPA Equivalente, (4) Ingresos Corrientes por el cobro de tarifas y (5) Los Costos del Deterioro de la carpeta producido por la categoría A.

Tabla 6. Base de datos para el modelo. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por CAPUFE.

Año	Tarifa (Pesos)	TDPA Equivalente	Ingresos Por cobro De tarifas Autos (Pesos)	Costos de Deterioro (Pesos)
1991	17	46, 070	105' 875, 915	18, 730
1992	20	51, 565	139' 415, 400	23, 000
1993	25	53, 860	182' 025, 500	24, 970
1994	25	57, 497	194' 316, 875	29, 930
1995	30	50, 238	203' 746, 650	36, 500
1996	38	48, 732	250' 339, 630	47, 450
1997	46	48, 543	301' 867, 410	54, 750
1998	50	51, 775	349' 962, 000	73, 000
1999	50	52, 566	426' 371, 100	80, 300
2000	68	53, 738	493' 992, 460	87, 600
2001	70	59, 511	563' 147, 550	102, 200
2002	75	62, 529	633' 977, 625	113, 150
2003	75	65, 696	666' 088, 500	120, 450
2004	80	68, 051	735' 956, 800	138, 700
2005	80	70, 851	766' 237, 200	142, 350

## 2.8. Diseño del Modelo Tarifario

El modelo que resultó de dotar al programa E-VIEWS con los datos de la Tabla 6, está relacionado con las notaciones que emplea Gujarati D, (2005) [15]:

Modelo Generalizado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (11)$$

Modelo Funcional:

$$\text{Tarifa} = f [ \text{TDPA, Ingresos, Cdeterioro} ] \quad (12)$$

Modelo Econométrico:

$$\text{Tarifa} = \beta_0 + \beta_1 \text{TDPA Equivalente} + \beta_2 \text{Ingresos} + \beta_3 \text{Cdeterioro} \quad (13)$$

## 2.9. Obtención de una solución del Modelo Propuesto, Categoría A

En E-VIEWS, LS LN (TA) C LN (INGRESO) LN (CDETERIORO) LN (TDPA), se obtuvo la siguiente salida, mostrada en la Tabla 7

Tabla 7. Despliegue de los datos del paquete EVIEWS. Elaboración propia con ayuda del paquete EVIEWS.

Variable	Coefficient	STP. Error	t-Statistic	Prob.
C	-6.581358	1.397622	-4.708967	0.0006
LOG(TDPA)	-0.780266	0.167084	-4.669895	0.0007
LOG(INGRESO)	0.971071	0.036088	26.90815	0.0000
LOG(DETERIORO)	-0.015710	0.022435	-0.700219	0.4983
R-squared	0.993536	Mean dependent var		3.788347
Adjusted R-squared	0.991773	S.D. dependent var		0.538282
S.E. of regression	0.048824	Akaike info criterion		-2.978005
Sum squared resid	0.026222	Schwarz criterion		-2.789192
Log likelihood	26.33504	F-statistic		563.5615

Durbin-Watson stat	2.128758	Prob(F-statistic)	0.000000
--------------------	----------	-------------------	----------

La Tabla 7, con la ayuda del paquete E-VIEWS, reproduce la información típica del Modelo, como  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado, suma de los errores estándar de la regresión, estadísticos y de prueba para rechazo o aceptación de los parámetros:

### 2.10. Expresión del Modelo

Como lo propone Gujarati, el Modelo general se expresó como:

$$\text{LN (TA)} = \beta_0 + \beta_1 \text{LN (INGRESO)} + \beta_2 \text{(TDPA)} + \beta_3 \text{LN (CDETERIORO)} \quad (14)$$

Con los coeficientes de la columna (2) y filas (7), (8), (9) y (10), de la Tabla VII y sustituidos en [13], se obtuvo el modelo final como:

$$\text{LN (TA)} = -6.581358 - 0.780266 * \text{LN (TDPA)} + 0.971071 * \text{LN (INGRESO)} - 0.015710 * \text{LN (CDETERIORO)} \quad (15)$$

Los coeficientes: -6.581358 - 0.780266, + 0.971071 y -0.015710, adquieren la nomenclatura:  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  y  $k_4$  y por lo tanto la ecuación [14] se puede generalizar en esta investigación como:

$$\text{LN (TA)} = + k_1 + k_2 \text{LN (INGRESO)} + k_3 \text{(TDPA)} + k_4 \text{LN (CDETERIORO)} \quad (16)$$

### 2.11. Validación del Modelo

La ecuación (14),  $\text{LN (TA)} = -6.581358 - 0.780266 * \text{LN (TDPA)} + 0.971071 * \text{LN (INGRESO)} - 0.015710 * \text{LN (CDETERIORO)}$ , se valida, sustituyendo los valores de las variables independientes (TDPA Equivalente, Ingresos y costos de deterioro). Para ello se empleó la Tabla 6 para determinar los valores estimados de la tarifa de cuota. Los resultados se incluyen en la Tabla 8, donde se observa que los valores de la tarifa estimada son ligeramente parecidos a los de la tarifa estimada.

Tabla 8. Valores de la tarifa aplicada contra la tarifa estimada. Fuente: elaboración propia con información de Excel.

Año	Tarifa aplicada (observada) (\$)	Tarifa Estimada (\$)
1991	17	16.9266928
1992	20	20.1856795
1993	25	25.2462972
1994	25	25.4903493
1995	30	29.5624221
1996	38	36.8226760
1997	46	44.1968055
1998	50	48.2984290
1999	50	57.7338517
2000	68	65.3804128
2001	70	68.4027586
2002	75	73.7189334
2003	75	74.3442207
2004	80	79.5091690
2005	80	80.0904475

## 2.12. Resultados y Aplicaciones

2.11.1. Diseño de la tarifa de cuota con el Modelo Tarifario (15), Clase A para atraer tráfico de la carretera libre a la autopista

### 2.11.2. Elementos de Diseño

Para el diseño de la tarifa de cuota y atraer tráfico a la autopista de cuota, se requieren los siguientes elementos:

#### 2.11.2.1. Ingresos

Se mantienen constantes los ingresos (\$766'237, 200). Esto se hace para asegurar los ingresos requeridos por el organismo central. Esta información aparece en la columna (5) de la Tabla 10.

#### 2.11.2.2. Aumento del Tránsito Diario Promedio Anual.

Amplitud del horizonte del TDPA de las categorías A de 27,000 unidades vehiculares a 47,000. Este dato aparece en la columna (1) de la Tabla 10.

#### 2.11.2.3. Equivalencia del Tránsito Diario Promedio Anual Aumentado

Adicionalmente se requiere realizar la equivalencia del TDPA aumentado para terreno

montañoso, esto se sitúa en la columna (3) de la Tabla 10.

#### 2.11.2.4. Costo de Deterioro por la incorporación de tránsito

La incorporación de nuevo tránsito originará mayor desgaste de la carpeta de rodamiento y mayores costos de mantenimiento. Para obtener la información de la columna (4), de la Tabla 9, se aplica el criterio indicado en la Tabla 5 de este documento

Tabla 9. TDPA Equivalente y Costo de Deterioro de vehículos aumentados. Fuente: elaboración propia con información del documento.

TDPA Autos Aumentado	Equivalencia autos terreno montañoso	Equivalencia TDPA Aumentado Autos	Costo de Deterioro	Ingresos
27,000	2.7	72,900	393,215	766'237,200
27,500	2.7	74,250	404,137	766'237,200
28,000	2.7	75,600	415,060	766'237,200
28,500	2.7	76,950	415,060	766'237,200
29,000	2.7	78,300	425,982	766'237,200
29,500	2.7	79,650	436,905	766'237,200
30,000	2.7	81,000	447,828	766'237,200
31,000	2.7	83,700	458,750	766'237,200
32,000	2.7	86,400	469,673	766'237,200
33,000	2.7	89,100	491,518	766'237,200
34,000	2.7	91,800	502,441	766'237,200
35,000	2.7	94,500	513,363	766'237,200
36,000	2.7	97,200	535,209	766'237,200
37,000	2.7	99,900	546,131	766'237,200
38,000	2.7	102,600	557,054	766'237,200
39,000	2.7	105,300	578,899	766'237,200
40,000	2.7	108,000	589,822	766'237,200
41,000	2.7	110,700	600,744	766'237,200
42,000	2.7	113,400	622,590	766'237,200
<b>43,000</b>	<b>2.7</b>	<b>116,100</b>	<b>622,590</b>	<b>766'237,200</b>
44,000	2.7	118,800	644,435	766'237,200
45,000	2.7	121,500	666,280	766'237,200
46,000	2.7	124,200	677,203	766'237,200
47,000	2.7	126,900	688,125	766'237,200

### 3. Aplicación del Modelo (14), para determinar la tarifa de cuota adecuada

Con el modelo tarifario de vehículos ligeros (automóviles):  $LN(TA) = -6.581358 - 0.780266 * LN(TDPA) + 0.971071 * LN(INGRESO) - 0.15710 * LN(CDeterioro)$ ... y los datos de la Tabla 9 se obtienen valores de la tarifa. Los resultados se dan en la

Tabla 10. Tarifa reducida y obtenida con el modelo para clase vehicular A. Fuente:

elaboración propia con datos del modelo.

TDPA Equivalente Aumentado	Tarifa obtenida con Ecuación ( )	Ingresos obtenidos con ecuación ( )	Ingresos percibidos por el organismo central en 2005
72, 400	77.50	763'762, 500	766'237, 200
74, 250	75.96	762'448, 500	766'237, 200
75, 600	74.87	765'171, 400	766'237, 200
76, 950	73.84	768'120, 600	766'237, 200
78, 300	72.81	770'693, 850	766'237, 200
79, 650	71.82	773'321, 850	766'237, 200
81, 000	70.85	775'807, 500	766'237, 200
83, 700	69.04	781'187, 600	766'237, 200
86, 400	67.32	786'297, 600	766'237, 200
89, 100	65.69	791'236, 050	766'237, 200
91, 800	64.15	796'101, 500	766'237, 200
94, 500	62.69	796'101, 500	766'237, 200
97, 200	61.29	805'350, 600	766'237, 200
99, 900	59.98	810'029, 900	766'237, 200
102, 600	58.72	814'446, 400	766'237, 200
105, 300	57.51	818'654, 850	766'237, 200
108, 000	56.37	823'002, 000	766'237, 200
110, 700	55.28	827'265, 200	766'237, 200
113, 400	54.22	831'192, 600	766'237, 200
<b>116, 100</b>	<b>53.23</b>	<b>834'448, 500</b>	<b>766'237, 200</b>
118, 800	52.26	839'295, 600	766'237, 200
121, 500	51.32	842'931, 000	766'237, 200
124, 200	50.51	848'062, 900	766'237, 200
126, 900	49.58	850'544, 900	766'237, 200

Los datos de la Tabla 10, permiten observar el comportamiento del Modelo (14) cuando se incorpora mayor tráfico a la autopista de cuota. Es decir, a mayor demanda vehicular resulta menor la tarifa de cuota. Por lo tanto la tarifa de cuota adecuada es aquella que no agote la capacidad de la autopista. Para estos casos el Highway Capacity Manual (2000) [16], recomienda una capacidad de 2000 vehículos ligeros / hora /carril.

$$\text{Capacidad Real de la autopista} = 2000 * 0.90 = 1800 \text{ vehículos / hora / carril}$$

$$\text{Capacidad Real Diaria de la autopista} = 1800 * 24 \text{ horas} = 43,000 \text{ vehiculos.}$$

De la Tabla 9 y para un TDPA = 43,000 vehículos se tiene un TDPA Equivalente de 116, 100. Por lo tanto, recurriendo a la información que arroja la Tabla 10, y utilizando este nuevo valor se tendrá una tarifa a cobrar a los vehículos ligeros de \$ **53.23** que generan ingresos por \$ **835'444, 850**

### Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado un Modelo Tarifario para proyectos rentables como la autopista México – Cuernavaca. Para asegurar que dicha autopista es rentable fue necesario

utilizar una técnica de evaluación denominada “Valor Presente Neto”, resultando muy favorable la rentabilidad del proyecto. Por otro lado, el Modelo se obtuvo con un paquete de cómputo llamado y permite determinar la tarifa de cuota para las condiciones actuales. Las variables utilizadas: Ingresos, Costos de Deterioro de la carpeta de rodamiento y Tránsito Equivalente para zonas montañosas, son variables que en los modelos que han servido de marco al presente trabajo no han sido utilizadas. En la Aplicación del Modelo obtenido si se incorpora mayor tráfico (43, 000 autos), el Modelo determina un peaje reducido (\$53.23), cumpliéndose de esta manera la Ley de la Demanda.

Por otro lado se hace mención que la autopista referida está alojada en zona montañosa en donde las condiciones de TDPA Equivalente difieren cuando otras autopistas se alojen en terreno plano o lomerío.

### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Vergara, C.; Robusté, F., (2002). Un modelo de autopistas como precios de servicios, CENIT, Centro de Innovación del Transporte, Escuela Superior de Ingenieros y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Valencia, V Congreso de Ingeniería del Transporte, Santander, España.
- [2] Bonifaz, J.; Urrunaga, R.; Wakeham J., (2001). Financiamiento Privado e Impuestos: El caso de las Redes Viales en el Perú, Universidad del Pacífico, Centro de Investigación, Consorcio de Investigación Económica y Social, Proyecto Mediano, Lima. Perú
- [3] Hun, H.; Chun, K., (2000). An Application of Two – Part Tariff Pricing to Expressway: A case of Korea. Korea.
- [4] Rico A., (1995). Análisis Económico del comportamiento de secciones estructurales de carreteras en diversas circunstancias, IMT. México.
- [5] Flores S. (2005). Propuesta preliminar de un modelo econométrico para actualizar la tarifa de cuota en autopistas mexicanas. Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología. México.
- [6] Baca, G., (1994). Fundamentos de Ingeniería Económica, Mc Graw Hill.
- [7] Acha, J.; Manzo, G., (2000). Traffic Data Collection and Use in the Mexican Interurban Road Network, IMT, SCT, México.
- [8] Samuelson, P; Dordahaus, W., Economía, Mc Graw Hill, 12a, Edición, México
- [9] Datos Viales (1980 – 2006), Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.
- [10] Manual de Capacidad Vial, (2000). Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos. México.
- [11] Chih, C.; Jyh, K., (2004); Road pricing models with maintenance cost. Transport. Kluwer Academia Publishers, Netherlands. Holanda.
- [12] Moreno, E., (2005). Control de Flujos Carreteros de Carga por Inducción en la Selección de la Ruta, Publicación Técnica No. 270, Sanfandila Qro. IMT, SCT, México.
- [13] Belenky, P., (2002). Principios para un financiamiento eficiente, Presentación preliminar del marco conceptual, Documento de discusión, Argentina.
- [14] Índice Nacional de Precios al Consumidor: Características y Actualización de su base al año 2002. Banco de México. 2002. México.
- [15] Gujarati, D., (2007), Econometría Básica, 4ª Edición, Mc Graw Hill. México.



# DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y DE MASA EN YESO RESIDUAL DE MOLDES PARA CERÁMICA

Rodolfo López Bailón<sup>\*</sup>, Juan Pablo Pérez Orozco, Zully Vargas Galarza, Rodolfo López Chávez y Manuel Jesús Granados Baeza

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Zacatepec,  
[lopezbailon@hotmail.com](mailto:lopezbailon@hotmail.com)

## RESUMEN

En el presente trabajo se determinaron experimentalmente las difusividades de masa y calor del yeso residual de moldes para cerámica. Para lo cual se elaboraron dos tipos de probetas de yeso poroso, a las cuales, mediante un dispositivo consistente en una estufa de secado, un termómetro y una balanza, se les midió experimentalmente la variación de la temperatura y el peso en función del tiempo. Con los resultados obtenidos se calcularon las difusividades de masa y calor, mediante la solución de la segunda ley de Fick y de Fourier para la esfera y el cálculo numérico para 100 términos.

**Palabras clave:** difusividad térmica y de masa, yeso residual, moldes de cerámica

## ABSTRACT.

In this work, the experimental diffusive properties of mass and heat of the residual plaster of ceramic molds was determined. For that which two types of test tubes of porous plaster were elaborated, to those which, using a device constituted for drying stove, thermometer and balance, were measured the variation of the temperature and the experimental weight in function of the time. The diffusion coefficient were calculated from the experimental data of mass and heat transfer using 100 terms of the Fick second law solution and Fourier law.

**Key words:** thermal and mass diffusion coefficient, residual plaster, ceramic molds

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años varias investigaciones se han enfocado a estudiar las diferentes aplicaciones del yeso, y a determinar el comportamiento mecánico de los materiales resultantes. Los yesos están experimentando un renacimiento en su utilización en la construcción sustentable; los yesos pueden ser empleados para proteger las superficies internas, reforzando o previniendo la migración de humedad, mitigando las corrientes de aire y pueden ser usados como cargas estructurales [1].

El yeso fijo es material de bajo costo y fácil aplicación, frecuentemente es utilizado como un modelo para estudiar el comportamiento mecánico de los materiales quebradizos y porosos [2]. El yeso es muy sensible a la humedad y es de importancia entender los mecanismos involucrados en la presencia de agua. Tiene un comportamiento elástico lineal

cuando está seco, y se no-lineal y plástico, con una deformación a la fractura relativamente alta, con la presencia de agua [3].

Recientemente, el yeso se ha convertido en un residuo proveniente de la industria de la cerámica muy importante, de un gran interés para parlamento europeo [4], su reciclado es una actividad cada vez más cotidiana, por todos los beneficios implican, en especial al medio ambiente, y a los múltiples reúsos [5] que implican su deshidratación térmica.

En el Estado de Morelos, Mex., la industria de la cerámica producía en el año 2005, aproximadamente 100 toneladas mensuales de yeso residual provenientes de los moldes empleados en sus procesos de elaboración [4]. El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación “Reciclaje y reutilización del yeso”, el cual se orienta al tratamiento térmico del yeso residual ( $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) [6] de moldes para cerámica generados en Morelos, y tiene por objetivo evaluar las propiedades de transporte de masa y calor del yeso residual.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Elaboración de probetas.

Se elaboraron cuatro probetas cilíndricas de yeso residual poroso, obtenido de la industria cerámica del Estado de Morelos y triturado previamente a mallas -90 +100, llenando los vasos de precipitados de 150 mL y 250 mL, dando golpecitos para tener una mejor distribución del yeso procurando tener la misma altura de llenado. Las dimensiones de las probetas elaboradas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Probetas de yeso residual poroso

Dimensiones	Probeta 1 (vaso de 150 mL)		Probeta 2 (vaso de 250 mL)	
	vaso 1 (calor)	vaso 2 (masa)	vaso 1 (calor)	vaso 2 (masa)
Diámetro (cm)	5.2	5.2	7.2	7.2

Altura (cm)	4.8	4.7	4.6	4.7
Peso del yeso (g)		85.00		75.56

## 2.2. Secado del yeso residual

Las probetas se colocaron en una estufa que se encontraba a una temperatura de equilibrio de 150 °C, a la cual se busca degradar el yeso de dihidratado a semihidratado (temperatura de descomposición del dihidrato = 128 °C) [7]. A las probetas del vaso de 150 mL se le colocó un termopar al centro de la misma, y de donde se obtuvieron los datos de temperatura del yeso. La probeta del vaso de 250 mL se empleó para medir la variación del peso en la balanza. Un segundo termopar se colocó equidistante a la ubicación de las probetas. Las temperaturas fueron registradas por el teletermómetro y el peso se midió en la balanza. Las mediciones se realizaron cada 15 min hasta que se mantuvo el peso constante ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ). En la figura 1 se muestra el diagrama del dispositivo empleado.

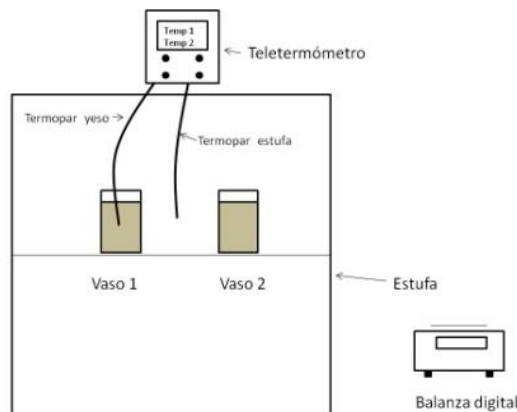


Figura 1. Diagrama del equipo para la obtención de temperaturas y pesos

Después de alcanzar el peso constante descrito anteriormente, se incrementó la temperatura de la estufa a 200 °C (temperatura de descomposición del  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  = 163 °C) [8], para deshidratar totalmente el yeso hasta alcanzar el peso constante ( $\text{CaSO}_4$  anhidro) y de esta forma obtener la cantidad de sólido seco, necesario para el cálculo del contenido de humedad.

## 2.3. Determinación de los coeficientes de difusión térmica y de masa.

Se evaluó el coeficiente de difusión con la ecuación (1):

$$\frac{\partial F}{\partial \theta} = D \left( \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

La cual representa la segunda ley de Fick [9] y describe la transferencia de masa, donde  $F$  es la Humedad absoluta ( $X$ ) y  $D$  es la Difusividad de masa efectiva ( $D_{eff}$ ). Para el caso del transporte de calor, la ecuación (1) representa la ley de Fourier donde  $F$  es la Temperatura ( $T$ ) y  $D$  es el coeficiente de difusión térmico ( $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$ ) que establece una relación entre el calor que se transfiere y absorbe en sistema,  $k$  = Conductividad térmica (Kcal/s m °C),  $\rho$  = densidad Kg/m<sup>3</sup>,  $C_p$  = Calor específico Kcal/Kg °C.  $\theta$  es el tiempo y  $x$  la coordenada espacial de transferencia.

