

JUNTA DIRECTIVA

Presidente

Ing. Civil Dionisio Navarro.

Secretario General

Ing. Francisco de Jesús Marte.

Tesorero

Ing. Quím. Luciano F. Herrera C.

Secretario de Actas

Ing. Agrón. Héctor Rivera Gil.

Sec. Educación y Eventos

Arq. Nidia Abreu.

Sec. Relaciones Públicas

Agrim. Víctor Torres.

Sec. Relaciones Intergremiales

Ing. Top. Francisco Bidó Gonzáles.

CONSEJO EDITORIAL

Presidente

Ing. Civil Dionisio Navarro.

Coordinador General

Ing. Francisco de Jesús Marte.

Miembros

Ing. Civil José Espinosa.

Ing. Agrón. Roberto Sánchez P.

Arq. Omar Rancier.

Coordinador Técnico en Jefe

Lic. Rafael Menoscal Reynoso.

Diseño & diagramación

Digital Insight Art & Marketing

Outsource. (www.dinamo.do).



Ilustración de portada

Wilson Morfe.

PRESENTACIÓN

La defensa de los patrimonios y la dignidad de nuestro Colegio y la de los intereses de los colegiados, debe ser el norte de cada Junta Directiva, y la que inició el pasado mes de agosto no se alejará de esos principios elementales.

El discurso inaugural del presidente del CODIA, ingeniero Dionisio Navarro, así lo dejó bien claro, en el que enumeró los ejes temáticos que, desde que asumió la dirección del Colegio, guían la presente gestión.

El elemento principal, y para lo cual se han dado pasos importantes, es la demanda a cada una de las autoridades del sector oficial de mejorar las condiciones salariales y laborales de los colegiados.

Por ello, en cada una de las reuniones que sostiene la actual Junta Directiva con los funcionarios, se demanda la aplicación de un salario base de 50 mil pesos mensuales para los miembros del gremio que trabajan en los organismos del Estado, que a su vez implique una escala salarial por antigüedad en el servicio y por especialidad.

Un segundo eje lo constituye las deudas que durante varios años tiene el gobierno con los contratistas de obras, cuyo monto oficial ascendía a 1,600 millones de pesos, y por los esfuerzos de la autoridades del CODIA se ha venido reduciendo, aunque se continúan los esfuerzos a fin de conjurarla en su totalidad.

Otro elemento de gran importancia para el fortalecimiento institucional de nuestro Colegio es la reforma a las leyes que norman el ejercicio de las distintas profesiones que rigen al CODIA, las números 6160, 6201 y 6200; las cuales, en el umbral de sus 57 años de existencia, demandan su actualización, conforme a lo que debe ser un colegio profesional de los nuevos tiempos.

Una de las demandas de mayor valor para la actual Junta Directiva es la de sensibilizar a las autoridades del Gobierno para el otorgamiento de pensiones dignas a nuestros colegiados, con las que se les permita vivir en condiciones de decencia en el tiempo que le resta vivir en el escenario terrenal.

Y, finalmente, el enfrentamiento a las construcciones al margen de la ley, así como el ejercicio ilegal de la profesión, dos irregularidades que bajo ninguna circunstancia vamos a tolerar. Sobre estos ejes gira la actual Junta Directiva y con ellos transitaremos todo el camino.

CONTENIDO

LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA AVIACIÓN -USO EN LAS AERONAVES-

P.03

SEGURIDAD DE PEATONES EN ZONAS ESCOLARES UTILIZANDO SIMULADOR DE CONDUCCIÓN

P.10

TRABAJANDO CON LO QUE TENEMOS; "OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA VIAL DOMINICANO EXISTENTE"

P.21

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARA LA ORGANIZACIÓN, ZONIFICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE ELEMENTOS

P.30

USO DE SIMULADORES DE CONDUCCIÓN PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES Y MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS CARRETERAS.

P.46

TRES MOMENTOS DE LA MODERNIDAD ARQUITECTÓNICA EN REPÚBLICA DOMINICANA

P.60

TERREMOTOS, AISLAMIENTO SÍSMICO Y PREDICCIÓN PARA ALERTAS.

P.68

VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL CUENCO DISIPADOR DEL VERTEDERO DE LA PRESA DE CHACUEY MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS -CFD.

P.78

REGLAS DE PUBLICACIÓN

La revista Técnico-Científica CODIA, tiene como objetivo principal difundir el conocimiento científico tanto nacional como internacional en las áreas afines a nuestra entidad profesional.

El contenido: Los artículos sometidos para publicación deben ser originales e inéditos, con aportaciones novedosas relevantes, basados en la investigación, con objetivos especificados claramente (tanto del trabajo como de lo que se pretende comunicar), con datos bibliográficos consistentes, metodologías adecuadas al estudio y las conclusiones relacionadas con los objetivos planteados.

Consejo editorial: Podrá aprobar la publicación de artículos de actualidad o ensayos, cuyo contenido se constituya en un aporte de interés nacional o internacional, siempre que no sea desde una óptica político partidista.

No podrán ser enviados a ninguna otra revista durante el proceso de revisión ni tampoco estar paralelamente en otro proceso de evaluación.

El consejo se reserva el derecho de aceptar o rechazar cualquier trabajo, así como proponer modificaciones cuando lo considere necesario. Los trabajos no aprobados serán devueltos a sus autores con las explicaciones correspondientes en un tiempo oportuno.