Existen soluciones analíticas a la ecuación de Fick y Fourier para varias formas geométricas, bajo determinadas condiciones de frontera iniciales y finales<sup>10</sup>. Para una geometría esférica la está representada por la ecuación:

$$M = \frac{T - T_e}{T_0 - T_e} = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{[-n^2 \pi^2 D \frac{\theta}{r^2}]} \quad (2)$$

En donde:

$X$  = Contenido de humedad en el tiempo  $\theta$

$X_0$  = Contenido de humedad al inicio

$X_e$  = Contenido de humedad en equilibrio

$T$  = Temperatura del sólido en el tiempo  $\theta$

$T_0$  = Temperatura del sólido al inicio

$T_e$  = Temperatura de equilibrio

$D$  = Coeficiente de difusión (Térmico o de masa)

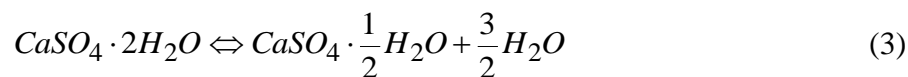
$n$  = número de términos de la serie

$r$  = radio de la esfera o cilindro

La difusividad de masa y la difusividad térmica para las probetas de yeso poroso, se calculó mediante la solución numérica para los 100 primeros términos de la serie de Taylor presentada en la ecuación (2). Cabe hacer la aclaración que aunque la forma geométrica es un cilindro, se consideró más representativo del fenómeno, aplicar la solución a la segunda ley de Fick y de Fourier para la esfera, ya que la longitud del cilindro es aproximadamente igual al diámetro del mismo. Para realizar el cálculo se empleó un radio equivalente ( $r_e$ ) como radio de la esfera. Dicho radio se obtuvo de la ecuación del volumen de la esfera, empleando el volumen calculado para cada probeta cilíndrica. En geometrías cilíndricas donde la altura es igual al diámetro, la resolución de la esfera puede utilizarse de manera satisfactoria.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se presenta la gráfica de la variación de la temperatura para ambas probetas. Las probetas de yeso alcanzan un equilibrio térmico a los 360 min aproximadamente con una temperatura de 132°C. Como podemos apreciar en el perfil de temperatura de las probetas, a los 270 min se presentó una inflexión en la curva como consecuencia de la extracción de la molécula de agua del yeso. Esta reacción está definida por la expresión (3):



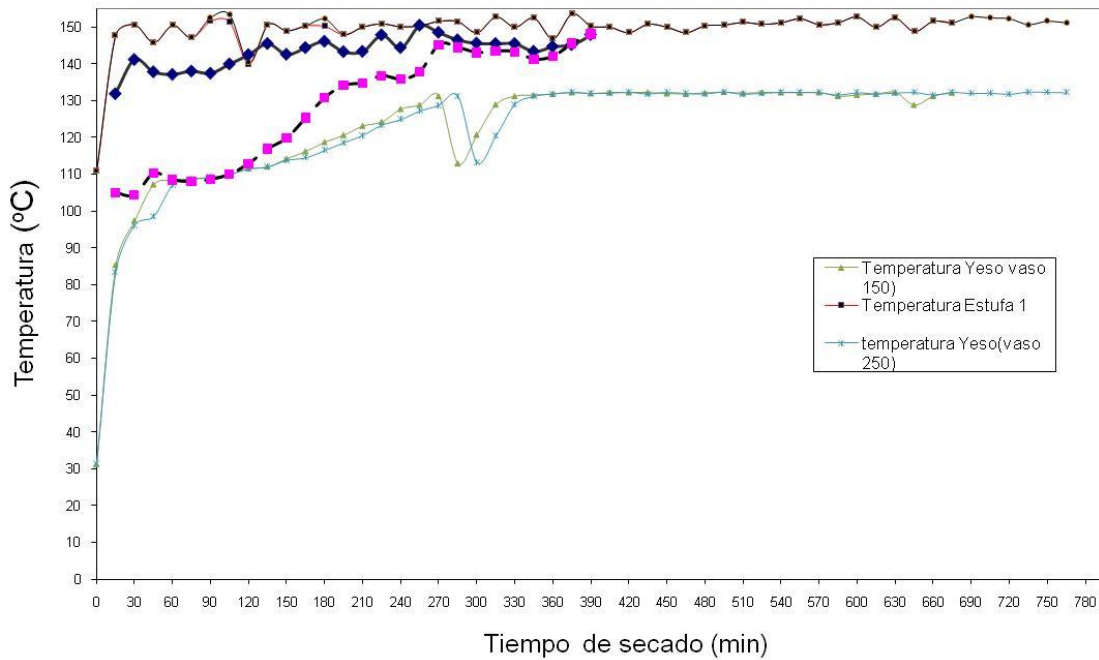


Figura 2. Temperaturas de la estufa y las probetas de yeso poroso

El contenido de humedad adimensional y temperatura adimensional ( $M$ ) definido por la ecuación (4), se muestra en la figura 3 como función del tiempo de secado, en donde  $D_1$  y  $D_2$  representan el diámetro de la probeta 1 (vaso de 150 mL) y la probeta 2 (Vaso de 250 mL) respectivamente.

$$M = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{T - T_e}{T_0 - T_e} \quad (4)$$

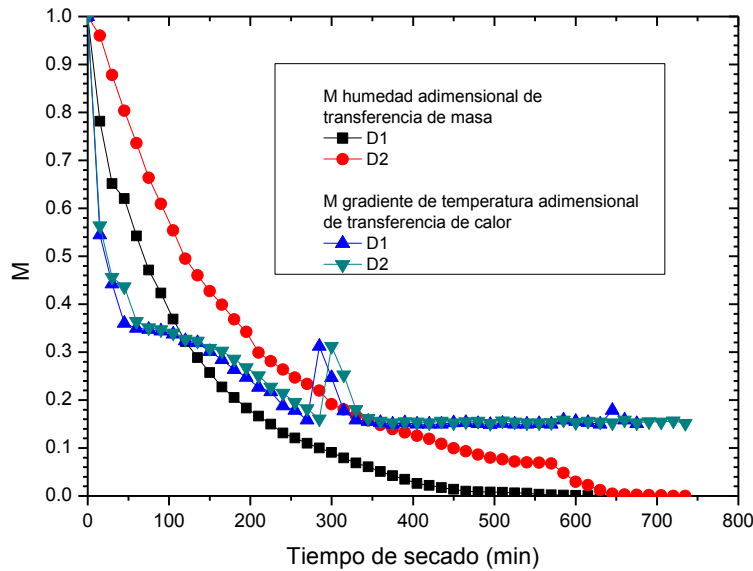


Fig. 3. Variación de los parámetros adimensionales experimentales con al tiempo de secado

En la figura 4 se presenta de manera gráfica la difusividad de masa y térmica calculada en función del tiempo de secado.  $D_1$  y  $D_2$  tienen el mismo significado mencionado anteriormente.

El punto de inflexión en la curva de la difusividad térmica de las probetas observada en la fig 4, se debe a se presenta a la formación la fase hemihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) del yeso que se forma a temperaturas superiores a los  $120^\circ\text{C}$ , inclusive existe la probable formación de la fase anhídrida del yeso. Las propiedades estructurales y de transporte se ven modificadas por encima de este punto. Antes de llegar al punto de degradación del yeso (270 min, aprox.) existe una región del tipo “plateau” en las difusividades térmicas y de masa; el cambio estructural de las moléculas después del punto de degradación, provoca un incremento en la difusividad de masa como consecuencia de la mayor porosidad del sistema. A una menor humedad, la fricción interna molecular<sup>3</sup> se ve disminuida por lo que la capacidad de absorción de calor se incrementa y disminuye su transmisión, por ende, el coeficiente de difusión disminuye. Probablemente la pérdida de las  $1\frac{1}{2}$  moléculas de agua de cristalización sea un proceso endotérmico que requiere de energía, generando el enfriamiento del yeso y generando la variación de la difusividad térmica.

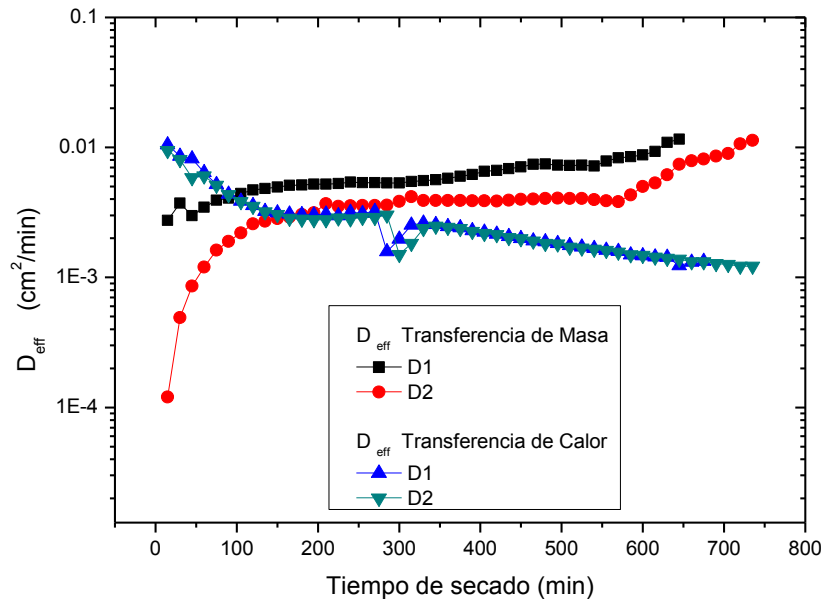


Fig. 4. La difusividad de masa y térmica con respecto al tiempo de secado

#### 4. CONCLUSIONES

Las propiedades difusivas son afectadas por las condiciones de humedad en el yeso y la temperatura de secado. se genera una deshidratación de la molécula a los 127 minutos de secado que incrementa la difusividad de masa y disminuye la térmica; bajo estas condiciones los huecos intersticiales y la fricción interna se ven incrementadas.

La difusividad térmica del yeso cuando está húmedo se aproxima al valor de difusividad más pequeño (el del agua), lo que es un comportamiento esperado en los sólidos porosos saturados como lo menciona Carbonell [10] en su tesis doctoral.

La difusividad térmica para las dos probetas es prácticamente la misma, a diferencia de la difusividad de masa que se ve influenciada por el tamaño.



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Dweck y E.I.P. Lasota “*Quality control of commercial plasters by thermogravimetry*”. *Thermochemica Acta* 318 (1998) 137-142.
- [2] B. Lubelli, R.P.J. van Hees y C.J.W.P. Groot . “*Sodium chloride crystallization in a salt transporting restoration plaster*”. *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1467–1474
- [3] M. Saadaouic, S. Meilleb, P. Reynauda, y G. Fantozzia “*Internal friction study of the influence of humidity on set plaster*”. *Journal of the European Ceramic Society* 25 (2005) 3281–3285.
- [4] X. E. Castells, “*Reciclaje de Residuos Industriales*”, 1<sup>era</sup> Edición, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid 2000 pag. 327
- [5] <http://www.europarl.europa.eu/sides/> 30 julio 2010
- [6] [http:// www.tesisymonografias.net/reciclar-yeso/](http://www.tesisymonografias.net/reciclar-yeso/) 28 de julio de 2010
- [7] Kirk E. Raymond, Othmer F. Donald, “*Enciclopedia de la Tecnología Química*”, Tomo 2, México. 1962
- [8] R. López Bailón y R. E. Olivan, “Determinación de las curvas de secado al yeso residual de moldes para cerámica”, *Nousitz*, No. 41, pp. 8 – 13, Feb. 2009
- [9] R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot, “*Fenómenos de transporte*”, Ediciones Repla S. A., México 1987.
- [10] M. Carbonell Ventura, “*Estudio experimental del proceso de calentamiento de medios porosos saturados hasta ebullición- Dryout de su fase líquida*”, tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña, 2000, pag 1.
- [11] C. J. Geankoplis, “*Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*”, 3<sup>a</sup> edición, Compañía Editorial Continental S. A. de C. V., México (1998) pag 368 - 370.

# COMPARACIÓN DE TERMOTRANSFORMADORES POR ABSORCIÓN DE UNA Y DOS ETAPAS PARA REVALORIZACIÓN DE ENERGÍA DE DESECHO INDUSTRIAL

R. J. Romero\*, S. Silva – Sotelo, J. Ibarra-Bahena, L. Velázquez-Avelar, M. Náfate-Gutiérrez

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Mor., 62209 México.

\* [rosenberg@uamoa.mx](mailto:rosenberg@uamoa.mx)

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el modelo termodinámico de un sistema de termotransformador para una etapa y para doble etapa. El modelo permite calcular las potencias térmicas con sustancias afines químicamente. Como caso de estudio se presentan tres escenarios posibles de doble etapa utilizando las mezclas bromuro de litio – agua, Carrol – agua y una mezcla ternaria de hidróxidos reportada previamente. Los resultados muestran que se pueden obtener diferentes condiciones de operación y valores del COP entre 49% y 6% para los escenarios mostrados.

**Palabras clave:** ciclos termodinámicos, ciclos avanzados, bromuro de litio, carrol, hidróxidos

## 1. INTRODUCCIÓN

En México los principales problemas de transformación de productos tienen dos limitantes: la contaminación ambiental y el costo asociado a la energía. En este sentido los sistemas de ahorro de energía o complementarios de recuperación de energía, son útiles para los procesos químicos y que involucren operaciones unitarias.

La mayor parte de los procesos actuales suministran la energía por medio de quema de combustibles fósiles [SENER, 2009]. Esta forma de suministro genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> [Romero, 2007] y otros productos de combustión que son expulsados y contaminan local o globalmente.

Uno de los sistemas que pueden recuperar parte de la energía parcialmente transferida en los procesos son los intercambiadores de calor, sin embargo, éstos solamente pueden transferir energía entre dos corrientes a menor temperatura que la corriente caliente. La efectividad de estos equipos es siempre menor a la unidad, ya que no se puede transferir más energía de la disponible.

- Las variaciones de presión en el interior de cada componente son despreciables.
- El trabajo hecho por las bombas es isentrópico.
- El trabajo realizado por las bombas es pequeño con relación a la cantidad de energía que se suministra o extrae de cualquiera de los componentes.
- El paso del líquido por las válvulas es isentálpico.
- El absorbente no se evapora en ninguna parte del sistema.

A partir de estas suposiciones y conociendo las temperaturas de condensación  $T_{CO}$ , generación  $T_{GE}$ , evaporación  $T_{EV}$ , y absorción  $T_{AB}$ , se puede decir que:

La temperatura tanto del vapor como de la solución concentrada de salida del generador es la misma:

$$T_{GE,V} = T_{GE,L} \quad (1)$$

Las presiones y/o temperaturas en el condensador y evaporador se pueden conocer considerando que se encuentra agua en saturación dentro de dichos componentes:

$$P_{CO} = P(T_{CO}) \quad (2)$$

$$P_{EV} = P(T_{EV}) \quad (3)$$

Considerando que no existe variaciones significativas de presión en las tuberías que unen a los equipo, se distinguen dos zonas de presión

$$P_{GE} = P_{CO} \quad (4)$$

$$P_{AB} = P_{EV} \quad (5)$$

Se puede calcular la concentración en el generador y absorbedor, considerando equilibrio termodinámico en función de la presión en el componente y su temperatura:

$$X_{GE} = X(P_{GE}, T_{GE}) \quad (6)$$

$$X_{AB} = X(P_{AB}, T_{AB}) \quad (7)$$

Ya que no existe intercambio de masa y solo de calor entre las líneas que se encuentran entre el generador y el absorbedor se puede distinguir cuatro componentes, con concentraciones:

$X_{GE}$ ,  $X_{AB}$ ,  $X_{CO}$  y  $X_{EV}$

Ya que se ha considerado que el absorbente no se evapora

$$X_{CO} = 0 \text{ y } X_{EV} = 0 \quad (8)$$

Por lo tanto solo existen dos lugares dentro del sistema con una concentración conocida de absorbente, generalmente expresada como porcentaje en peso:

1996] solo se podrá revalorizar una parte de esa energía a una temperatura mayor a la ingresada. El valor máximo revalorizado no puede ser mayor a la mitad de la energía ingresada pero con un incremento de temperatura de al menos 20 K.

La energía revalorizada se intercambia con el absorbedor a temperaturas entre 101 y 138 °C. El parámetro de comparación es el “Incremento global de temperatura” (GTL por sus siglas en inglés) que está definido para una etapa como:

$$GTL = T_{AB} - T_{EV} \quad (55)$$

Y para doble etapa como:

$$GTL = T_{AB,2} - T_{EV,1} \quad (56)$$

Este valor se expresará en grados Kelvin para poder establecer correlaciones basadas en diferencia de grados absolutos.

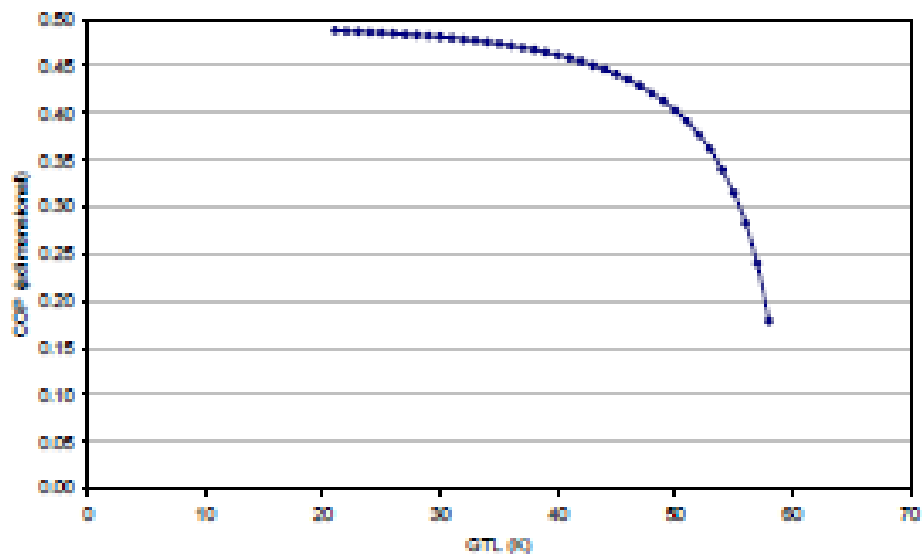


Figura 1. COP en función del GTL para termotransformador por absorción operando con bromuro de litio – agua.

En la figura 1 se puede observar que el rango de operación para el absorbedor del termotransformador con bromuro de litio – agua, es de 101 a 138 °C. Con concentraciones entre 45 y 62 %w. El generador se mantiene a concentración constante de 66 %.

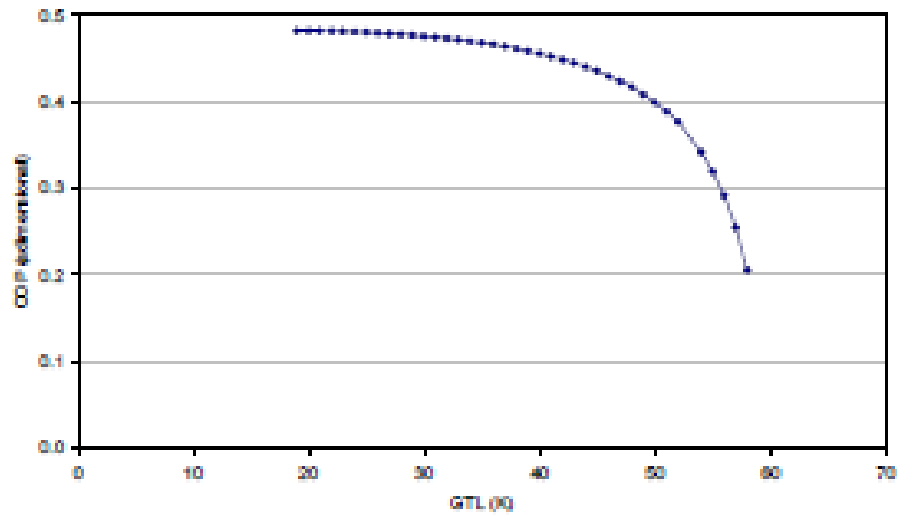


Figura 2. COP en función del GTL para termotransformador por absorción operando con Carrol – agua.

En la figura 2 observamos que el rango de operación para el absorbedor del termotransformador con Carrol – agua, es de 99 a 138 °C. Con concentraciones entre 49 y 69 %w. El generador se mantiene a concentración constante de 73 %.

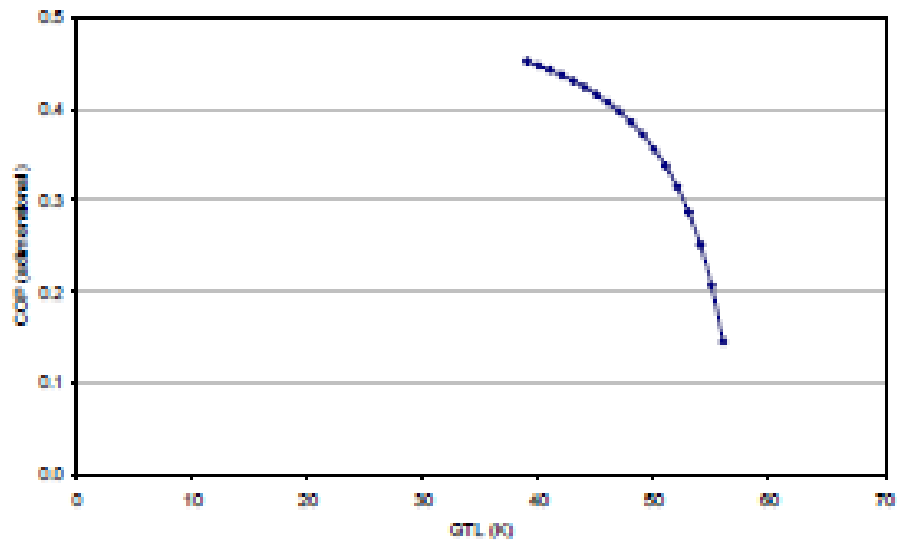


Figura 3. COP en función del GTL para termotransformador por absorción operando con la mezcla de hidróxidos – agua [Herold, 1991].

En la figura 3 es notable que el rango de operación para el absorbedor del termotransformador con hidróxidos acuosos, es de 119 a 136 °C . Con concentraciones entre 51 y 59 %w. El generador se mantiene a concentración constante de 63 %.

3. K. Herold, R. Radermacher and S.A Klein. Absorption Chillers and heat pumps. CRC Press. U.S. 1996.
4. McNelly L. A. (1979). Thermodynamic properties of aqueous solutions of lithium bromide. ASHRAE Transactions, pp 413-434
5. Reimann R. and Biermann W. J. (1984). Development of a single family absorption chiller for use in solar heating and cooling system, Phase III Final Report, Prepared for the U. S. Department of Energy under contract EG-77-C-03-1587, Carrier Corporation.
6. K. Herold, R. Radermacher, L. Howe, D.C. Erickson, Development of an absorption heat pump water heater using an aqueous ternary hydroxide working fluid, Int. J. Refrig. 14 (3), 1991, 156 – 167.

# Aplicación de la dinámica de sistemas para diseñar modelos de simulación que determine las necesidades de infraestructura educativa de la Isla de Cozumel, Quintana Roo

William Alberto Carrillo Interián<sup>1\*</sup>, José Manuel Ramírez Romero<sup>2</sup>

- 1) Instituto Tecnológico de Chetumal, Departamento de Ciencias Básicas, Av. Insurgentes No. 330 esquina Av. Andrés Quintana Roo, colonia David Gustavo Gutiérrez Ruiz, Apartado Postal No. 267, C.P. 77013, ciudad Chetumal, Quintana Roo México, [william.carrillo@upaep.edu.mx](mailto:william.carrillo@upaep.edu.mx)
- 2) Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Av. Independencia Nacional No. 151, Autlan, Jalisco, [jmromero@cucsur.udg.mx](mailto:jmromero@cucsur.udg.mx)

## RESUMEN

El desarrollo sustentable es un vector de objetivos sociales deseables, donde el vector es una lista de atributos que la sociedad desea alcanzar, uno de estos atributos es la oportunidad de acceder a mejoras en el nivel educativo, la educación provee de capital humano calificado, de capital institucional comprometido y de capital social flexible con sus sistema económico, por lo que las instituciones deben comprometerse a través de una adecuada planeación de dotar de competencias, habilidades y actitudes a los integrantes de la sociedad, la falta de planeación en la dotación de este atributo trae consecuencias negativas sobre la sostenibilidad del desarrollo humano y sobre los recursos naturales, se utiliza la metodología de dinámica de sistemas para diseñar un modelos de simulación que determine las necesidades en la infraestructura educativa en diferentes niveles educativos en la Isla de Cozumel, Quintana Roo, para la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.

**Palabras claves:** Desarrollo Sustentable, capital humano, capital social, capital institucional, pensamiento sistémico, dinámica de sistemas.

## ABSTRACT

Sustainable development is a vector of desirable social objectives, where the vector is a list of attributes that the society wants to achieve, one of these attributes is the opportunity to access better educational level, the education provides human capital qualified, institutional capital committed and social capital flexible to its economic system, so that institutions must undertake through proper planning to provide skills, abilities and attitudes of members of society, lack of planning in the provision of this attribute has negative consequences on the sustainability of human development and natural resources, use the system dynamics methodology to design a simulation model to determine the educational infrastructure needs in different educational levels on the island of Cozumel, Quintana Roo, for decision making in the short, medium and long term.

**Keywords:** Sustainable development, human capital, social capital, institutional capital, systems thinking, system dynamics.

## 1. INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo sustentable y desarrollo humano surge en la segunda mitad de la década de los setenta y fines de los ochenta, donde se dieron transformaciones en los procesos de desarrollo económico, que provocaron una crisis económica mundial debido a

la expansión de las grandes corporaciones transnacionales, la incrementada importancia del capital financiero, cambios en los procesos productivos y en el desarrollo tecnológico, todo esto imposibilitó las oportunidades de mejora económica en los países del tercer mundo, al estancarse el crecimiento económico y aumentar la deuda externa; pero no solo quedó en claro que las transnacionales se habían convertido en los centros de la actividad económica mundial, si no también que los recursos naturales podían agotarse en el futuro tal y como mostraban los estudios, y que era imprescindible una visión a largo plazo para evitar una catástrofe, en este contexto las preocupaciones por el crecimiento económico, los recursos y la pobreza adquirieron un nuevo matiz [1].

La sostenibilidad se define como una forma posible de vivir o de ser en la que los individuos, empresas, gobiernos y otras instituciones actúan responsablemente cuidando el futuro, como si hoy les perteneciera a ellos, compartiendo equitativamente los recursos ecológicos de los cuales depende la supervivencia de la humanidad y de las otras especies y asegurando que todo el que viva hoy y en un futuro será capaz de prosperar, es decir, satisfacer sus necesidades y aspiraciones humanas [2].

Lo anterior señala la necesidad de desarrollar capacidades en los individuos, en un ambiente equitativo para alcanzar un desarrollo humano, donde la educación es un complemento primordial que provee a los países de capital humano competitivo y productivo permitiéndole competir en los mercados mundiales dando como resultado un crecimiento económico sostenible, un nivel educativo bajo afecta la productividad laboral, el ritmo de innovación y las mejoras tecnológicas, así como la reducción de las tasas de natalidad, la calidad de los empresarios, la calidad de los responsables sociales y políticos, problemas que agravan aún más debido a la explotación desmedida de los recursos naturales en los países más pobres; caso contrario es contar con un nivel educativo alto ya que brinda mayores posibilidades de superación reduce drásticamente la pobreza y el atraso económico [3].

Todo esto hace que el desarrollo sostenible sea un proceso sin un fin definido, sin objetivos fijos, sin medios específicos para alcanzarlos, para lograrlo se debe enfocar al cambio, para lo cual se debe diagnosticar el sistema de estudio, conocer sus tendencias y pasar por un medio de aprendizaje de su entorno [4]. Es aquí donde se justifica la aplicación de la dinámica de sistemas, ya que este simula los sistemas organizacionales y sociales complejos a través de modelos, se ha aplicado con éxito en planeación estratégica y diseños de política corporativa, administración pública y política, modelos de biología y medicina, modelos de energía y medioambiente, teoría de desarrollo y las ciencias sociales y naturales, tomas de decisión dinámicas, problemas complejos dinámicos no lineales y modelos de enseñanza de las ciencias y la ingeniería [5].

La dinámica de sistemas se define como una metodología para la construcción de modelos de simulación de sistemas complejos, como los estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología que aplican métodos de sistemas duros, básicamente su



principio es la realimentación entre las variables y las propiedades dinámicas de los sistemas, la dinámica de sistemas al igual que la teoría de modelos en el espacio de estados y los procedimientos de análisis numérico, se considera una metodología más entre las de sistemas duros, pero que se enfocan a los problemas no estructurados blandos, como los que aparecen en los sistemas socioeconómicos [6].

Para realizar modelos a través de la dinámica de sistemas se debe pensar sistémicamente al analizar el sistema a simular, esto se logra realizando un análisis conceptual y semi-cualitativo del sistema, reflejando lo anterior en una gráfica conceptual que se denomina Diagrama de Forrester, éste permite apreciar los conceptos y las relaciones vinculantes, proveyendo una visión gráfica de conjunto que muestra las interrelaciones entre las cantidades, más directamente que lo que puede hacerlo un conjunto de ecuaciones, lo cual es particularmente importante al estudiar sistemas complejos con muchas propiedades independientes [7].

## **2. DISEÑO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN**

**2.1. Área de estudio.** Para la aplicación de la metodología objeto de este trabajo de investigación, se seleccionó el municipio de Cozumel, el cual se encuentra localizado en el Mar Caribe, en el Sureste de México, aproximadamente a 17 km al este de las costas del estado de Quintana Roo, tiene una forma ovalada, su eje mayor se orienta en dirección SW-SE con una longitud de 46 kilómetros, su eje menor es de 17 kilómetros. Tiene una superficie de 473 km<sup>2</sup>, de acuerdo al Censo Estatal de Población 2005 realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática la Isla de Cozumel tiene una población actual de 85,223 habitantes. En el Programa Estatal de Desarrollo Urbano del estado de Quintana Roo, la Isla de Cozumel es considerado un centro integrador regional, cuyas funciones son las de centro turístico y prestador de servicios e infraestructura de la Región Caribe Norte, donde las perspectivas de inversión en el corredor Tulúm-Playa del Carmen tendrán un efecto positivo al aumentar la afluencia turística, es por ello que la estructura urbana de la Isla de Cozumel, debe contribuir a dinamizar las actividades vinculadas con el sector turístico y los servicios de apoyo a este; y es necesario mejorar la imagen urbana del centro de población y fortalecer la protección de las zonas del paisaje naturales existentes, se muestra la ubicación de la Isla de Cozumel en la Figura 1.

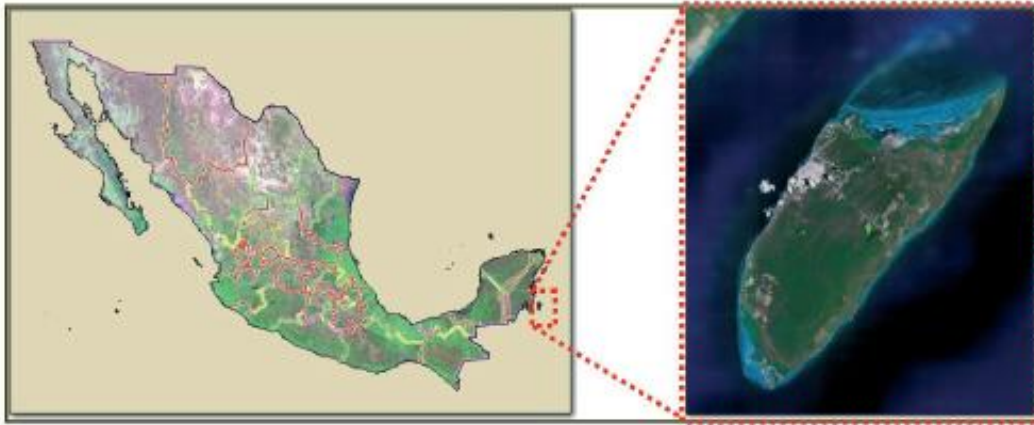


Figura 1. Isla de Cozumel. Revista el Periplo Sostenible, Medición de la capacidad de carga turística de Cozumel, (2008), pp. 37

**2.2. Fuentes de información.** Los datos empleados en este trabajo son de naturaleza secundaria obtenidos a través de bancos de datos oficiales, Publicaciones Oficiales, Artículos Arbitrados; los parámetros necesarios para la construcción de los modelos de simulación fueron calculados en base a información de fuentes oficiales.

**2.2.1. Consejo Nacional de Población.** Se toma como base los indicadores demográficos estatales considerados por CONAPO (2009), para el modelo de dinámica poblacional se incorporaron cuatro tasas de cambio: tasa de nacimientos, tasa de mortalidad, tasa de migración estatal y la tasa de migración internacional. La determinación de esta variable estructural es básica ya que las limitaciones propias de su condición geográfica como son la disponibilidad de agua potable, el alto costo de suministro de insumos, del suelo y la vivienda son valores críticos que pueden romper el equilibrio ecológico de la Isla de Cozumel.

**2.2.2. Programa de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Cozumel.** Este documento se identifica como el instrumento principal para la consolidación del modelo participativo de desarrollo regional de Isla de Cozumel, en su papel de documento rector en la restauración, protección, conservación y aprovechamiento racional de sus recursos naturales, donde el desarrollo económico, turístico y urbano, se lleve conforme a reglas claras y precisas establecidas en los programas de ordenamiento ecológico territorial y en los planes de manejo de áreas naturales protegidas. En particular el POEL provee elementos de información críticos para enfrentar los efectos indirectos de la industria turística, como son la expansión urbana, la contaminación y la pérdida de identidad cultural.

**2.2.3. Estadísticas básicas del estado de Quintana Roo.** Publicaciones anuales de la Subsecretaría de Planeación de la Secretaría de Educación y Cultura del Estado de Quintana Roo, de aquí se obtienen las estadísticas básicas del período 2000-2009, el modelo de infraestructura educativa considera cuatro niveles educativos que son: preescolar, primaria, secundaria y medio-profesional.

### **2.3. Metodología.**

**2.3.1. Dinámica de sistemas.** Se obtienen los modelos de simulación a través del pensamiento operacional de toda la estructura del sistema, se parte de un pensamiento sistémico para entender y asimilar ampliamente lo que queremos expresar en el modelo de simulación [8]. El Diagrama de Flujos, también denominado Diagrama de Forrester, es el diagrama característico de la dinámica de sistemas, es una traducción del diagrama causal a una terminología que facilita la escritura de las ecuaciones en el ordenador, básicamente es una reclasificación de los elementos, lo anterior debido a que en la dinámica de sistemas, a la hora de construir modelos, se parte siempre de la distinción esencial entre variables de nivel (población, capital, stock de un producto, etc.) y variables de flujo (tasa de fertilidad, tipo de interés, unidades vendidas al año de un producto, etc.) [9].

Los elementos esenciales en el lenguaje de la dinámica de sistemas son los componentes llamados Stock y Flujos (Flow) que están estrechamente relacionados, de la siguiente manera:






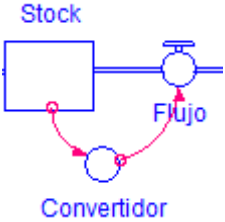
- Las nubes representan una determinada (infinita) cantidad de material.
- El Stock es una cantidad acumulada en el tiempo por un flujo, es controlado por flujos, nunca por Stocks; se mide en unidad y se refiere a un instante en el tiempo, en el análisis matemático corresponde a la integración, los Stocks pueden ser cosas físicas, población, agua, dinero, o no físicas como conocimientos, calidad, sed, miedo, autoestima, etc. En cualquier caso se acumula como si fueran físicas.
- Flujo o Flow es la variación de cambio del Stock en el tiempo, proporciona la dinámica al modelo, se concretan a hacer subir o bajar para controlar el nivel de los Stocks y no tienen influencia ni impacto sobre los Stocks, se mide en

unidad/tiempo y se refiere a un intervalo de tiempo, en análisis matemático corresponde a la derivación.

- Convertidor, también llamado variable auxiliar, permite introducir cualquier constante o variable distinta a los Stocks y Flows que deba intervenir en el modelo.
- Conector casual, estos permiten la transmisión de las relaciones causa- efecto o funcionales entre los elementos del modelo, un Flows transporta, un conector transmite.
- Bucle de realimentación, este produce un tipo de comportamiento.

**2.3.2. Diagrama de Forrester.** Como herramienta para el modelado de la dinámica de sistemas se empleó el diagrama de Forrester, para generar una representación gráfica del sistema dinámico y obtener los modelos de ecuaciones diferenciales del sistema dinámico, se modeló cualitativamente las relaciones entre las partes mediante símbolos que corresponden a una interpretación hidrodinámica del sistema, los elementos básicos del diagrama de Forrester que se emplearon se muestran en la tabla 1 [10].

Tabla 1. Elementos de los diagramas de Forrester

	Nube (fuente o sumidero)	 Convertidor	Variable auxiliar
	Variable de nivel		Conector causal
	Variable de flujo (válvula)		Bucle de realimentación

Fuente: Elaboración propia, Carrá, 2004, p. 5-7.

**2.3.3 Técnicas de modelación y análisis.** Para esta investigación se utilizó el *software* denominado *iThink* de la empresa *HPS*, que tiene grandes funcionalidades específicas para aplicación en economía y gestión de empresas, tiene prestaciones gráficas que lo hacen muy amigable para el usuario poco experto, *iThink* ofrece una visualización de las relaciones entre elementos y de las funciones no lineales, también puede ser aplicado e investigaciones científicas y en la enseñanza. Existen otros programas de cómputo que permiten simular sistemas con una gran cantidad de variables y procesar la información en tiempos relativos cortos con respecto a los tiempos que se requerían en la década de los 80's, dentro de estos software está el Vensim PL utilizado para fines docentes y de investigación por el Sloan School of Management del MIT Massachusetts Institute of Technology.

#### 2.4. Diseño del modelo.

**2.4.1. Modelo de dinámica poblacional.** Como primer paso se realiza un modelo de dinámica poblacional para el período 2010-2030 en la isla de Cozumel, la información utilizada se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Indicadores demográficos del estado de Quintana Roo al año 2030

<b>Indicador</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Tasa bruta de natalidad*	3.20	19.41	19.25	19.08	18.93	18.79	18.64
Tasa bruta de mortalidad*	3.04	3.07	3.10	3.13	3.17	3.20	3.23
Tasa de migración neta interestatal**	0.98	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.73
Tasa de migración neta internacional**	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89
<b>Indicador</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Tasa bruta de natalidad*	18.48	18.30	18.12	17.96	17.79	17.61	17.42
Tasa bruta de mortalidad*	3.26	3.29	3.32	3.35	3.40	3.43	3.47
Tasa de migración neta interestatal**	0.70	0.66	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
Tasa de migración neta internacional**	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86
<b>Indicador</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>
Tasa bruta de natalidad*	17.22	17.02	16.84	16.65	16.48	16.31	16.14
Tasa bruta de mortalidad*	3.52	3.56	3.61	3.67	3.72	3.78	3.84
Tasa de migración neta interestatal**	0.47	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.32
Tasa de migración neta internacional**	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

Fuente: CONAPO, 2006

El modelo de dinámica poblacional se muestra en la Figura 2.

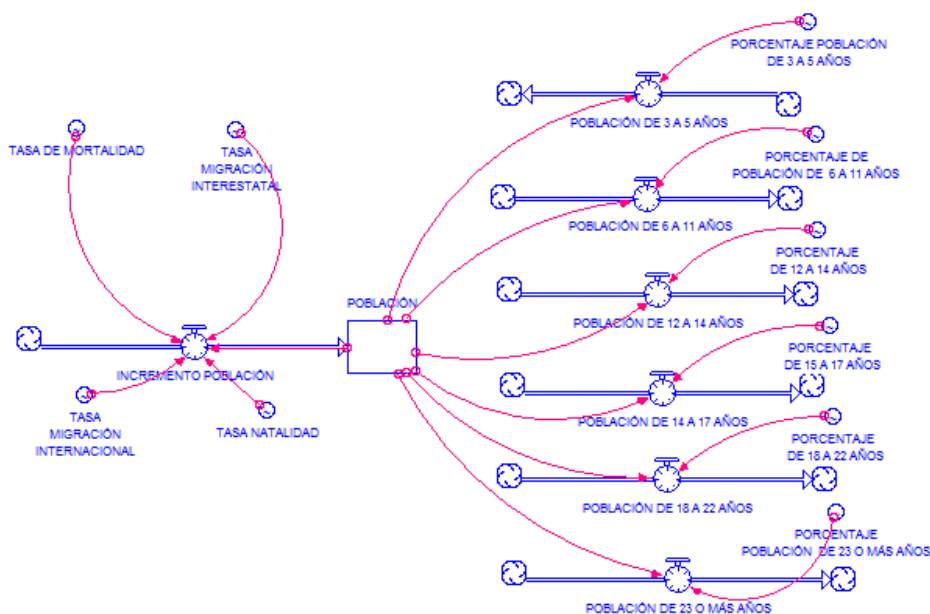


Figura 2. Modelo de la dinámica poblacional por edades de la Isla de Cozumel  
Fuente. Elaboración propia realizada en iThink V.0.2.

**2.4.1. Modelo de dinámica de la infraestructura educativa.** Las variables que integran este modelo se muestran en las tabla 3, tabla 4, tabla 5 y tabla 6, se parte de los resultados del modelo de dinámica poblacional que proyecta la población del año 2010 al 2030, de la infraestructura educativa existente en el año 2009 y de información estadística en el sector educativo de la Isla de Cozumel del período 2000 – 2009, se incorporan al modelo de simulación el nivel preescolar, el nivel primaria, el nivel secundaria y el nivel medio y medio profesional.

Tabla 3. Variables del modelo de infraestructura educativa de nivel preescolar.

Variable	Tipo	Descripción
TASA PREESC 1ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 1ero de preescolar estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PREESCOLAR 1ERO	Flujo	Población que ingresa a 1er año de preescolar del año 2010 al 2020
TASA PREESC 2DO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 2do de preescolar estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PREESCOLAR 2DO	Flujo	Población que ingresa a 2do año de preescolar del año 2010 al 2020
TASA PREESC 3ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel a 3ero de preescolar estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PREESCOLAR 3ERO	Flujo	Población que ingresa a 3er año de preescolar del año 2010 al 2020
PREESCOLAR CICLO ESCOLAR	Auxiliar	Suma de la población a nivel preescolar del año 2010 al 2020
PREESCOLAR AULAS	Auxiliar	Número de aulas existentes a nivel preescolar en el año 2009

EXISTENTE		
DEMANDA AULAS PREESCOLAR	Flujo	Requerimiento de aulas a nivel preescolar del año 2010 al año 2020

Tabla 4. Variables del modelo de infraestructura educativa de nivel primaria.

Variable	Tipo	Descripción
TASA PRIM 1ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 1ero de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 1ERO	Flujo	Población que ingresa a 1er año de primaria del año 2010 al 2020
TASA PRIM 2DO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 2do de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 2DO	Flujo	Población que ingresa a 2do año de primaria del año 2010 al 2020
TASA PRIM 3ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 3ero de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 3ERO	Flujo	Población que ingresa a 3er año de primaria del año 2010 al 2020
TASA PRIM 4TO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 4to de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 4TO	Flujo	Población que ingresa a 4to año de primaria del año 2010 al 2020
TASA PRIM 5TO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 5to de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 5TO	Flujo	Población que ingresa a 5to año de primaria del año 2010 al 2020
TASA PRIM 6TO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 6to de primaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
PRIMARIA 6TO	Flujo	Población que ingresa a 6to año de primaria del año 2010 al 2020
PRIMARIA CICLO ESCOLAR	Auxiliar	Suma de la población a nivel primaria de año 2010 al 2020
PRIMARIA AULAS EXISTENTE	Auxiliar	Número de aulas existentes a nivel primaria en el año 2009
DEMANDA AULAS PRIMARIA	Flujo	Requerimiento de aulas a nivel primaria del año 2010 al año 2020

Tabla 5. Variables del modelo de infraestructura educativa de nivel secundaria.

Variable	Tipo	Descripción
TASA SEC 1ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 1ero de secundaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
SECUNDARIA 1ERO	Flujo	Población que ingresa a 1er año de secundaria del año 2010 al 2020
TASA SEC 2DO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 2do de secundaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
SECUNDARIA 2DO	Flujo	Población que ingresa a 2do de secundaria del año 2010 al 2020
TASA SEC 3ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel a 3ero de secundaria estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
SECUNDARIA 3ERO	Flujo	Población que ingresa a 3er año de secundaria del año 2010 al 2020
SECUNDARIA CICLO ESCOLAR	Auxiliar	Suma de la población a nivel preescolar del año 2010 al 2020
SECUNDARIA AULAS EXISTENTE	Auxiliar	Número de aulas existentes a nivel secundaria en el año 2009
DEMANDA AULAS SECUNDARIA	Flujo	Requerimiento de aulas a nivel secundaria del año 2010 al año 2020

Tabla 6. Variables del modelo de infraestructura educativa de medio y profesional medio.

Variable	Tipo	Descripción
TASA MEDIO 1ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 1ero de medio y profesional-medio estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
MEDIO 1ERO	Flujo	Población que ingresa a 1er año de medio y profesional-medio del año 2010 al 2020
TASA MEDIO 2DO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel de 2do de medio y profesional-medio estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
SECUNDARIA 2DO	Flujo	Población que ingresa a 2do de medio y profesional-medio del año 2010 al 2020
TASA MEDIO 3ERO	Auxiliar	Tasa de ingreso al nivel a 3ero de medio y profesional-medio estimado en base a los registros de los períodos escolares 2000-2009.
MEDIO 3ERO	Flujo	Población que ingresa a 3er año de medio y profesional-medio del año 2010 al 2020
MEDIA CICLO ESCOLAR	Auxiliar	Suma de la población que ingresa nivel medio y profesional-medio del año 2010 al 2020
MEDIO AULAS EXISTENTE	Auxiliar	Número de aulas existentes a nivel secundaria en el año 2009
DEMANDA AULAS MEDIA	Flujo	Requerimiento de aulas a nivel secundaria del año 2010 al año 2020

El modelo de infraestructura física que proyecta las necesidades de infraestructura del año 2010 al 2012 se muestra en la Figura 3. A través del modelo de dinámica poblacional obtenido anteriormente se obtiene la población por intervalos de edades, que son susceptibles de ingresar en los niveles considerados. A estos intervalos de población por edades se le aplica una tasa estimada de ingreso que cambia de acuerdo al nivel educativo que corresponda (TASA PREESC INGRESO, TASA PRIM INGRESO, TASA SEC INGRESO y TASA MEDIO INGRESO).



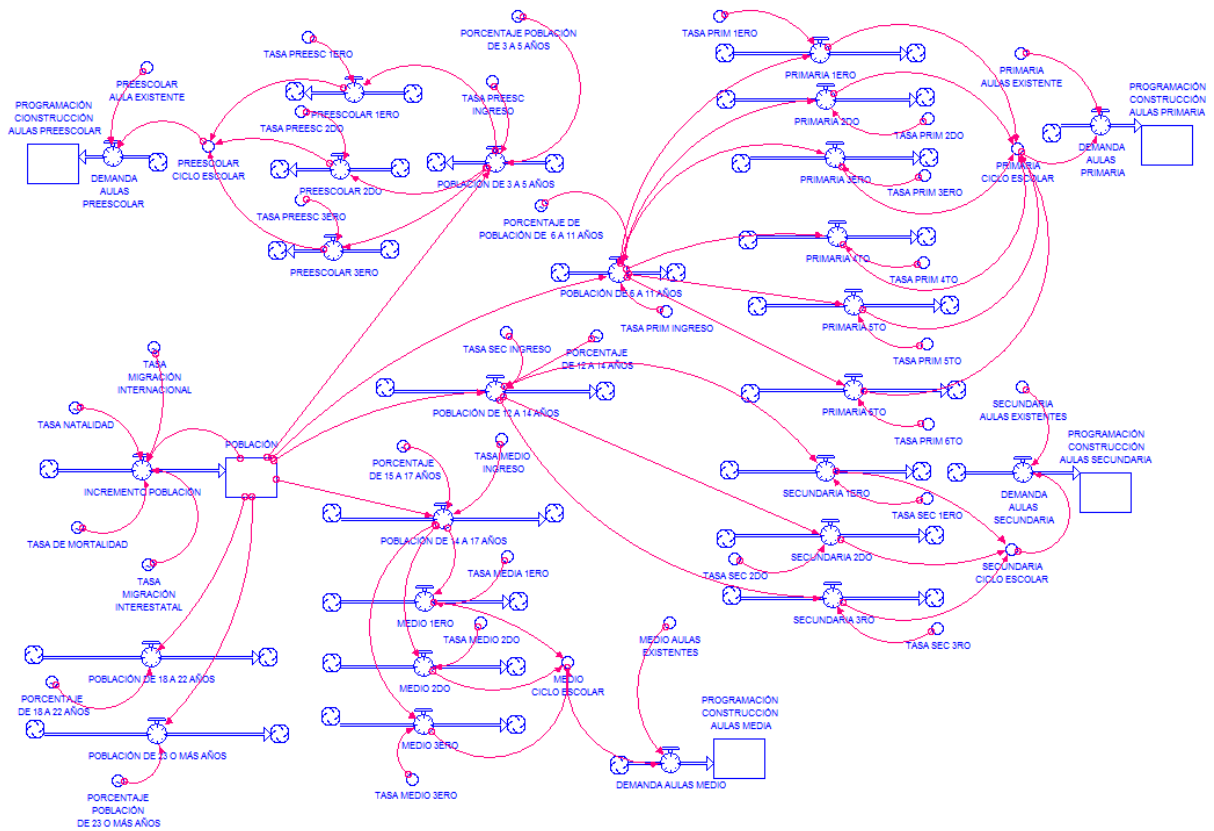


Figura 3. Modelo de la infraestructura educativa de la Isla de Cozumel  
Fuente. Elaboración propia realizada en iThink V.0.2.

### 3. RESULTADOS

Del modelo de dinámica poblacional se tiene que la tasa de crecimiento promedio es de 2.78% contra 1.7% proyectado por la CONAPO, la tasa de crecimiento proporcionado por el modelo refleja mejor la fuerte dinámica poblacional y su consecuente demanda de servicios (educación, suelo para uso urbano, entre otros) por la alta migración hacia la Isla de Cozumel, derivado de las necesidades de mano de obra para satisfacer el sector turístico que es la principal actividad, aquí se tiene en principio la problemática de suministrar servicios urbanos en el plazo que el crecimiento poblacional lo requiere. La tasa de crecimiento que proporciona el modelo refleja también la poca evidencia de una reducción significativa de esta tasa de crecimiento y también de los factores que influyen sobre el crecimiento de la región, como son la demanda creciente de turismo y la diversificación de los atractivos y su potencial de desarrollo, todo esto indica la necesidad de que se hagan previsiones necesarias para un mejor desarrollo de la región, de tal manera que se induzcan la oferta del suelo y de servicios, la disponibilidad de las reservas territoriales para el

desarrollo urbano, la disponibilidad de agua potable, así como la construcción de la infraestructura requerida.

Del modelo de infraestructura educativa podemos concluir por nivel educativo que para el nivel Preescolar se tienen actualmente disponibles 120 aulas didácticas, el modelo de infraestructura educativa indica que hasta ciclo escolar 2017- 2018 esta disponibilidad de infraestructura es suficiente, pero se debe considerar que para el año 2030 se debe disponer de 36 aulas didácticas más, por lo que se debe programar su construcción como se muestra en la tabla 9.

Para el nivel primaria se tienen actualmente disponibles 330 aulas didácticas, por lo que se tiene suficiencia de infraestructura hasta el ciclo escolar 2022-2023, a partir de este ciclo escolar se tiene una demanda de espacios de 50 aulas didácticas más para el año 2030, la tabla 9 muestra los requerimientos por año. Aun cuando a este nivel la disponibilidad actual es suficiente para cubrir las necesidades educativas a mediano plazo, en los últimos 8 años se requerirán fuertes inversiones, como se aprecia en la Figura 4.

Se tienen disponibles actualmente 132 aulas didácticas para el nivel secundaria, se requiere programar inversiones en la infraestructura educativa de este nivel a corto plazo, a mediano plazo y a largo plazo, para el año 2030 se requerirá la construcción de 114 aulas más con respecto a las actualmente disponibles, este nivel muestra un crecimiento sostenido a partir del año 2019, por lo cual la inversión debe ser constante para evitar rezago y falta de espacios.

Tabla 7. Resultados del modelo de dinámica poblacional comparado con la estimación de población realizado por el Consejo Nacional de Población del año 2010 al 2030.

Año	Modelo iThink			CONAPO	
	Incremento	Población estimada	Tasa anual	Población esperada	Tasa anual
		83,118.00		81,988	
2010	2,958	86,075.88	3.44%	81,988	0.00%
2011	3,007	89,082.48	3.38%	83,731	2.08%
2012	3,052	92,134.13	3.31%	85,473	2.04%
2013	3,100	95,234.00	3.26%	87,213	2.00%
2014	3,144	98,377.64	3.20%	88,949	1.95%
2015	3,183	101,560.93	3.13%	90,680	1.91%
2016	3,229	104,790.42	3.08%	92,406	1.87%
2017	3,271	108,061.20	3.03%	94,125	1.83%
2018	3,303	111,363.86	2.97%	95,832	1.78%
2019	3,338	114,701.70	2.91%	97,525	1.74%
2020	3,364	118,066.16	2.85%	99,203	1.69%
2021	3,396	121,462.50	2.80%	100,863	1.65%
2022	3,422	124,884.60	2.74%	102,504	1.60%
2023	3,450	128,334.59	2.69%	104,123	1.55%
2024	3,474	131,808.35	2.64%	105,720	1.51%
2025	3,496	135,304.04	2.58%	107,292	1.47%
2026	3,514	138,818.28	2.53%	108,839	1.42%
2027	3,535	142,352.88	2.48%	110,361	1.38%
2028	3,563	145,916.02	2.44%	111,860	1.34%
2029	3,583	149,498.87	2.40%	113,334	1.30%
2030	3,620	153,119.26	2.36%	114,783	1.26%
Promedio crecimiento			2.87%		1.59%

Para el nivel medio y medio profesional se tienen disponibles 100 aulas didácticas, este nivel educativo provee de mano de obra calificada a la industria turística, por lo cual su tasa de ingreso es mayor que los otros niveles educativos, por lo que a partir del año 2014 ya se tiene un déficit en la disponibilidad de aulas didácticas. La figura 4 muestra que su demanda de infraestructura educativa tiene un crecimiento constante, se requiere invertir a corto plazo, para evitar rezago educativo y cubrir las necesidades de mano de obra calificada que demanda el sector turístico.

Tabla 8. Resultados del modelo de dinámica poblacional de la Isla de Cozumel por rango de edades del año 2010 al 2030.

Año	Población total	Población de 3 a 5 años	Población de 6 a 11 años	Población de 12 a 14 años	Población de 15 a 17 años	Población de 18 a 22 años	Población de 23 o mas años
Initial	83,118						
2010	86,076	4,505	9,792	4,938	5,016	8,686	46,336
2011	89,082	4,572	9,744	5,065	5,115	8,929	48,607
2012	92,134	4,927	9,732	5,207	5,211	9,129	50,935
2013	95,234	5,052	9,780	5,302	5,312	9,308	53,317
2014	98,378	5,186	9,859	5,302	5,436	9,532	55,753
2015	101,561	5,322	10,106	5,225	5,581	9,705	58,221
2016	104,790	5,456	10,389	5,135	5,684	9,881	60,722
2017	108,061	5,592	10,539	5,100	5,682	10,082	63,261
2018	111,364	5,726	10,811	5,149	5,591	10,302	65,822
2019	114,702	5,866	11,082	5,262	5,501	10,484	68,428
2020	118,066	6,005	11,354	5,399	5,463	10,584	71,044
2021	121,463	6,144	11,629	5,536	5,503	10,602	73,648
2022	124,885	6,278	11,912	5,666	5,617	10,534	76,337
2023	128,335	6,403	12,195	5,807	5,762	10,418	79,087
2024	131,808	6,532	12,477	5,945	5,906	10,364	81,794
2025	135,304	6,662	12,754	6,087	6,047	10,416	84,431
2026	138,818	6,783	13,027	6,225	6,184	10,562	86,999
2027	142,353	6,902	13,301	6,371	6,334	10,780	89,514
2028	145,916	7,014	13,566	6,518	6,484	11,035	92,023
2029	149,499	7,120	13,824	6,665	6,627	11,298	94,566
2030	153,119	7,256	14,133	6,818	6,788	11,555	97,042

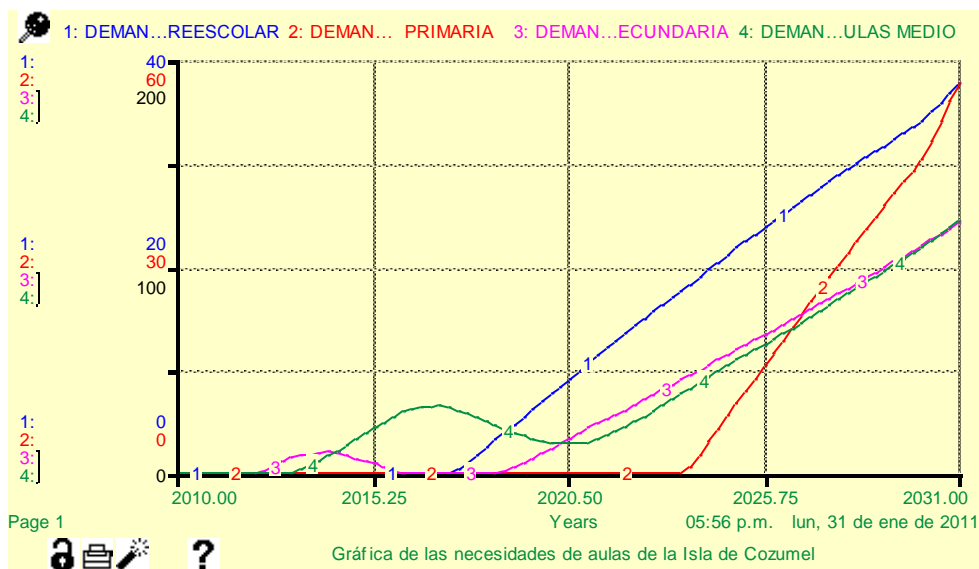


Figura 4. Gráfica de las necesidades de infraestructura educativa por nivel educativo del año 2010 al 2030

Tabla 9. Necesidades de infraestructura educativa por nivel educativo del año 2010 al 2030.

Año	Población de 3 a 5 años			Población de 6 a 11 años			Población de 12 a 14 años			Población de 15 a 17 años		
	Población proyectada	Ingreso a preescolar	Aulas requeridas	Población proyectada	Ingreso a primaria	Aulas requeridas	Población proyectada	Ingreso a secundaria	Aulas requeridas	Población proyectada	Ingreso a medio-medio profesional	Aulas requeridas
2010	4,505	2,897	0	9,792	9,716	0	4,938	4,023	0	5,016	2,809	0
2011	4,572	2,940	0	9,744	9,668	0	5,065	4,333	0	5,115	3,071	0
2012	4,927	3,169	0	9,732	9,656	0	5,207	4,680	2	5,211	3,326	0
2013	5,052	3,249	0	9,780	9,704	0	5,302	4,913	8	5,312	3,592	3
2014	5,186	3,335	0	9,859	9,782	0	5,302	4,912	8	5,436	3,921	12
2015	5,322	3,422	0	10,106	10,028	0	5,225	4,725	3	5,581	4,304	23
2016	5,456	3,509	0	10,389	10,308	0	5,135	4,504	0	5,684	4,578	31
2017	5,592	3,596	0	10,539	10,457	0	5,100	4,419	0	5,682	4,572	31
2018	5,726	3,682	3	10,811	10,726	0	5,149	4,538	0	5,591	4,332	24
2019	5,866	3,772	6	11,082	10,996	0	5,262	4,814	6	5,501	4,092	17
2020	6,005	3,862	9	11,354	11,265	0	5,399	5,151	15	5,463	3,992	14
2021	6,144	3,951	12	11,629	11,539	0	5,536	5,484	25	5,503	4,098	17
2022	6,278	4,038	15	11,912	11,819	0	5,666	5,803	34	5,617	4,400	26
2023	6,403	4,118	17	12,195	12,100	0	5,807	6,148	44	5,762	4,783	37
2024	6,532	4,201	20	12,477	12,380	5	5,945	6,487	53	5,906	5,167	48
2025	6,662	4,285	23	12,754	12,655	13	6,087	6,832	63	6,047	5,539	58
2026	6,783	4,362	25	13,027	12,925	20	6,225	7,170	73	6,184	5,901	69
2027	6,902	4,439	28	13,301	13,197	28	6,371	7,528	83	6,334	6,300	80
2028	7,014	4,510	30	13,566	13,460	35	6,518	7,888	93	6,484	6,696	91
2029	7,120	4,579	33	13,824	13,716	42	6,665	8,248	104	6,627	7,074	102
2030	7,256	4,666	36	14,133	14,023	50	6,818	8,623	114	6,788	7,502	114

#### 4. CONCLUSIONES

El nivel educativo de los individuos de una sociedad es un elemento primordial para lograr un desarrollo humano sostenible, ya que aporta las competencias necesarias para que los individuos sean los portadores y transmisores del conocimientos, habilidades y actitudes, un capital humano adecuados es fundamental para el sistema económico, el entorno humano, social y natural.

En el aspecto social el nivel educativo facilitará tener una sociedad mejor organizada y proactiva, con una visión abierta al futuro y a los cambios, así mismo permitirá tener un sistema económico flexible, y aumentará la capacidad para llegar a acuerdos y formar coaliciones, aumenta la probabilidad de coordinar esfuerzos para propiciar la innovación empresarial e institucional y en especial a generar capacidad para establecer mecanismos para alcanzar en la sociedad la generación de confianza y las prácticas de cooperación.

En el aspecto institucional, el nivel educativo incide sobre la capacidad de liderazgo de los dirigentes políticos, regula el comportamiento de los individuos y actores sociales, económicos y políticos, condiciona las actitudes, los conocimientos y habilidades de los funcionarios públicos, la calidad de la organización, la rendición de cuentas y la distribución y aplicación de los recursos.

Se demostró que la sociedad científica es un agente de cambio y principal promotor

para la aplicación conocimiento científico en problemas regionales.

Se demostró que existen metodologías de sistemas que pueden ser aplicados en problemas de simulación y que pueden ser utilizados por los diferentes actores de la región de estudio para tomar las mejores decisiones a corto, mediano y largo plazo.

Se demostró que la metodología de dinámica de sistemas es una metodología, que se emplea para simular sistemas complejos, que considera el pensamiento sistémico primordial para su correcta aplicación, la dinámica de sistemas considera a los sistemas dinámicos, con retroalimentación entre sus elementos.

El modelo de infraestructura educativa, demostró que a mediano plazo se requerirá invertir en infraestructura para el nivel medio y medio – profesional, esto es congruente con los actuales planes de estudio que buscan ante todo preparar egresados a nivel técnico que atiendan al sector turístico, que es la principal actividad de la zona.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cuellar, O, Moreno, F. (2009). Del Crecimiento Económico al Desarrollo Humano. Los Cambiantes Usos del Concepto de Desarrollo en América Latina, 1950-2000. *Revista Sociológica*. Año 25 (70), pp. 83-114.
- [2] Vega, M., Freitas, M., Álvarez, P., y Fleuri, R. (2007). Marco Teórico de Educación Ambiental e Intercultural para un Desarrollo Sostenible. *Revista Eureka. Enseñanza, Divulgación y Ciencias*. 4(3), 539-554.
- [3] Gutiérrez, L., Rodríguez, F., (2003). Historia, Instituciones y Crecimiento Económico. *Revista Análisis Económico*. 18(038), pp. 97-22.
- [4] Pearce, D., Barbier, E., Markandya, A., (1992). Sustainable Development: Ecology and Economic Progress. Elgar, E. (Ed). *Sustainable Development: economics and environment in the third world*. (1-22). Great Britain. Ediciones Earthscan Publications Ltd.
- [5] Aljure, J., (2007). Pensamiento Sistémico: la Clave Para la Creación de Futuros Realmente Deseados. *Revista ELEGIR*. 9, pp. 1-9.
- [6] Muñoz, J., Ramos, Y., Reque, J. (2009). Herramienta System Dynamics. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa*. Chimbote, Perú. pp. 1-10.
- [7] Medin, J., (2007). Modelo de Sistemas Dinámicos y Educación en Ciencias e Ingeniería. *Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education*. 1(2), 75-82
- [8] Richmond B. (1993). System Thinking: Critical Thinking Skills for thr 90's and Beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), pp.113-133.
- [9] Sabian, D., (2009) Jay Wright Forrester.
- [10] Caro, L. Goyhenecha, C., Sepúlveda, M. (2006). Diagrama de Forrester: El Diagrama Característico de la Dinámica de Sistemas. *Revista Universidad Tecnológica Metropolitana*.

## **EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF HEAT CONDUCTION IN ROCK SPHERES**

Contreras-Palacios A.<sup>1</sup>, Cazarez-Candia O.<sup>1,2\*</sup>, Torres-Tapia I.G.<sup>1</sup>, Ovando-Castelar R.<sup>1</sup>,  
Campos-Álvarez J.<sup>1</sup>

1) Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico No. 27, Zacatepec, Morelos, C.P. 62780,  
[cazarec\\_oct@hotmail.com](mailto:cazarec_oct@hotmail.com)

2) Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas Norte 152, col. San Bartolo Atepehuacan,  
México D.F., C.P. 07730

### **RESUMEN**

Una de las técnicas para la producción de petróleo es la combustión in-situ. Esta técnica

involucra fenómenos hidrodinámicos, químicos y térmicos. Cuando dicha técnica se aplica en yacimientos naturalmente fracturados, en la matriz de roca principalmente se presenta el flujo de calor por conducción, mientras que en las fracturas se presenta el flujo de calor por convección. Durante el planteamiento de las ecuaciones de conservación para simular la combustión in-situ es necesario saber si se puede hacer la suposición de equilibrio térmico entre las fases fluidas y la matriz de roca. Para lo anterior se debe conocer la velocidad del frente de combustión, la velocidad a la que viaje el calor por conducción y la velocidad a la que viaja el calor por convección.

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se hace un estudio experimental y teórico del flujo de calor por conducción a través de esferas de roca representativas de yacimientos mexicanos. Se realizaron experimentos con dos tipos de roca aplicando una condición de frontera de Dirichlet y se midió la temperatura en el centro de la esfera. También se simuló numéricamente los experimentos para determinar el perfil de temperatura desde la superficie hasta el centro de la esfera. Las simulaciones se validaron con los datos experimentales observándose excelente concordancia. La información de las simulaciones permitió determinar la velocidad del flujo de calor por conducción a través de las esferas. La información obtenida permitirá determinar la pertinencia de aplicar equilibrio térmico en el modelado de la combustión in-situ.

**Palabras clave:** Conducción de calor, simulación numérica, combustión in-situ.

#### **ABSTRACT**

One of the techniques used for the oil recovery is the in-situ combustion. This technique involves hydrodynamic, chemical and thermal phenomena. When such technique is applied in natural fractured reservoirs, in the rock matrix principally occur conduction heat transfer, whereas in fractures the convection heat transfer is presented. When the conservation equations, for the simulation of in-situ combustion, are formulated it is necessary to know if the supposition of thermal equilibrium among the fluid phases and rock can be applied. For the above, the combustion front velocity, conduction heat transfer velocity and convection heat transfer velocity must be known.

Then, in this work an experimental and theoretical study on the heat transfer through rock spheres representative of Mexican reservoirs, was done. Experiments were done using two kinds of rock applying a Dirichlet boundary condition and the temperature was measured in the sphere center. The simulations were validated using the experimental data obtaining an excellent agreement. The simulation information allowed determining the conduction heat transfer velocity through the spheres. The obtained information will allow determining the applicability of thermal equilibrium in the modeling of in-situ combustion.

**Keywords:** Heat conduction, numerical simulation, in-situ combustion

### **1. INTRODUCTION**

Approximately one third of global heavy oil resources can be found in fractured reservoirs. In spite of its strategic importance, recovery of heavy crudes from fractured reservoirs has found few applications due to the complexity of such reservoirs. In situ combustion is a candidate process for such reservoirs, and especially for those where steam injection is not feasible. However, for in situ combustion applied to fractured reservoirs, we have to deal with a multi-scale, multi-process, problem, and many unknowns are still



remaining. The recovery mechanism, and reservoir and operational conditions at which the combustion can propagate in fractured systems are not clearly understood. Particularly the process of energy transport at the boundary between a porous medium and a fluid represents a technological challenge. Alasmi and Vafai (2001) analyzed different types of interfacial conditions between a porous medium and fluid layer. The main objective of their study was to assess the differences among different models and to examine the effect of using them on heat transfer and fluid flow at a interface region. These authors showed that, in general, the differences have a more pronounced effect on the velocity field and a substantially smaller effect on the temperature field and even a smaller effect on the Nusselt number distribution. On the other hand, the heat transfer jump condition that applies at the boundary between a porous medium and a homogeneous fluid when the condition of local thermal equilibrium is *not valid* was developed by Ochoa-Tapia and Whitaker (1997). These authors applied separate transport equations to describe the behavior for each phase and found that the jump condition contained an excess surface heat exchange term that controls the manner in which the total flux is distributed between the two phases. Ochoa-Tapia and Whitaker (1998b) developed the jump condition when local thermal equilibrium is imposed and found that the non-local form can be simplified to the classic one-equation model for thermal energy transport.

With the idea of to understand the conduction heat transfer between a porous medium and a fluid, in this work an experimental and theoretical study on the heat transfer through rock spheres representative of Mexican reservoirs, was done. Experiments were done using two kinds of rock applying a Dirichlet boundary condition and the temperature was measured in the sphere center.

## **2. EXPERIMENTAL WORK**

The experimental equipment consists of a deposit that contains water which is heated until 98 °C at 1 atm. One rock sphere, at ambient temperature, is put into the water and then conduction heat transfer occurs through the sphere. The deposit dimensions are large enough so that water has a constant temperature. A LM35 temperature sensor is used to

measure the water temperature and a T type thermocouple was used to measure the temperature at the center of the rock sphere. The temperature measurement was done until the steady state condition is reached. A data logging system was built to get temperatures as function of time. A schematic representation of the experimental equipment and the material used in the experiments are shown in Figure 1 and Table 1, respectively.

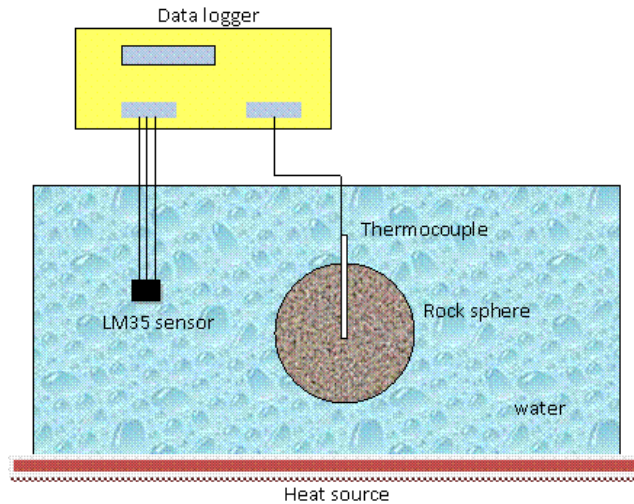


Figure 1. Experimental equipment.

Table 1. Material used in experiments.

Material	Dimensions	Characteristics
Rock 1	0.0762 m	Calcite, thermal conductivity, 1 w/mK, density 2500 kg/m <sup>3</sup> , heat capacity 900 J/kg-K
Rock 2	0.0762 m	Calcite, thermal conductivity 2.1 w/mK, density 2500 kg/m <sup>3</sup> , heat capacity 850 J/kg-K
Thermocouple		T type
Temperature sensors		LM35
Operational amplifier		LM324N
Resistances		100k and 1k
Data logger system		

Figure 2 shows the water temperature and the temperature at the center of a sphere form by rock 1 (see Table 1). The water temperature is practically constant (98 °C) while the rock temperature has a parabolic behavior. At the beginning of the experiment (< 180 s) the temperature at the rock sphere center is constant because the conduction heat transfer does not affect it yet. After this, the conduction heat transfer presents almost a linear behavior and then its velocity is smaller than at the beginning.

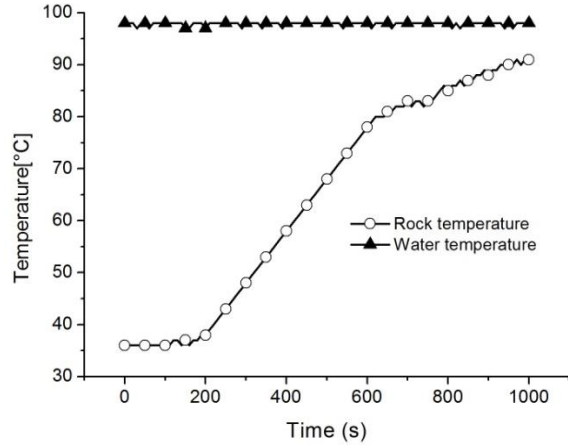


Figure 2. Temperature profile for rock 1

Figure 3 shows the water temperature and the temperature at the center of a sphere form by rock 2 (see Table 1). The temperature behaviors are similar than for rock 1 (Figure 2), however in this case the temperature at the rock sphere center is constant only until 80 s. This means that in rock 2 the heat transfer by conduction moves faster than in rock 1. This may be due to the higher thermal conductivity of the rock 2. Rock 1 and rock 2 do not contain any fluid in their pore-space then it is possible that the porosity could be smaller in rock 2 than in rock 1.

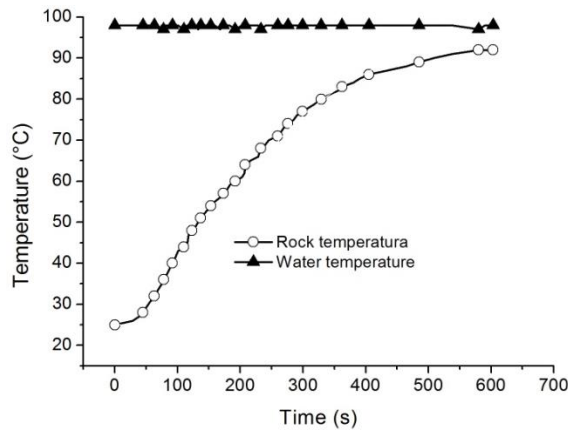


Figure 3. Temperature profile for rock 2.

### 3. THEORETICAL WORK

Many heat transfer problems are time dependent. Such unsteady or transient problems typically arise when the boundary conditions for a system is changed. For example in this work the rock spheres are initially at ambient temperature and their surfaces are suddenly at 98°C, then the temperature at each point in the sphere will also begin to change. The changes will continue to occur until a steady-state temperature distribution is reached. In

this case conduction heat transfer occurs from the surface to the sphere center. The aim of this section is to present the simulation of the experiments shown in section 2 by using a simulator (quick field 5.8) that uses the next heat transfer diffusion equation.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left( k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Where  $k$  is thermal conductivity,  $T$  is temperature,  $\rho$  is density,  $C_p$  is heat capacity, and  $r$ ,  $\theta$ ,  $\phi$  are the spherical coordinates.

In this work the next suppositions were done: 1) heat flows only in the  $r$  coordinate, 2) there is not heat generation, and 3) the thermal conductivity is constant. Then Eq. (1) can be written as

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\rho C_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

Where  $\alpha$  is the thermal diffusivity.

Accordingly to the experiment (Fig. 1) the next boundary conditions must be applied to resolve Eq. (2).

$$r = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (3)$$

$$r = R; \quad T = T_\infty \quad (4)$$

Where  $R$  is the sphere radius and  $T_\infty$  is the surface sphere temperature.

Eqs. (2)-(4) are solve numerically into the software QuikField 5.8 were the data given in Table 1 are used to simulated the experiments presented in section 2.

Figure 4 shows the comparison between data obtained from the experiment with the Rock 1 (see Table 1). The simulation presents an excellent fit with experimental data, this although the values for the rock properties used in the simulation were representative values, i.e. the rock needs be characterized.

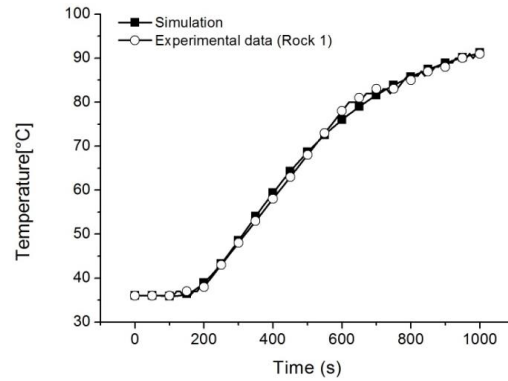


Figure 4. Comparison between simulation and experimental data for rock 1.

Figure 5 shows the comparison between data obtained from the experiment with the Rock 2 (see Table 1). The simulation presents a good fit with experimental data. The disagreement may be attributed to the representative values use for the rock properties. However, from Figs. 3 and 4, we can say that the simulations may be used to do predictions under other experimental conditions without the necessity of doing more experiments. This provided the boundary conditions, given by Eqs. (3) and (4), be applied.

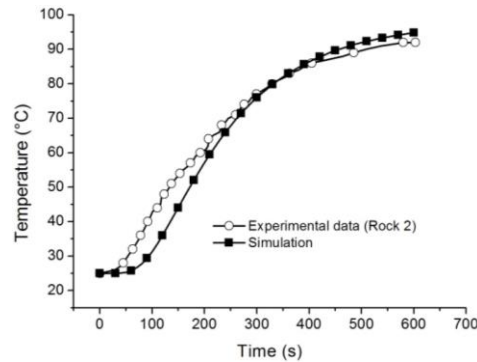


Figure 5. Comparison between simulation and experimental data for rock 2.

#### 4. CONCLUSIONS

Experimental and theoretical study on the heat transfer through rock spheres representative of Mexican reservoirs was done. Experiments were done using two kinds of rock representative from Mexican reservoirs. The obtained information will allow determining the applicability of thermal equilibrium in the modeling of in-situ combustion.

#### REFERENCES

- Alazmi, B. And Vafai, K., *Int. J. Heat Mass Trans.*, **44**,1735-1749 (2001)
- Ochoa-Tapia, J. A. and Whitaker, S., *Int. J. Heat Mass Trans.*, **40**, 2691-2707 (1997).
- Ochoa-Tapia, J. A. ad Whitaker, S., 1998., *Journal of Porous Media*, **1**, 31-46.

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CÓMPUTO PARA EVALUAR ECONÓMICAMENTE PROYECTOS

**Jorge Miguel Paulino Vázquez Alvarado<sup>1\*</sup>, Ignacio Ocampo Millán<sup>2</sup>, Juan de Dios Bustamante Orañegui<sup>1</sup>, Mayra Rubí Rodríguez Tapia<sup>3</sup>**

1) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatepec.

Km 0.5 Carr. Zacatepec – Galeana. Zacatepec, Mor. CP. 62780 Correo e:

vazquez.jorge@inifap.gob.mx.com

2) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Autopista del Sol km 104, Colonia Real del Puente, Xochitepec, Mor. C. P. 62790

3) Instituto Tecnológico de Zacatepec. Departamento de Sistemas Computacionales e Informática. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec, Mor. C.P. 62780.

## RESUMEN

Ante la necesidad de microempresarios y técnicos de evaluar económicamente proyectos de inversión de manera rápida, efectiva y barata, se decidió realizar el presente trabajo con el objetivo de diseñar y programar un sistema de cómputo amigable para evaluar proyectos. Para cumplir con el objetivo se realizaron las siguientes acciones: 1) definición de objetivos, características y funciones; 2) esquema del sistema, 3) Diseño de las tablas de datos del sistema 4) diagrama de la estructura del sistema; 5) formulación de los algoritmos matemáticos; 6) unión de algoritmos con interfaz JAVA; 7) creación de clases para guardar archivos en Excel; 8) creación de la interfaz gráfica JAVA; 9) depuración del sistema final; 10) pruebas del sistema; 11) desarrollo del manual de usuario del sistema y del CD Máster. El resultado fue un sistema de cómputo que se denominó *Proyectometro*. El proceso para utilizar el sistema, desde el registro de datos hasta la salida de resultados en Excel, se muestra gráficamente. Al probar su funcionalidad se concluyó que se había cumplido con el objetivo planteado al inicio.

**PALABRAS CLAVES:** Software, Evaluación, Proyecto.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un proyecto es la descripción del proceso para llevar a cabo una idea en un tiempo determinado. Cualquier proyecto debe examinarse tanto desde el punto de vista técnico como económica. El estudio técnico consiste en determinar si el procedimiento que se propone es el adecuado mientras que el análisis económico sirve para estimar los costos y beneficios financieros y sociales del proyecto. Ambas estudios son imprescindibles. El método para revisar técnicamente un proyecto es particular, es decir, depende del tipo de proyecto; en cambio el proceso de evaluación económica es general. Debido a esta característica se han desarrollado sistemas de cómputo que pueden evaluar cualquier tipo de proyecto aunque cada uno tiene variantes o profundiza en ciertos temas como el riesgo y la optimización.

El antecedente sobre desarrollo de software para evaluar proyectos en México es breve: en 1994 Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura desarrolló los sistemas

FIRAPAR y FIRAPROY para evaluar proyectos agrícolas y pecuarios respectivamente [1, 2]; se ejecutaban en sistema operativo MS-DOS; el costo del sistema era bajo pero requería de un período amplio de entrenamiento; no actualizaron su plataforma por lo que se volvió obsoleto. Inteligencia tecnológica en software es una empresa privada mexicana que en 2004 lanzó al mercado la primera versión de Intecplan el cual es un programa en hojas de Excel con las rutinas de cálculo de cada una de las etapas del proyecto y archivos de Word para personalizar los reportes. Su uso requiere licencia [3]. No se encontró otro software desarrollado en México. Las instituciones públicas mexicanas que evalúan financieramente proyectos utilizan rutinas en hoja de cálculo.

En el mercado nacional se puede adquirir software de origen extranjero, entre ellos: Evalas el cual es un software desarrollado en Argentina muy completo que calcula indicadores, genera gráficas, realiza análisis de sensibilidad y emite los reportes en HTML y PDF. Se requiere comprar licencia [4]. BoraSystem, una empresa estadounidense, puso en el mercado EasyPlanEx el cual es un software que calcula indicadores de rentabilidad, realiza análisis de sensibilidad y riesgo, encuentra una solución óptima considerando riesgo contra rentabilidad y genera una serie de reportes de un proyecto de inversión. Su uso requiere pagar licencia semestral o anual [5]. Existen otros más pero los mencionados son los más utilizados. Elegir entre ellos depende de lo complejo del proyecto que se quiera evaluar y por supuesto de su costo.

Los microempresarios, 99.8% de los empresarios en México [6], generalmente tienen en mente proyectos pequeños y sencillos. Para llevarlos a cabo necesitan crédito de la banca o apoyos del gobierno; éstos, para autorizar financiamiento, exigen a los microempresarios que presenten una propuesta viable técnica y financieramente. Debido a que los microempresarios generalmente tienen capital limitado, la propuesta la quieren realizar ellos mismos o utilizar los servicios de un técnico que no les cobre mucho. Tanto el microempresario como el técnico requieren un método para formular y evaluar proyectos de inversión de manera rápida, efectiva y barata. Ante esta necesidad, se decidió realizar el presente trabajo con el objetivo de diseñar y programar un sistema de cómputo amigable para evaluar proyectos.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

Los materiales que se utilizaron fue una computadora con 320 GB de disco duro disponible, memoria RAM de 4 GB, procesador Intel Core™ 2 Duo P8400, sistema operativo Windows XP y una pantalla de 16.4". El software utilizado fue: JAVA (JDK 1.4) instalado, Editor de Texto, ANT instalado y Office 2007.

Las actividades para desarrollar el sistema fueron las siguientes: 1) definición de objetivos, características y funciones; 2) esquema del sistema, 3) Diseño de las tablas de datos del sistema 4) diagrama de la estructura del sistema; 5) formulación de los algoritmos matemáticos; 6) unión de algoritmos con interfaz JAVA; 7) creación de clases para guardar archivos en Excel; 8) creación de la interfaz gráfica JAVA; 9) depuración del sistema final; 10) pruebas del sistema; 11) desarrollo del manual de usuario del sistema y del CD Máster.

### **2.1. Definición de objetivos, características y funciones**

En esta parte se define lo que el sistema debe realizar. En el presente caso, el sistema tiene como fin calcular los indicadores de rentabilidad de un proyecto de inversión.

También se debe especificar las características y funciones del sistema, que en este caso son: 1) registrar los datos del proyecto; 2) almacenar los datos del proyecto en archivos propios; 3) generar un reporte en pantalla y en Excel; 4) desarrollar una interfaz amigable para que el usuario acceda datos y navegue por las pantallas sin dificultad.

### **2.2. Esquema del sistema**

Con el objetivo en mente se procedió a elaborar el esquema del sistema. En la Figura 1 se muestra que los elementos de entrada son todos aquellos que identifican al proyecto, así como las variables que son necesarias para la evaluación como lo son; inversiones, costos, impuestos, utilidades, análisis de riesgo, financiamientos y situación sin proyecto. Todos estos datos entran al sistema para ser procesados y al instante salen los resultados en forma de indicadores.



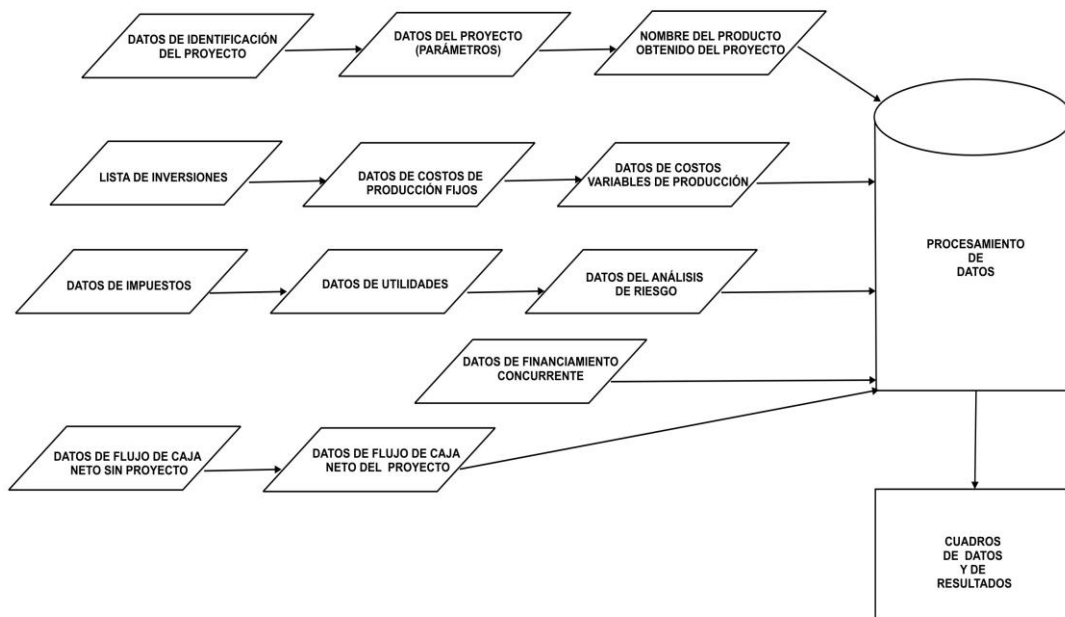


Figura 1. Esquema del sistema

### 2.3. Descripción contextual de las tablas:

TABLAS:

1. DATOS DEL PROYECTO:

DATOS DE PROYECTO

- Título
- Autor
- Cliente
- Comentario

PARAMETROS:

- Periodo
- Trema
- Periodo capital trabajo

2. PRECIO Y CANTIDAD:

LISTA DE PRODUCTOS

- Estudio

3. InvTP:

LISTAS DE INVERSIONES TANGIBLES

- Activo
- Unidad
- Cantidad
- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión

DEPRECIACION

- Proveedor
- Dirección
- Teléfono
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

4. InvTC:

LISTAS DE INVERSIONES TANGIBLES COMERCIALIZACION

- Activo
- Unidad
- Cantidad
- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión
- Proveedor
- Dirección
- Teléfono

DEPRECIACION

- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

5. InvTA:

LISTAS DE INVERSIONES TANGIBLES

- Activo
- Unidad
- Cantidad
- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión
- Proveedor
- Dirección
- Teléfono

DEPRECIACION

- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

6. InvNTP:

LISTAS DE INVERSIONES NO TANGIBLES

- Activo
- Unidad
- Cantidad

- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión
- Proveedor
- Dirección
- Teléfono

DEPRECIACION

- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

7. InvNTC:

LISTAS DE INVERSIONES NO TANGIBLES COMERCIALIZACION

- Activo
- Unidad
- Cantidad
- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión
- Proveedor
- Dirección
- Teléfono

DEPRECIACION

- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

8. InvNTA:

LISTAS DE INVERSIONES NO TANGIBLES ADMINISTRACIÓN

- Activo
- Unidad
- Cantidad
- Precio
- Subtotal
- Vida útil
- Año inversión
- Proveedor
- Dirección
- Teléfono

DEPRECIACION

- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

9. CAPITAL DE TRABAJO:

CAPITAL DE TRABAJO

- Ingreso
- Costo fijo
- Costo variable
- Flujo de fondos
- Flujo acumulado de fondos

10. CFP:

COSTOS FIJOS DE PRODUCCION

- Comentario
- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

11. CFA

COSTOS FIJOS ADMINISTRACION

- Comentario
- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

12. CFC

COSTOS FIJOS COMERCIALIZACION

- Comentario
- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

13. CVP

COSTOS VARIABLES PRODUCCION

- Comentario
- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

14. CVA

COSTOS VARIABLES ADMINISTRACION

- Comentario

- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

15. CVC

COSTOS VARIABLES COMERCIALIZACION

- Comentario
- Costo
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

16. IMPUESTOS

IMPUESTOS

- Comentario

17. UTILIDADES

REPARTO DE UTILIDADES

- Comentario

18. FConcurrent

FINANCIAMIENTO TANGIBLE PRODUCCION

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios
- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

FINANCIAMIENTO TANGIBLE ADMINISTRACION

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios
- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

FINANCIAMIENTO TANGIBLE COMERCIALIZACION

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios

- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

#### FINANCIAMIENTO NO TANGIBLE PRODUCCIÓN

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios
- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

#### FINANCIAMIENTO NO TANGIBLE ADMINISTRACIÓN

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios
- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

#### FINANCIAMIENTO NO TANGIBLE COMERCIALIZACIÓN

- Inversión total
- Monto
- Suma parciales
- % R. Propios
- \$ R. Propios
- % Subsidio
- \$ Subsidio
- % Crédito
- \$ Crédito

### 19. CREDITOS

#### CREDITOS

- Comentario
- Nombre
- Tipo
- Año crédito
- Años gracia
- Monto
- Tasa
- Tiempo

### 20. FLUJO DE CAJA

- Año 0
- Año 1
- Año 2
- Año 3
- Año 4
- Año 5

## 21. RentProy

### RESULTADOS: RENTABILIDAD DEL PROYECTO

- Riesgos naturales
- Riesgos tecnologicos
- Riesgos por Aprovisionamiento de Insumos
- Riesgos en Comercialización de Productos
- Riesgos por Organización
- Riesgos por Administración
- Riesgos Financieros

### MATRIZ DE RESULTADOS

- (+)Ingresos
- (-)Costos Variables de Producción
- (-)Costos Fijos Producción
- (-)Depreciación Activos Producción
- (=)COSTOS DE PRODUCCIÓN
- (=)UTILIDAD BRUTA
- (-)Costos Variables Comercialización
- (-)Costos Fijos Comercialización
- (-)Depreciación Activos Comercialización
- (=)GASTOS DE COMERCIALIZACIÓN
- (-)Costos Variables de Administración
- (-)Costos Fijos de Administración
- (-)Depreciación Activos Administración
- (-)Amortizaciones
- (=)GASTOS DE ADMINISTRACIÓN
- (=)GASTOS DE OPERACIÓN
- (-)Interés créditos
- (=)UTILIDAD DE OPERACIÓN
- (-)Impuestos
- (-)Reparto de Utilidades
- (=)UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS
- (+)Depreciación
- (+)Amortizaciones
- (-)Inversion activo Fijo
- (-)Inversion activo Intangibles
- (-)Capital de trabajo
- (+)Valor residual
- (+)Préstamos
- (-)Amortización préstamos
- (=)FLUJO DE CAJA NETO
- (=)FLUJO DE CAJA NETO SIN PROYECTO
- (=)FLUJO DE CAJA NETO INCREMENTAL DEL PROYECTO
- (=)FLUJO DE CAJA ACUMULADO

### PRINCIPALES INDICADORES

- VAN (o VPN)(\$)
- TIR (% anual)
- Periodo Repago
- Prob. Éxito

## 22. RentProp

### RENTABILIDAD DE RECURSOS PROPIOS

### MATRIZ DE RESULTADOS

PRINCIPALES

INDICADORES

MATRIZ DE

- > (+)Ingresos
- > VAN (o VPN)( $\$$ )
- > (-)Costos Variables de Producción
- > TIR (% anual)
- > (-)Costos Fijos Producción
- > Periodo Repago
- > (-)Depreciación Activos Producción
- > Prob. Éxito
- > (=)COSTOS DE PRODUCCIÓN
- > (=)UTILIDAD BRUTA
- > (-)Costos Variables Comercialización
- > (-)Costos Fijos Comercialización
- > (-)Depreciación Activos Comercialización
- > (=)GASTOS DE COMERCIALIZACIÓN
- > (-)Costos Variables de Administración
- > (-)Costos Fijos de Administración
- > (-)Depreciación Activos Administración
- > (-)Amortizaciones
- > (=)GASTOS DE ADMINISTRACIÓN
- > (=)GASTOS DE OPERACIÓN
- > (-)Interés créditos
- > (=)UTILIDAD DE OPERACIÓN
- > (-)Impuestos
- > (-)Reparto de Utilidades
- > (=)UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS
- > (+)Depreciación
- > (+)Amortizaciones
- > (-)Inversion activo Fijo
- > (-)Inversion activo Intangibles
- > (-)Capital de trabajo
- > (+)Valor residual
- > (+)Préstamos
- > (-)Amortización préstamos
- > (=)FLUJO DE CAJA NETO
- > (=)FLUJO DE CAJA NETO SIN PROYECTO
- > (=)FLUJO DE CAJA NETO INCREMENTAL DEL PROYECTO
- > (=)FLUJO DE CAJA ACUMULADO
- > (+)Ingresos
- > (-)Costos Variables de Producción
- > (-)Costos Fijos Producción
- > (-)Depreciación Activos Producción
- > (=)COSTOS DE PRODUCCIÓN
- > (=)UTILIDAD BRUTA
- > (-)Costos Variables Comercialización
- > (-)Costos Fijos Comercialización
- > (-)Depreciación Activos Comercialización
- > (=)GASTOS DE COMERCIALIZACIÓN
- > (-)Costos Variables de Administración
- > (-)Costos Fijos de Administración
- > (-)Depreciación Activos Administración
- > (-)Amortizaciones
- > (=)GASTOS DE ADMINISTRACIÓN

23. R  
entRenov  
RENTABILIDAD DE  
LA RENOVACIÓN  
RESULTADOS



- (=)GASTOS DE OPERACIÓN
- (-)Interés créditos
- (=)UTILIDAD DE OPERACIÓN
- (-)Impuestos
- (-)Reparto de Utilidades
- (=)UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS
- (+)Depreciación
- (+)Amortizaciones
- (-)Inversion activo Fijo
- (-)Inversion activo Intangibles
- (-)Capital de trabajo
- (+)Valor residual
- (+)Préstamos
- (-)Amortización préstamos
- (=)FLUJO DE CAJA NETO
- (=)FLUJO DE CAJA NETO SIN PROYECTO
- (=)FLUJO DE CAJA NETO INCREMENTAL DEL PROYECTO
- (=)FLUJO DE CAJA ACUMULADO

#### PRINCIPALES INDICADORES

- VAN (o VPN)(\$)
- TIR (% anual)
- Periodo Repago
- Prob. Éxito

## 2.4. Diagrama de la estructura del sistema

El diagrama de estructura del sistema, representa gráficamente los módulos de procedimiento que gestionará el sistema para la manipulación de datos de los proyectos que sean formulados y evaluados. El sistema tiene seis funciones principales: registrar, eliminar, modificar, calcular, consultar y generar resultados.

**Registrar:** permite capturar todos los datos que integran al proyecto, clasificándolos en el rubro correspondiente, al mismo tiempo crea un libro en Excel y genera las hojas de cálculo con sus respectivas tablas para almacenar los datos capturados por el usuario.

**Eliminar:** consiste en eliminar un registro que ya no sea necesario para la formulación del proyecto.

**Modificar:** realiza la actualización que sea necesaria para modificar datos de cualquier registro que anteriormente ya fue ingresado al sistema.

**Calcular:** ejecuta los cálculos matemáticos requeridos para evaluar el proyecto.

**Consultar:** muestra la información del proyecto, que ha sido registrada y generada por el sistema.

**Generar resultados:** Genera el informe de resultados final, para que el usuario pueda analizar y determinar si el proyecto es aceptado.

El diagrama de la estructura del sistema se muestra en la Figura 2.

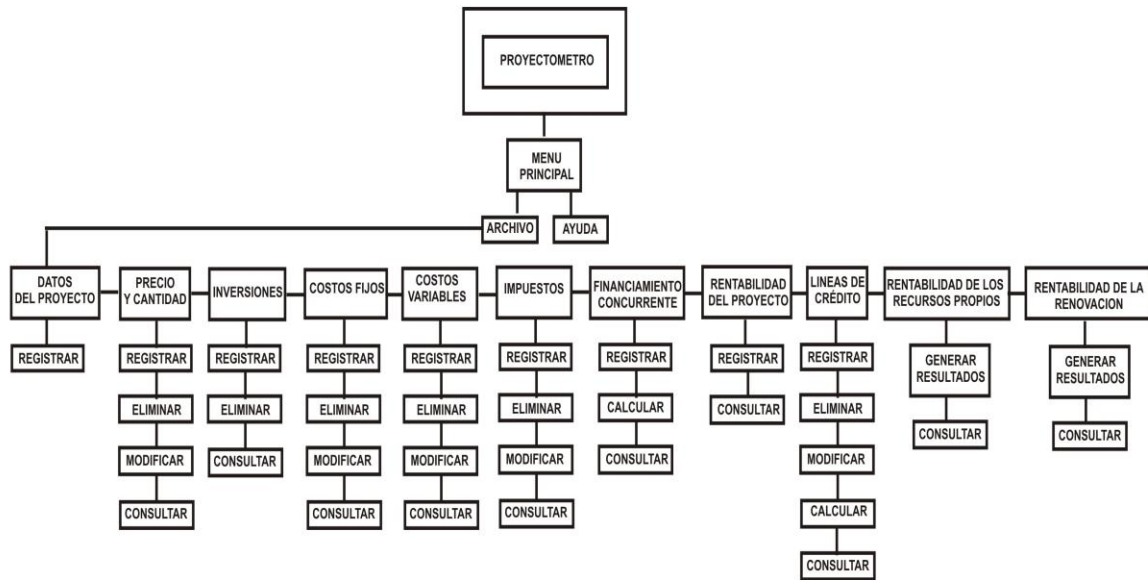


Figura 2. Diagrama de la estructura del sistema

## 2.5. Formulación de los algoritmos matemáticos

De cada fórmula matemática se diseñó su algoritmo para que fuera sencillo convertirlo al código correspondiente usado por el lenguaje de programación que se eligió para la creación del sistema.

## 2.6. Unión de algoritmos con interfaz JAVA

Posteriormente, se realizó la programación con el lenguaje JAVA (JDK 1.4) en base a los algoritmos previamente diseñados para que el sistema realizara los cálculos matemáticos necesarios para evaluar el proyecto.

## 2.7. Creación de clases para guardar archivos en Excel

Se requirió también, crear las clases necesarias en JAVA (JDK 1.4) para que el sistema almacenara toda la información registrada del proyecto, en un libro de Excel y generara las tablas con los datos correspondientes.

## **2.8. Creación de la interfaz gráfica JAVA.**

Finalmente se realizo la interfaz en JAVA (JDK 1.4) la cual está compuesta por los siguientes programas:

- CostoFijo.java
- CostoVariable.java
- Credito.java
- ExcelAdapter.java
- Impuestos.java
- ItemInv.java
- Producto.java
- Proyecto.java
- Proyectometros.java

## **2.9. Depuración del sistema final**

Se revisó el código del sistema con el objetivo de encontrar posibles errores en la ejecución y corregirlos en tiempo y forma con lo cual se optimiza y mejora los procesos que el sistema lleva a cabo para realizar sus funciones.

## **2.10. Pruebas del sistema**

Antes de cerrar la programación se hicieron pruebas para lo cual se introdujeron datos en cada una de las pantallas y los resultados se compararon con los obtenidos de un ejercicio realizado en Excel. Cuando los resultados diferían, se regresaba a la programación para revisar los cálculos o relaciones; si había errores, se corregía y se volvían hacer pruebas. Este procedimiento se repitió muchas veces hasta que el sistema arrojaba los resultados correctos.

## **2.11. Desarrollo del manual de usuario del sistema y del CD Máster.**

Posteriormente, en cuanto se comprobó satisfactoriamente que se cumplieron los objetivos del sistema, se elaboro el manual de usuario, y el CD Máster, para realizar las copias necesarias para su publicación y distribución.

### 3. RESULTADOS

El resultado del trabajo de programación fue un sistema que se le puso por nombre **Proyectometro**. Se nominó de esta manera para dar a entender que “mide” proyectos.

Para trabajar con el sistema, éste se instala en una PC que tenga sistema operativo Windows, LINUX, SOLARIS o MAC con al menos 128 Mbytes de memoria RAM, disco duro con 50 MBytes disponibles en disco duro y unidad lectora de CD, o unidad de USB. Respecto a software debe contar con hoja de cálculo para generar los reportes.

La instalación se hace mediante CD o USB el cual se introduce en el drive correspondiente con lo que aparecerá el programa de instalación que guía al usuario durante el proceso.

Para llamar el sistema se oprime el botón de inicio con lo aparecerá la lista de programas disponibles; de ella se elige **Proyectometro** y se da **Aceptar** con lo cual aparece la Figura 3.



Figura 3. Pantalla inicial.

#### 3.1. Captura de datos

Una sesión de trabajo empieza oprimiendo con el puntero la palabra **Archivo** del menú principal con lo cual se despliega la lista de opciones; de ella se puede elegir **Nuevo** si es un proyecto que inicia, o **Abrir** si es proyecto que ya existe y quiere concluirse o modificarse. Por motivo didáctico a partir de este momento sólo se hará referencia a un proyecto nuevo. Después oprimir la opción **Nuevo**, del lado izquierdo de la pantalla aparecerá una ventana que muestra cuatro carpetas con subcarpetas relacionadas. La primera se llama **Ingreso de datos** la cual contiene 11 subcarpetas con los siguientes nombres: **Datos del proyecto**,

Precio y Cantidad, Inversiones, Costos Fijos, Costos Variables, Capital de Trabajo, Impuestos, Reparto de Utilidades, Financiamiento Concurrente, Fuentes de Financiamiento, Flujo de Caja neto sin proyecto (Figura 4). Todas estas subcarpetas tienen en común que en ellas se registran datos del proyecto. En el manual del usuario [6] se especifican los datos que en cada subcarpeta se capturan y las funciones que cada una de ellas tiene.

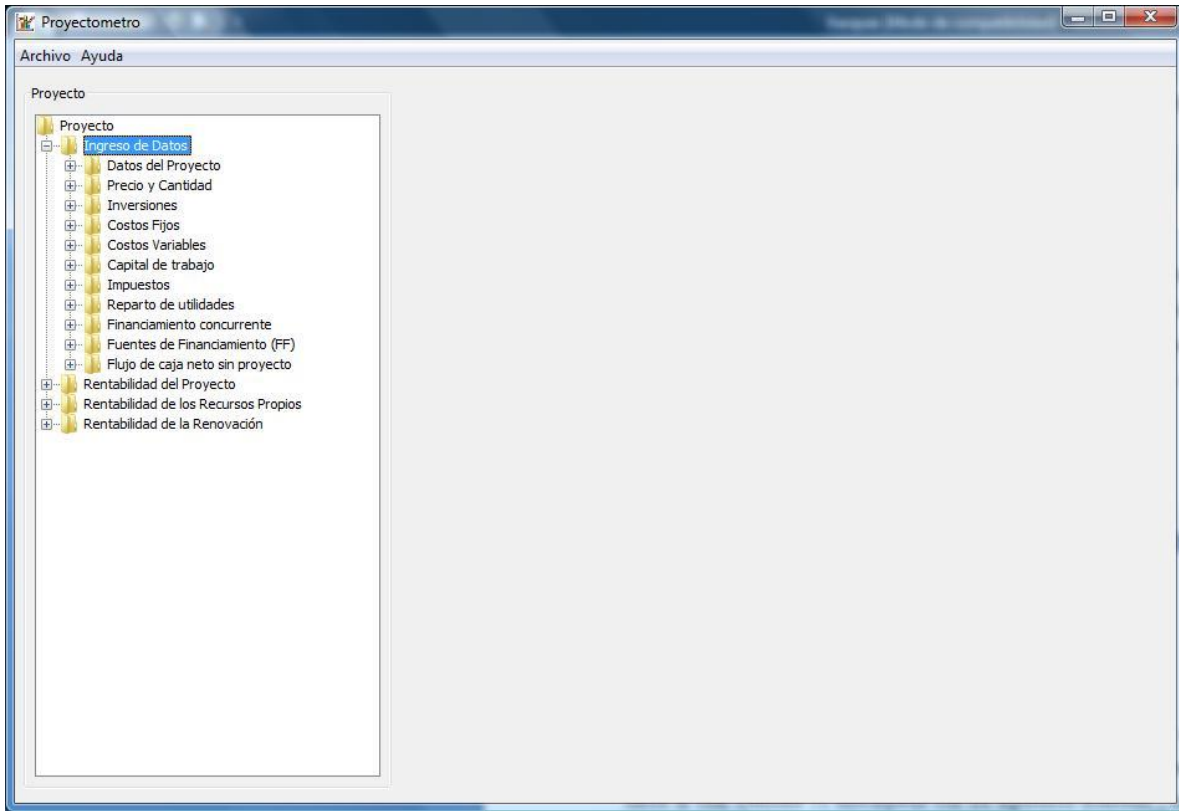


Figura 4. Pantalla de Ingreso de Datos.

### 3.2. Rentabilidad del proyecto

Una vez que se terminó de registrar los datos se abre la carpeta Rentabilidad del Proyecto la cual contiene tres pantallas: Análisis de Riesgos, Matriz de flujos y Principales indicadores. Ver Figura 5. Por su importancia y características particulares se describen a continuación brevemente.

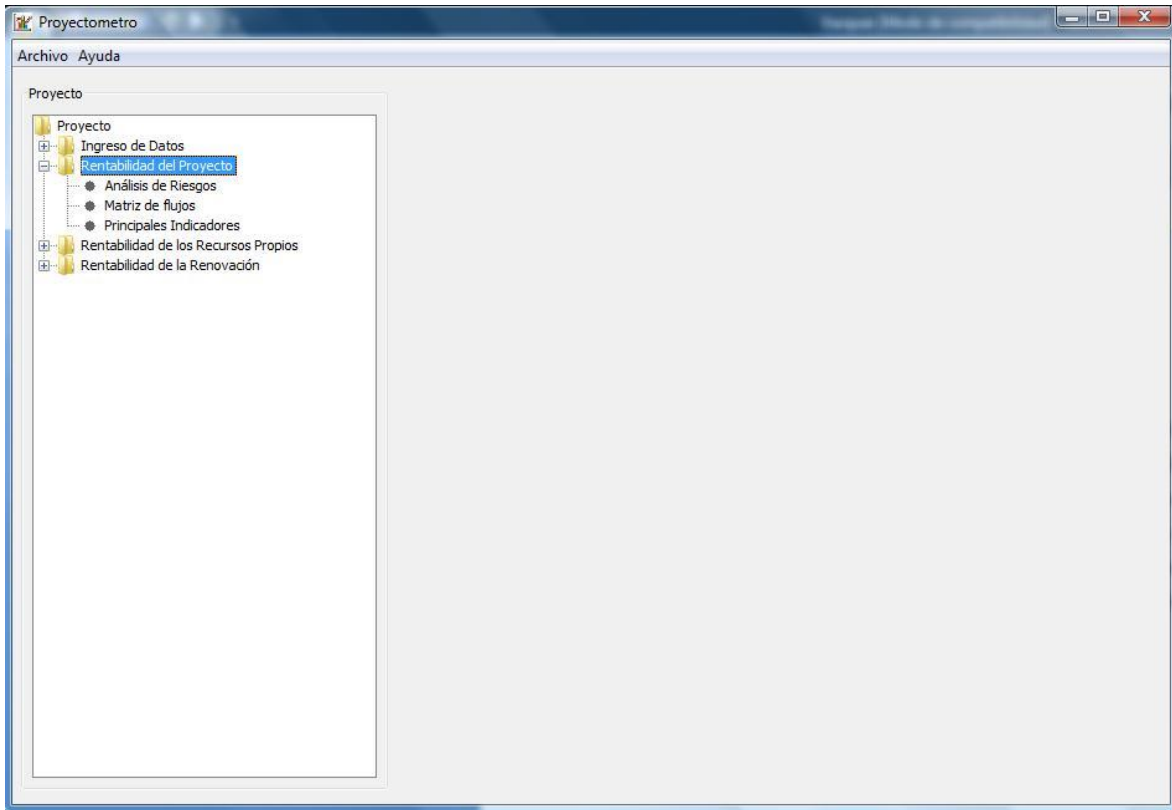


Figura 5. Pantalla de Rentabilidad del Proyecto.

### 3.2.1. Análisis de riesgo

Al oprimir el texto Análisis de riesgo se despliega una pantalla que contiene una matriz la que se llena empezando con la descripción de los riesgos y sus medidas correctivas; después se procede a calificar dichos riesgos colocando el número 1 en la columna de la matriz que indique si el riesgo es bajo, normal, moderado y alto (Figura 6).

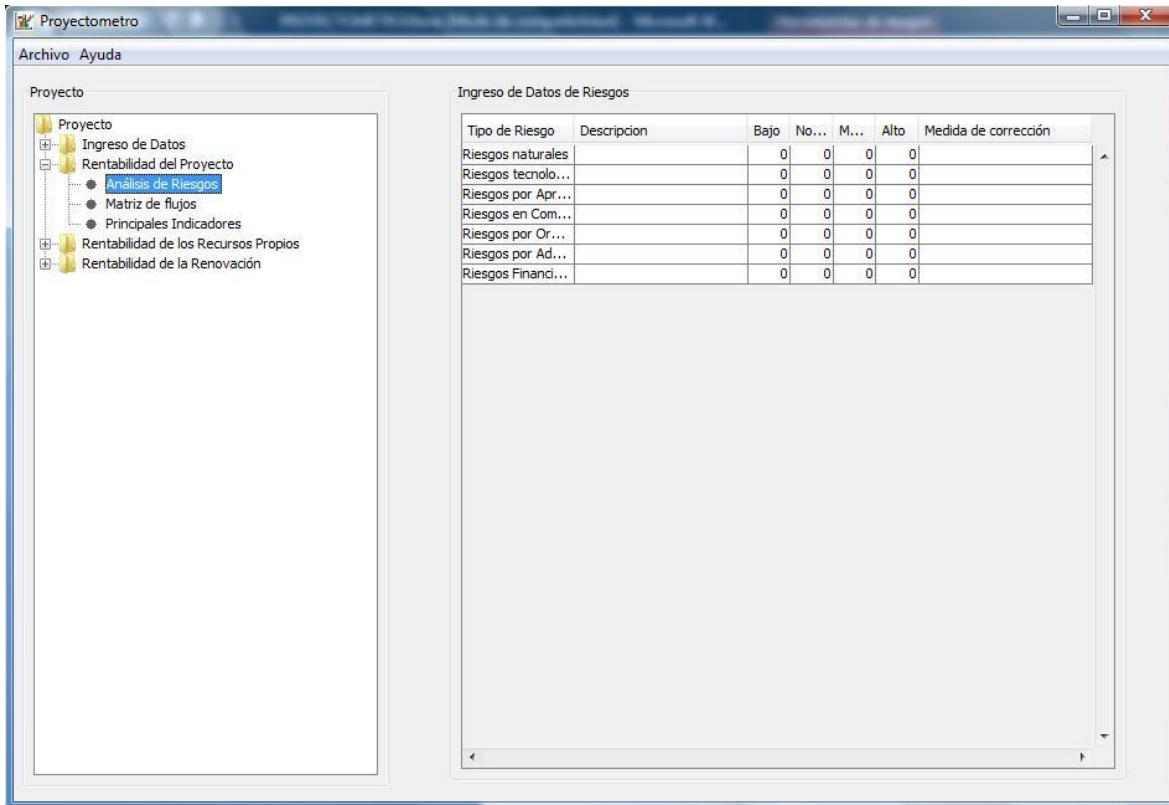


Figura 6. Pantalla de Análisis de Riesgo.

### 3.2.2. Matriz de flujo

Al oprimir Matriz de flujo aparece el Flujo de caja (Figura 7). Aquí se puede revisar todos los datos registrados anteriormente. Esta matriz es la base para calcular los indicadores.

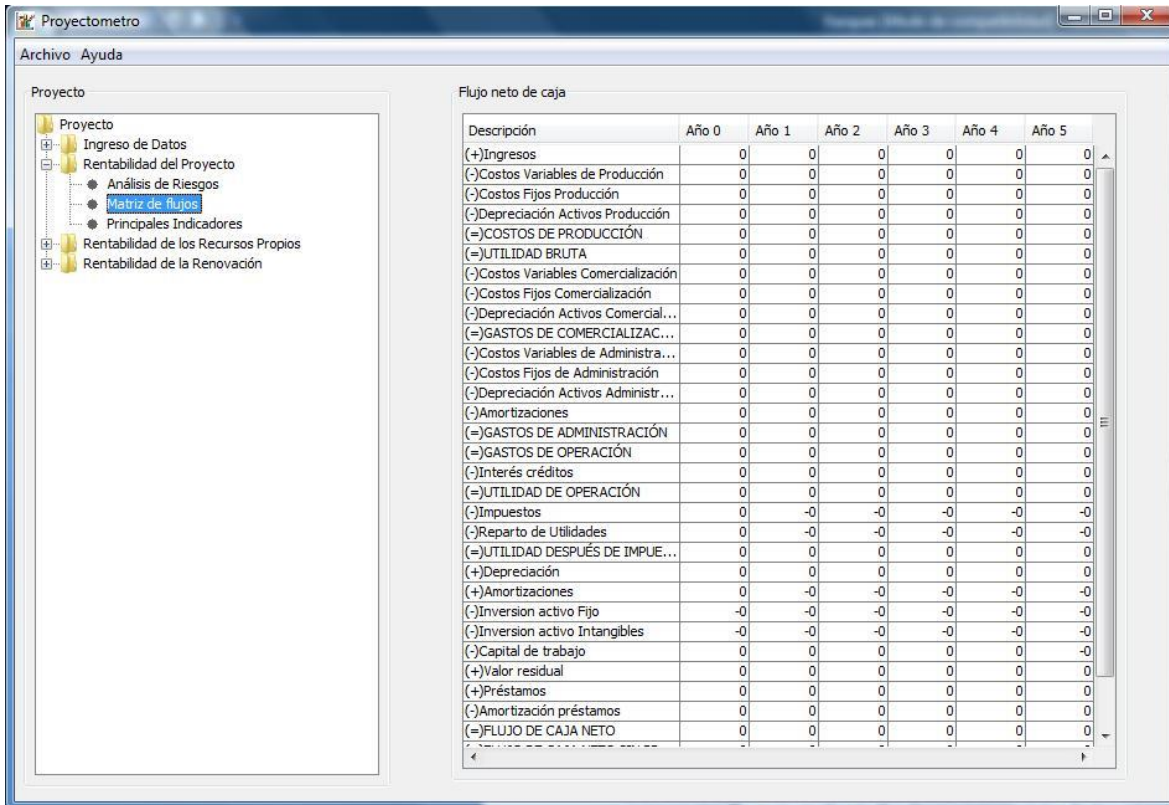


Figura 7. Flujo de caja de un proyecto.

### 3.2.3. Principales indicadores

Al oprimir la opción Principales Indicadores aparece la pantalla que se exhibe en la Figura 8 y que muestra indicadores Valor Actualizado Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Período de recuperación y Probabilidad de éxito, los cuales son la base para tomar la decisión de aceptar o rechazar el proyecto.



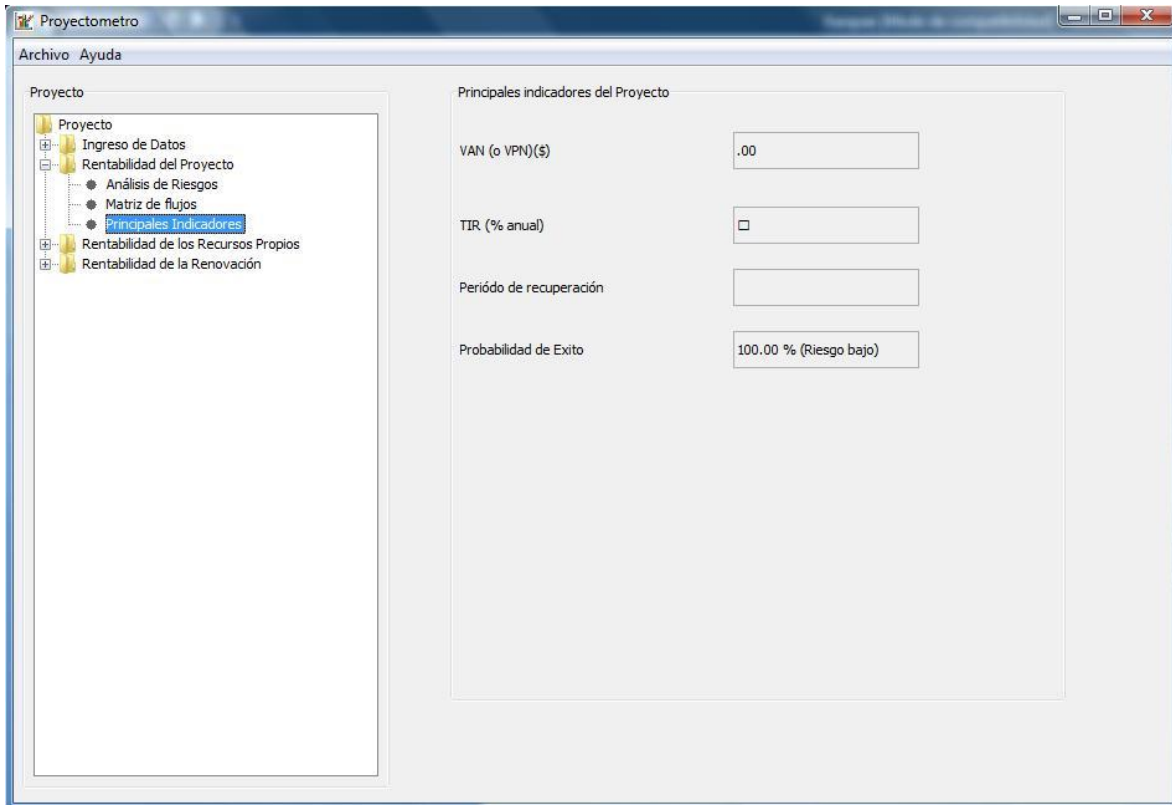


Figura 8. Principales indicadores.

### 3.3. Rentabilidad de los Recursos propios

Para conocer la rentabilidad de los recursos propios, es decir, saber si los fondos del empresario son suficientes para poner en marcha el proyecto o si requiere financiamiento externo, lo primero que se debe hacer es calcular los montos concurrentes; para esto se oprime la carpeta Financiamiento concurrente con lo que aparece una pantalla (Figura 9), con una matriz que muestra los activos y montos que se registraron en la carpeta de Inversiones. Esta matriz tiene como encabezados: Inversión, Monto, Suma de parciales, Propios %, Propios \$, Subsidio %, Subsidio \$, Crédito % y Crédito \$. Las celdas de Propios, Subsidios y Crédito se pueden llenar de dos formas, una escribiendo la cantidad, con lo que automáticamente aparece el porcentaje y otra indicando el porcentaje con lo que automáticamente aparece la cantidad. Si la cantidad de Suma de parciales es igual a la de Monto, el cálculo se hizo correctamente y por lo tanto la celda de Inversión se colorea de verde, si no, se deben buscar y corregir el error. De este cuadro se desprende el monto que se solicitará a las fuentes crediticias.

Proyctometro

Archivo Ayuda

Proyecto

Desglose de inversiones de Producción

Inversión	Monto	Suma de p...	Propios %	Propios \$	Subsidio %	Subsidio \$	Crédito %
Bioespacios	23,760,000	23,760,000	20	4,752,000	50	11,880,000	
Aspersoras ...	798,000	790,020	19	151,620	50	399,000	

Figura 9. Financiamiento concurrente.

Para calcular el servicio de la deuda se selecciona con el cursor la carpeta Fuentes de Financiamiento (FF) con lo que aparece las opciones Lista de FF y Desglose de créditos. Al oprimir Lista de FF surge la pantalla que se aprecia en la Figura 10. En ésta se oprime el botón Agregar línea de crédito con lo que empiezan aparecer consecutivamente las siguientes celdas: Nombre del crédito, Tipo de cálculo de interés, Año de obtención del crédito, Número de pagos, Tasa de interés, Años de gracia y Monto del crédito. En Tipo de cálculo de interés se debe elegir entre el sistema Francés y Alemán para lo cual se debe escribir el nombre. Predeterminadamente aparece el sistema francés. Con estos datos el sistema hace los cálculos de interés y amortización de la deuda; si se quiere consultar los cálculos se oprime Desglose de créditos.

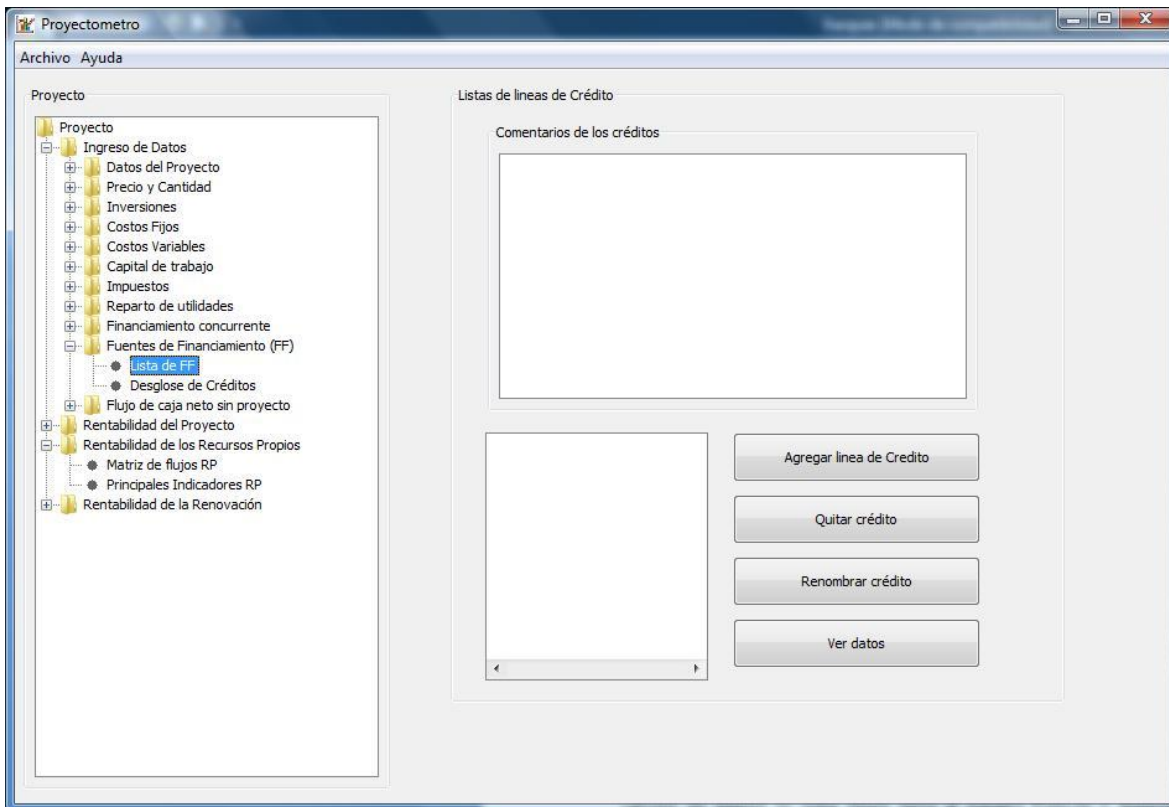


Figura 10. Lista de fuentes de financiamiento.

Una vez que se calculó el servicio de la deuda se selecciona la carpeta Rentabilidad de los recursos propios con lo que aparecen las opciones Matriz de flujos y Principales indicadores. Al seleccionar la primera aparecerá una matriz con las filas Interés crédito, Préstamo y Amortización de préstamo en donde se refleja el servicio de la deuda. Para conocer la rentabilidad del proyecto considerando el crédito se selecciona Principales indicadores; interpretando estos se toma la decisión si se acepta o rechaza el proyecto.

### 3.4. Rentabilidad de la renovación

Cuando el proyecto consiste en cambiar equipos o procesos la evaluación es diferente debido a que sólo se debe considerar el beneficio incremental. Para calcular esto lo primero que se tiene que conocer es el flujo de caja neto de la empresa antes de la renovación. Estos datos se registran en la carpeta llamada Flujo de caja neto sin proyecto (Figura 11). Una vez capturados estos datos se posiciona el cursor en la carpeta Rentabilidad de la renovación con lo que aparecen las opciones Matriz de flujos y Principales indicadores; al seleccionar la primera aparecerá una matriz con dos filas ubicadas en el penúltimo y antepenúltimo lugar llamadas FLUJO DE CAJA NETO SIN PROYECTO y FLUJO DE CAJA NETO

INCREMENTAL DEL PROYECTO. Con los datos registrados en esta matriz se calculan los indicadores los cuales se pueden consultar en la opción Principales indicadores. Según los valores de los indicadores se puede decidir si se acepta o rechaza la renovación.

The screenshot shows the 'Proyectometro' application window. On the left is a tree view under 'Proyecto' with items like 'Ingreso de Datos', 'Datos del Proyecto', 'Precio y Cantidad', 'Inversiones', 'Costos Fijos', 'Costos Variables', 'Capital de trabajo', 'Impuestos', 'Reparto de utilidades', 'Financiamiento concurrente', 'Fuentes de Financiamiento (FF)', 'Flujo de caja neto sin proyecto', 'Rentabilidad del Proyecto', 'Rentabilidad de los Recursos Propios', 'Rentabilidad de la Renovación', 'Matriz de flujos RR', and 'Principales Indicadores RR'. On the right is a table titled 'Flujo neto de caja' with columns for 'Descripción', 'Año 0', 'Año 1', 'Añ...', 'Año 3', 'A...', and '...'. The table contains various financial entries with numerical values.

Descripción	Año 0	Año 1	Añ...	Año 3	A...	...
(-)Depreciación Activos Producción	0	0	0	0	0	0
(=)COSTOS DE PRODUCCIÓN	0	0	0	0	0	0
(=)UTILIDAD BRUTA	0	0	0	0	0	0
(-)Costos Variables Comercialización	0	0	0	0	0	0
(-)Costos Fijos Comercialización	0	0	0	0	0	0
(-)Depreciación Activos Comercialización	0	0	0	0	0	0
(=)GASTOS DE COMERCIALIZACIÓN	0	0	0	0	0	0
(-)Costos Variables de Administración	0	0	0	0	0	0
(-)Costos Fijos de Administración	0	0	0	0	0	0
(-)Depreciación Activos Administración	0	0	0	0	0	0
(-)Amortizaciones	0	0	0	0	0	0
(=)GASTOS DE ADMINISTRACIÓN	0	0	0	0	0	0
(=)GASTOS DE OPERACIÓN	0	0	0	0	0	0
(-)Interés créditos	0	0	0	0	0	0
(=)UTILIDAD DE OPERACIÓN	0	0	0	0	0	0
(-)Impuestos	0	-0	-0	-0	-0	-0
(-)Reparto de Utilidades	0	-0	-0	-0	-0	-0
(=)UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS	0	0	0	0	0	0
(+)Depreciación	0	0	0	0	0	0
(+)Amortizaciones	0	-0	-0	-0	-0	-0
(-)Inversion activo Fijo	-0	-0	-0	-0	-0	-0
(-)Inversion activo Intangibles	-0	-0	-0	-0	-0	-0
(-)Capital de trabajo	0	0	0	0	0	-0
(+)Valor residual	0	0	0	0	0	0
(+)Préstamos	0	0	0	0	0	0
(-)Amortización préstamos	-0	-0	-0	-0	-0	-0
(=)FLUJO DE CAJA NETO	0	0	0	0	0	0
(=)FLUJO DE CAJA NETO SIN PROYECTO	0	0	0	0	0	0
(=)FLUJO DE CAJA NETO INCREMENTAL DEL PROYECTO	0	0	0	0	0	0
(=)FLUJO DE CAJA ACUMULADO	0	0	0	0	0	0

Figura 11. Matriz del Flujo de caja de un proyecto de renovación.

### 3.5. Salida de resultado

Los cuadros de datos y de resultados se envían a una hoja de cálculo con el fin de que el proyectista les dé el formato más apropiado para presentar su informe.

### 3.6. Salida del sistema

Antes de salir el proyecto se debe guardar para lo cual en el menú Archivo aparece la opción Guardar y Guardar como; el primero se usa cuando el archivo ya existe y el segundo cuando el proyecto se va a guardar por primera vez. Esos archivos tienen la extensión \*.xml. Con esta función el proyectista puede formar un portafolio de proyectos.

## 4. CONCLUSIONES

Se diseñó y programó un sistema de cómputo para evaluar económicamente proyectos de una manera fácil, rápida, barata y amigable.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 1994. Evaluación paramétrica agrícola FIRAPAR Versión 1.0 Manual de operación. Banco de México, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. México.
- [2] Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 1994. FIRAPROY Sistema computacional para la evaluación de proyectos Bovinos de carne y doble propósito. Banco de México, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. México.
- [3] Intecplan. 2004. Software para formulación de proyectos. [http://www.intecplan.com.mx/index.php?section=que\\_es\\_intecplan](http://www.intecplan.com.mx/index.php?section=que_es_intecplan) (Enero 24 de 2011).
- [4] EvalAs. 2008. Software para Evaluación de Proyectos de Inversión Productivos. [http://www.elsitioagricola.com/Soft/evalas/evalAs1\\_0.asp](http://www.elsitioagricola.com/Soft/evalas/evalAs1_0.asp) (Enero 24 de 2011)
- [5] BoraSystem. EasyPlanEx. <http://www.borasystems.com/easyplanex.html> (Enero 24 de 2011)
- [6] Empresas mexicanas requieren mejores soluciones empresariales. Empresas y Empresarios. Noviembre de 2004. Año 4 No. 72

## CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MAQUINADO DE LA PLANTA MYCOM MAYEKAWA

Dr. José Luis Coronel Trujillo<sup>1\*</sup>, Guadalupe Gómez Ortiz<sup>1</sup>, Luis Alberto Medina Juárez<sup>1</sup>, Oscar Román Rosales<sup>1</sup>, Elías Estrada Gonzaga<sup>1</sup>.

1) Instituto tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Industrial, Departamento de posgrado e investigación. Calzada Tecnológico No. 27 Zacatepec Morelos, C.P. 62780, zacatepecjlt@hotmail.com

### Resumen

La simulación es una herramienta muy útil para el diseño de sistemas de manufactura. Para poder realizar el proceso de modelado, antes debe construirse el modelo de simulación del sistema en estudio. En el presente artículo se describen los elementos necesarios para la construcción del modelo de simulación de la nave de maquinado y ensamble de la empresa Mycom Mayekawa de México. La herramienta de simulación usada es el software PASION.

**Palabras clave:** modelado por simulación, lenguaje de simulación.

### Abstract

The simulation is a very useful tool for the design of manufacturing system. To be able to realize the process of shaped, before there must be constructed the model of simulation of the system in study. In the present article there are described the elements necessary for the construction of the model of simulation of the ship of schemed and assemble of the company Mycom Mayekawa of Mexico. The tool of secondhand simulation is the software PASSION.

**Key words:** shaped by simulation, language of simulation.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL CASO REAL

El caso real corresponde al sistema de manufactura de la planta Mycom Mayekawa de México. La planta de Mycom Mayekawa de México pertenece al Corporativo Mycom. Tiene plantas en varias partes del mundo. Una de esas plantas está ubicada en CIVAC, Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Morelos.

La metodología que se sigue en todo el proceso de simulación está integrada por las etapas siguientes:

Análisis de la estructura de la organización; interpretación de la organización como un

sistema; identificación del problema del sistema de manufactura; recolección, procesamiento y validación de la información; formulación y validación del modelo matemático y el de simulación; diseño ó selección del software para la simulación; diseño del experimento para la realización de la selección del software para el análisis estadístico de los resultados de la simulación; análisis y validación de la simulación del sistema; implantación de la solución al sistema real.

En este artículo se muestra solo la etapa de construcción del modelo del área de maquinado de la planta Mycom Mayekawa.

La empresa Mycom Mayekawa produce compresores para la refrigeración industrial. En las figuras 1 y 2 aparecen: la sección del compresor y sus piezas de ensamble, respectivamente. La mayoría de las partes del compresor se producen por fundición y por remoción de material. Las partes que se producen en el área de fundición pasan al área de maquinado, en la cual se realiza el proceso de remoción de material.

**En la manufactura de un compresor se requiere pasar por las siguientes etapas:**

- a. Llegada del monoblock, cigüeñal, tapas, cabezas, bielas, poleas, automáticos y codos de la nave de fundición.

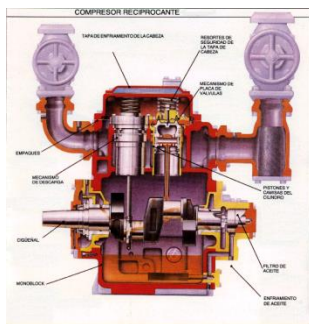


Figura 1. Sección de un compresor

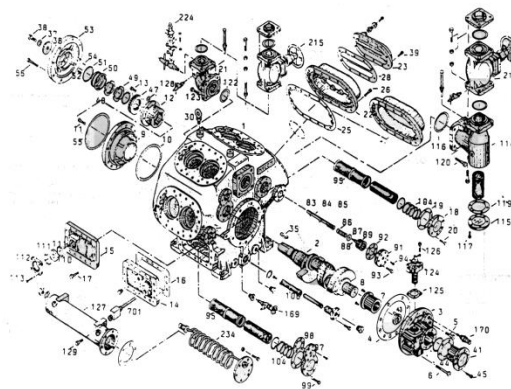


Figura 2. Partes de un compresor

- b. Maquinado de partes y almacenado en un buffers
- c. Pruebas sobre la estructura del monoblock y almacenado en un buffer
- d. Llegada de las partes para ensamble
- e. Ensamble del compresor y almacenado en buffer
- f. Pruebas sobre el compresor ensamblado y almacenado en un buffer
- g. Pintado del compresor y almacenado en un buffer

- h. Embalaje
- i. Embarque

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS MEDIANTE EL SOFTWARE PASION

El software que se utiliza para la construcción de los modelos de simulación de la planta Mycom es el software PASION (actualmente conocido como psm++, blues simulation software) del Dr. Stanislaw Raczynski. Los bloques que integran a este software se pueden observar en la figura 3.

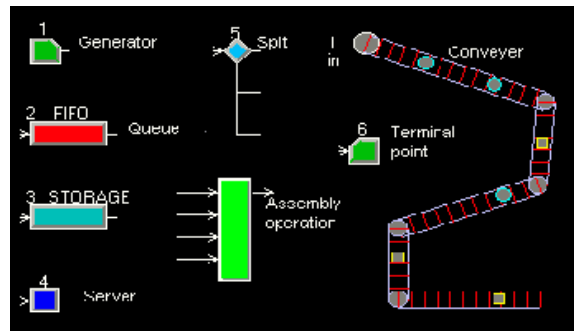


Figura 3. Bloques del software PASION, para describir cada parte del proceso

### Los modelos obtenidos mediante el software PASION son:

- Modelo de maquinado de monoblocks
- Modelo de maquinado de cabezas
- Modelo de maquinado de cigüeñales
- Modelo de maquinado de poleas
- Modelo de maquinado de tapas
- Modelo de maquinado de bielas
- Modelo de maquinado de camisas
- Modelo de maquinado de automáticos
- Modelo de maquinado de válvulas y codos
- Modelo de ensamble
- Modelo de la planta con todas las líneas independientes



Modelo de la planta con todas las líneas ligadas

Por razón de espacio, a continuación se describen solo los modelos de maquinado de monoblocks y el de todas las líneas ligadas.

### **Modelo de maquinado de monoblocks.**

El modelo que representa al subsistema de la línea de maquinado de monoblocks está hecho en el Software **PASION**. Lo integran tres archivos: el primero, **monoblo.blw**, es el que representa al diagrama de bloques de la línea de maquinado de monoblocks; en el segundo, **funpr\_mon.pas** están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje Delphi; en el tercero, **semaf\_mon.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers. Las funciones utilizadas en el archivo **funpr\_mon.pas** son: **assemf()**, **tnigata(source)**, **tyasda(source)**, **monrech(source)**, **tipmonex(source)**, **monobter (source)**, **demanda (source)**, **constipo (x)**. Los tiempos de llegada y de maquinado de monoblocks se dan más adelante.

### **Recolección, procesamiento y validación de la información**

La información relativa al proceso de producción de los componentes, ensamble y acabados del compresor, se obtuvo directamente de las líneas de proceso.

La información recabada se procesó mediante el paquete Promodel para determinar los modelos probabilísticos de cada línea del proceso.

### **Línea de maquinado de monoblocks para compresor reciprocante.**

El área de producción de compresores reciprocantes y específicamente en la elaboración del monoblock (componente principal del compresor reciprocante), cuenta con dos máquinas completamente automatizadas, equipadas con herramientas para formar la cuerda interna, esmerilar y cortar, para dar forma al monoblock, de acuerdo con las características del diámetro y diseño del compresor al que pertenezca. Estas dos máquinas están identificadas como Yasda y Nigata y el proceso de elaboración del monoblock se describe

sin recurrir a un diagrama de operación, debido a que el modelo de simulación construido con el software PASION crea un archivo el cual muestra las características de operación en la secuencia que lleva el proceso de los componentes del compresor recíprocante.

### Llegada de monoblocks para maquinar

a. Al buffer de llegada del CM - CNC- YASDA llegan los diez tipos de monoblocks.

b. Al buffer de llegada del CM-CNC- NIGATA llegan todos los monoblock excepto el 2 A.

c. La cantidad de monoblocks producidos en fundición por mes de cada tipo se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Línea de Monoblocks, producción de fundición.

MODE- LOS DE MONOB LOCK	LÍNEA DE MONOBLOCK, PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN																							
	2009												2010											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2A	2	1	2	3	0	1	4	0	0	0	0	2	6	6	0	0	1	3	1	6	1	0	2	0
4A	17	23	1	11	2	6	4	0	0	9	9	1	1	1	5	3	7	4	1	1	0	0	6	9
4B	13	7	2	2	6	1	1	18	6	2	2	1	7	1	2	2	2	2	6	5	1	1	3	1
6A	9	4	3	14	5	6	1	5	6	16	1	1	1	1	1	1	6	3	1	1	1	3	1	6
6B	16	9	1	4	12	2	4	36	18	29	2	8	1	1	1	4	1	8	2	3	2	1	7	1
8A	11	12	1	6	5	6	1	7	0	11	1	1	4	5	1	0	0	0	9	2	2	9	1	0

8 B	6	17	1	4	0	8	1	2	11	7	7	1	1	7	1	1	4	1	7	1	4	6	1	3
			3			4						1		3	7		3		6					
4 2 A	0	0	3	1	0	2	2	1	2	3	3	1	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 2 A	0	0	0	02	8	3	0	1	1	1	1	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 2B	0	0	5	17	3	1	4	0	9	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	3	1	6	0	0
						5												3	2		8			

Utilizando el módulo estadístico del software Promodel se encuentra que la distribución de probabilidad ajustada para cada tipo de componente (en este caso es un monoblock), está sujeta a la condición de que el software Promodel muestre dos parámetros, uno que se localiza en la parte izquierda dentro del paréntesis, el cual representa la cantidad menor en la cual fue producido en fundición un componente del compresor, dicha cantidad en la mayoría de los casos es igual a cero y el parámetro que se encuentra dentro del paréntesis en la parte derecha corresponde a la media de la distribución de probabilidad que en este caso es exponencial y en algunos casos es uniforme.

Para introducir los datos de producción de fundición al software Promodel y obtener la distribución de probabilidad con que llega el componente al área de maquinado, se consideraron 20 meses de los dos años, los cuales se cuentan a partir del mes de mayo del año 2008 a diciembre del año 2009. Únicamente se analizan dos años debido a que es la información, más reciente y la que proporcionó la empresa. En la Tabla 2 se muestran las distribuciones de probabilidad de los monoblocks.

Tabla 2. Ajuste de distribución de monoblock.

<b>AJUSTE DE DISTRIBUCIONES PARA MONOBLOCKS</b>	
<b>MONOBLOCK</b>	<b>DISTRIBUCIÓN</b>
2 A	EXPONENCIAL( 0, 2.33 ) MON / MES
4 A	EXPONENCIAL( 0, 7.88 ) MON / MES
4 B	EXPONENCIAL( 2, 9.79) MON / MES

6 A	EXPONENCIAL( 1, 9.12 ) MON / MES
6 B	EXPONENCIAL( 1, 12.8 ) MON / MES
8 A	EXPONENCIAL( 0, 6.38 ) MON / MES
8 B	EXPONENCIAL( 0, 8.54) MON / MES
42 A	EXPONENCIAL( 0, 1.0 ) MON / MES
62 A	EXPONENCIAL( 0, 1.0 ) MON / MES
62 B	EXPONENCIAL( 0, 6.12 ) MON / MES

En base a la tabla 2, a continuación se determina el tiempo promedio de llegada  $t$  correspondiente a los monoblocks del área de fundición al área de maquinado. El procedimiento es el siguiente:

$t = (1 / \lambda \text{ monoblocks / mes})$ . En general,  $\lambda$  es la tasa promedio del número de llegadas de monoblocks del área de fundición a la de maquinado, es decir:

$\lambda = k \text{ monoblocks / mes}$ .  $k$  es el valor de  $\lambda$  dado por la tabla 2. Por lo tanto  $t=(1 / \lambda)=(1/k)(\text{monoblocks/mes})=(1/k)(\text{mes/ monoblocks})$ .

Si convertimos el mes a minutos, se tiene:

**mes** = (20 días ) \* (9hrs) \* (60min) = 10,800 minutos.

El valor de **20 días** representa los días de trabajo por mes.

El valor de **9 horas** representa las horas que se trabajan por día (9 días para no trabajar el sábado).

El valor de **60 minutos** representa los minutos que tiene una hora.

Por lo que el tiempo promedio de llegada, viene dado por:

$t = (10800/k) \text{ minutos/monoblocks}$ .

Por ejemplo el tiempo promedio de llegada del monoblock del modelo 2 A es:

$t= (10800 / k) \text{ minutos / monoblocks} =10800/2.33 \text{ minutos/monoblocks} =4635.19 \text{ minutos / monoblocks}$ . Es decir cada monoblock de tipo 2 A tarda en promedio 4635.19 minutos en llegar al área de maquinado, como se puede leer este y otros valores calculados, en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempo entre llegadas de fundición a maquinado de monoblock.

MONOBLOCK	TIEMPO ENTRE LLEGADAS DE FUNDICIÓN A MAQUINADO DE LOS MONOBLOCKS
-----------	--

2A	t =4635.19 min / mon
4A	t =1370.55 min / mon
4B	t =1103.17 min / mon
6A	t =1184.21 min / mon
6B	t = 843.37 min / mon
8A	t = 1692.79 min / mon
8B	t =1264.64 min/mon
4 2 A	t =10800.0 min/ mon
6 2 A	t =10800.0 min / mon
6 2 B	t =1764.7 min / mon

Los tiempos para el proceso 1, proceso 2 y el tiempo total de maquinado para cada tipo de monoblock se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Tiempo de maquinado del proceso 1 y proceso 2.

<b>TIPO DE MONOBLOCK</b>	<b>YASDA tiempo en minutos</b>	<b>NIGATA tiempo en minutos</b>
2 A	518	
4 A	423	423
4B	588	588
6 A	499	499
6B	704	704
8 A	549	549
8B	793	793
42 A	362	362
62 A	604	604
62 B	833	833

Una vez inspeccionado el monoblock es llevado al buffer de monoblocks terminados.

### Cantidad de monoblocks maquinados de cada tipo

La cantidad de monoblocks producidos durante los años 2008 y 2009, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Línea de monoblocks maquinados.

MONOBLOCK	PRODUCCIÓN DE MONOBLOCKS	
	2008	2009
2 A	11	22
4 A	89	82
6 A	108	128
8 A	94	44
4B	83	162
6B	212	102
8B	95	83
62B	66	38
42 A	17	10
62 A	15	8
Total	790	690

Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, monoblo.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **monoblo.txt**; Los resultados y estadísticos se encuentran en el archivo **FINSTA.TXT**.

### Modelo de ensamble

El modelo que representa al subsistema de la línea de **ensamble**, está hecho en el Software **PASION**. Lo integran tres archivos: el primero, **ensamble.blw**, representa al diagrama de bloques de la línea de ensamble; en el segundo, **funpr\_ensamble.pas** en el que están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje pascal; en el tercero, **semaf\_ensamble.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers. Las funciones que integran el archivo **funpr\_ensamble.pas** son: **tensam1(x)**, **tensam2(x)**, **tlavado(**

source), tprepara(source), tfuncio(source), treviso(source), tpaire(source), tacabado(source), tpintura(source) y tembalaje(source).

### Línea de ensamble del compresor recíprocante

La cantidad de ensambles de compresor producidos durante los años 2009, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Línea de ensamble del compresor recíprocante

MODELO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2 A	2	2	1	1	0	3	5	2	3	0	0	1	20
4 A	4	6	4	6	3	5	6	7	2	6	7	3	59
6 A	8	5	3	2	5	9	5	9	7	3	7	0	63
8 A	3	0	0	0	4	1	3	0	2	3	0	3	19
4 B	4	2	2	2	6	4	5	3	5	4	5	3	45
6 B	6	6	0	7	3	1	11	7	5	8	6	3	63
8 B	5	3	3	4	4	4	6	4	0	5	1	1	40
6 2 B	1	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	1	8
4 2 A	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
6 2 B	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5

Utilizando el módulo estadístico del software Promodel se encuentra que la distribución de probabilidad ajustada para cada tipo de compresor, como se muestra en Tabla 7.

Tabla 7. Ajuste de distribución del compresor recíprocante.

AJUSTE DE DISTRIBUCIONES	
TIPO DE COMPRESOR	DISTRIBUCIÓN
2 A	EXPONENCIAL( 0,1.67 ) COMPRE / MES
4 A	UNIFORME( 2,7 ) COMPRE / MES
4 B	UNIFORME( 2,6 ) COMPRE / MES
6 A	UNIFORME( 0,9 ) COMPRE / MES
6 B	UNIFORME( 0,11 )COMPRE / MES

8 A	EXPONENCIAL( 0,1.58 ) MON / MES
8 B	UNIFORME( 0,6 ) COMPRE / MES
4 2 A	EXPONENCIAL( 0,0.333 ) COMPRE / MES
6 2 A	EXPONENCIAL( 0,0.417 ) COMPRE / MES
6 2 B	EXPONENCIAL( 0,0.667 ) COMPRE / MES

En base a la tabla 7 y aplicando la fórmula  $t = 1 / \lambda$  se obtienen los tiempos entre llegadas de cada uno de los compresores en las unidades de minutos / compresor, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Tiempo entre llegadas a maquinado del compresor recíprocante.

COMPRESOR	TIEMPOS ENTRE LLEGADAS
2 A	t = 6467.0659 min / compresor
4 A	t = 1542.8571 min / compresor
4 B	t = 1800.0000 min / compresor
6 A	t = 1200.0000 min / compresor
6B	t = 981.81818 min / compresor
8 A	t = 6835.4430 min / compresor
8 B	t = 1800.0000 min / compresor
42 A	t = 32432.432 min / compresor
62 A	t = 25899.281 min / compresor
62 B	t = 16191.9040 min / compresor

La cantidad de requerimientos para ensamble se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Requerimientos para ensamble de cada tipo de compresor.

TABLA DE REQUERIMIENTOS PARA ENSAMBLE										
PARTES	2A	4A	4B	6A	6B	8A	8B	42A	62A	62B
MONOBLOCKS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



PISTONES	2	4	4	6	8	8	6	6	6	6
CABEZAS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CIGÜEÑALES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
POLEAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TAPAS	1	2	2	3	3	4	4	3	3	3
BIELAS	2	4	4	6	6	8	8	6	6	6
CAMISAS	2	4	4	6	6	8	8	6	6	6
AUTOMÁTICOS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
VÁLVULAS Y CODOS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
VARIOS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

### Tiempos de servicio y ensambles

Los tiempos del proceso de ensamble se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Tiempos de proceso y ensambles.

TIEMPOS DE ENSAMBLE											
TIPO	LAVADO	PREP	ENSM1	ENSM2	TUBERIA	FUNCIO	REVI CION	PRU. AIRE	ACAB- ADO.	PINTURA	TIEMPO TOTAL
2 A	60	30	60	30	60	90	90	60	120	60	660
4 A	90	30	60	45	90	90	90	60	120	60	735
4 B	120	40	90	60	60	90	135	120	150	180	1045
6 A	90	30	60	90	90	90	120	60	120	120	870
6 B	120	40	90	120	120	90	135	120	150	180	1165
8 A	105	30	60	90	110	90	120	60	120	120	905
8 B	120	40	90	150	120	90	135	120	150	180	1195
42 A	105	30	60	90	110	90	120	120	120	120	965
62 A	105	30	60	90	110	90	120	120	120	120	965
62 B	120	40	90	150	120	90	135	120	150	180	1195

### Cantidad de compresor maquinado de cada tipo

La cantidad de compresores producidos durante los años 2008 y 2009, se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Producción de compresores.

COMPRESOR	PRODUCCIÓN DE COMPRESOR	
	2000	2001
2 A	10	11
4 A	48	89
6 A	106	111
8 A	94	12
4 B	83	90
6 B	212	33
8 B	95	46
62 B	66	36
42 A	17	10
62 A	15	8

Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, ensamble.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **ensamble.txt**; Los resultados y estadísticos se pueden ver en el archivo **FINSTA.TXT**.

#### **Modelo de la planta con todas las líneas ligadas**

El modelo que representa a la **planta con las líneas ligadas**, está hecho en el Software **PASION**, como se observa en la Figura 4. Lo integran tres archivos: el primero, **pmlig.blw**, representa al diagrama de bloques de la líneas de la planta; en el segundo, **funpr\_pmlig.pas**, están contenidos todos los procedimientos y funciones de los tiempos de maquinado, en lenguaje Pascal; en el tercero, **semaf\_pmlig.pas** están entre otros el procedimiento **svop** que describe el control del flujo de piezas en los bloques servidores y buffers. Las funciones del archivo **funpr\_pmlig.pas** son las funciones de los modelos anteriores. Los datos son los mismos que la de los modelos anteriores. Al correr el modelo, el código generado se guarda en **INITSIM0, pmlig.pas**; los parámetros del modelo se pueden ver en el archivo **pmlig.txt**; Los resultados y estadísticos se encuentra en el archivo **FINSTA.TXT**.

## **Conclusión**

En la construcción de modelos de simulación pueden utilizarse un sinnúmero de lenguajes de software de simulación. El problema es su adquisición, puesto que son muy caros. También suele suceder que no todos los lenguajes se adaptan a las múltiples funciones de proceso que va realizar el modelo que representa al sistema real. Por ello es de mucha utilidad el saber seleccionar con suma precisión el lenguaje adecuado. El lenguaje de software PASIÓN es muy versátil y como funciona junto con el software DELPHI, se pueden representar casi todas las situaciones del sistema real por muy complicadas que éstas sean. Finalmente el modelo de simulación, es la base para llevar a cabo el modelado, utilizando para ello el DISEÑO de EXPERIMENTOS

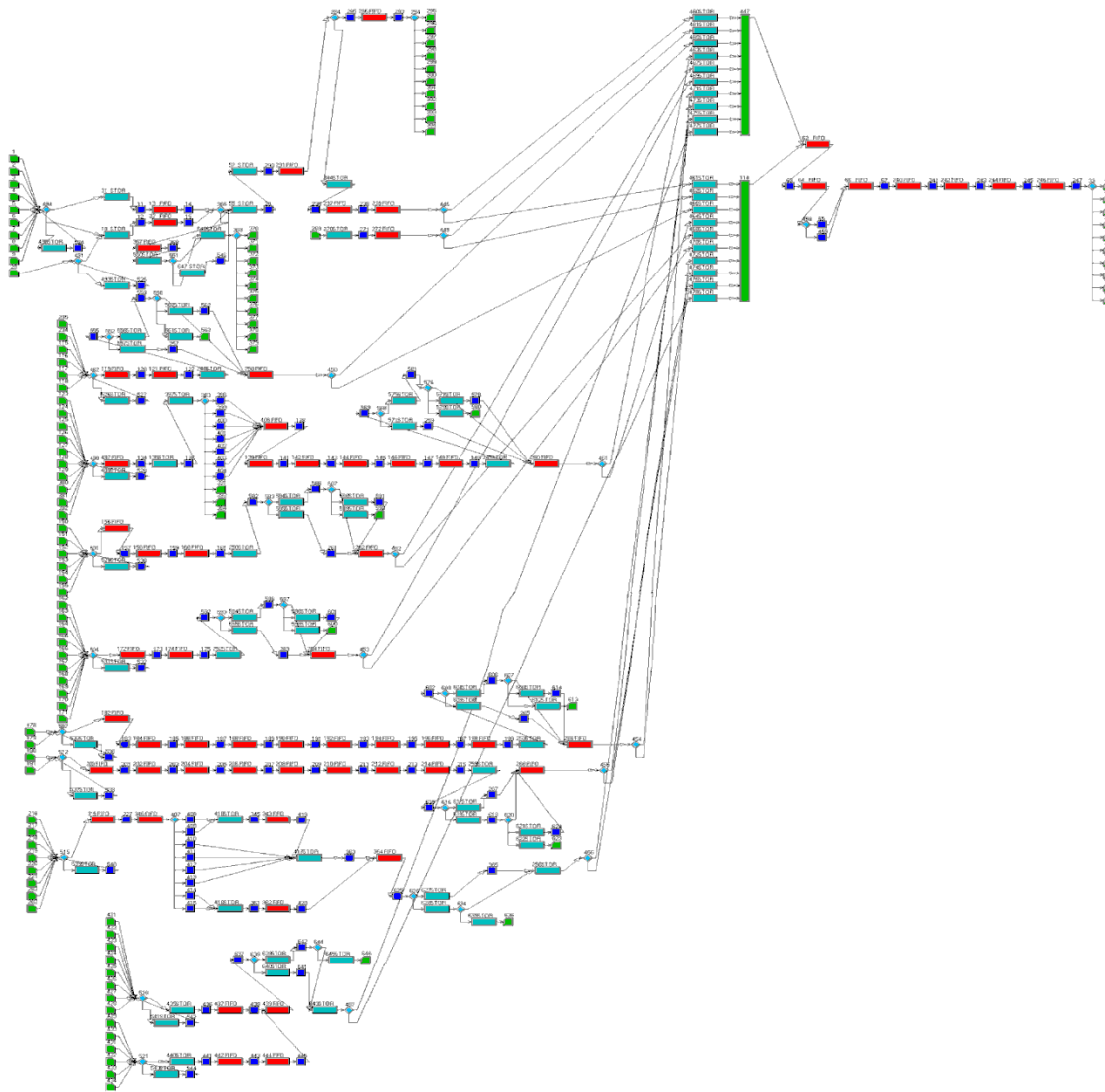


Figura 4. Modelo de simulación de la manufactura del compresor con sus líneas ligadas

### Bibliografía

- [1] Charles R. Harrel, Robert E. Bateman, Thomas J. Gogg, Jack R. A. Mott System Improvement Using Simulation, Editorial Fourth Edition
- [2] Juan Prawda, “Modelos y Tecnicas de Investigación de Operaciones, tomo II”, Editorial Limusa
- [3] Manual de Usuario, Guía de Referencia, del Software PROMODEL.
- [4] Manual de usuario, Guía de Referencia, del software PASION
- [5] Stanislaw Raczynski, “Simulación de sistemas”, Editorial Limusa
- [6] [www.raczynski.com/pn/pn.htm](http://www.raczynski.com/pn/pn.htm);

- [7] [www.raczynski.com/pn/qms.htm](http://www.raczynski.com/pn/qms.htm);
- [8] [www.raczynski.com/pn/bluesss.htm](http://www.raczynski.com/pn/bluesss.htm)