El formato: Los artículos deben enviarse en formato digital (word) al correo electrónico de la revista (codiarevistatecnica@gmail.com), o personalmente en CD o USB; con las imágenes, fotografías, infografías o tablas; con su copia impresa. Los artículos no podrán superar la extensión máxima de 5,000 palabras.

Los trabajos deben ser acompañados de un resumen o conclusión, no mayor de 200 palabras, a fin de que el artículo sea comprendido sin necesidad de ser leído total o parcialmente.

Imágenes: Los textos deben ser acompañados de no más de 8 imágenes, con los créditos de éstas, derecho de autor o reproducción.

REQUERIMIENTOS DE LAS IMÁGENES:

300 dpi de resolución, formato .tiff o, en su defecto, .jpg de alta calidad. Dimensión mínima de 20 cms. Las imágenes deben ir numeradas y con sus correspondientes pies de foto, en un archivo individual..

El autor: Debe enviar un resumen de su vida profesional que no exceda las cien palabras. Nombre completo, correo, teléfonos y cualquier otra referencia para contacto de los editores.

No se publicarán dos artículos de un autor en un mismo número de la revista, y otro como co-autor, si fuere necesario, en la intención de dar mayor participación y diversidad. El máximo de autores por trabajo será de seis.

"Cartas al Editor": En esta sección la revista publicará, comentarios, objeciones y/o cualquier observación relativos a artículos publicados, que aporten al tema del que se trate.



LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA AVIACIÓN -USO EN LAS AERONAVES-

Por: Ing. Juan Beras

RESUMEN

El transporte de pasajeros por vía aérea a nivel nacional e internacional se ha venido convirtiendo en una de las formas más usadas en los últimos años. De esta manera, los sistemas instalados en las aeronaves modernas también han sido impactadas por los más notorios avances tecnológicos de nuestra era.

La utilización de energía eléctrica en las aeronaves modernas se han convertido en el catalizador del avance exponencial que han tenido los diseños de aeronaves en los últimos años. Para entender más a fondo el alcance del uso de energía eléctrica en las aeronaves modernas deberemos tomar en cuenta algunos factores importantes:

- 1) Masa de los componentes requeridos por diseño en aviación,
- 2) Sistemas de soporte de la seguridad operacional requeridos por regulación,

- 3) Tecnologías emergentes,
- 4) Aspectos de conveniencia del pasajero.

Presentaremos las formas en que las aeronaves obtienen la energía eléctrica para su operación, incluyendo:

- 1) Frecuencia (Hz) en aeronaves comerciales.
- 2) Formas alternas de generación
- 3) Almacenamiento de energía
- 4) Requisitos de operación
- 5) Protección contra descargas eléctricas

También abordaremos la forma en que se controla la energía disponible en la aeronave bajo condiciones normales y de emergencia.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es bien conocida por ser una de las formas de producir trabajo lineal, giratorio, calor, o también para alimentar desde sistemas básicos de iluminación hasta complejos aspectos que hacen posible la aviación mundial de la que gozamos hoy en día.

Para poder comprender la magnitud de los avances alcanzados e implementados en un sector tan dinámico como lo es la aviación, debemos primero entender que para hacer posible un vuelo seguro, todo inicia desde el diseño de ingeniería de las aeronaves.

Este diseño toma en cuenta los requerimientos de certificación establecidos en códigos técnicos que apuntan a la utilización de materiales de calidad aeronáutica claramente definidos, procedimientos de manejo de estos materiales, y aspectos regulatorios relacionados al tipo de operación que hacen posible la emisión de lo que se conoce como "Certificado Tipo" (TC, por sus siglas en ingles).

Los componentes de sistemas eléctricos de las aeronaves tales como: conductores eléctricos, interruptores, protecciones, relevadores, conectores, etc., utilizados deben cumplir con un set de reglas que hacen posible una operación aeronáutica satisfactoria.

Los primeros modelos de aeronaves comerciales luego de la segunda guerra mundial, eran basados en gran parte, por sistemas con cables de control de acero, poleas, cadenas, elementos de empuje, tensores y elementos de control eléctricos en una medida reducida, dado que gran parte de la tecnología disponible hasta ese momento para el sistema aeronáutico civil estaba orientado de esa forma.

El uso de la energía eléctrica ha sido siempre un factor determinante para la operación de las aeronaves, dado que los componentes eléctricos suelen ser de menor peso que su contraparte en los sistemas puramente mecánicos. No obstante, los sistemas de indicación, sistemas testigos, de monitoreo, de iluminación, encendido, comunicación, ignición, transferencia de combustible, navegación, control de descargas atmosféricas, la protección de fuego, etc., han sido siempre operados gracias a versatilidad de la fuerza electromotriz en las aeronaves.

Las aeronaves son cuerpos con masa y que lógicamente son afectados por la gravedad de la tierra. La fuerza de la gravedad, siendo una de las cuatro fuerzas que hacen posible el vuelo controlado, hacen necesario que se establezca un peso máximo de despegue (MTOW, por sus siglas en ingles). EL MTOW es la sumatoria de peso en vacío mas la carga útil y el combustible utilizado.

Este peso es siempre superior al peso de aterrizaje, debido a que el combustible se quema en el camino. Por esta razón, asume mayor importancia que la masa de los componentes utilizados en las aeronaves. En esta oportunidad, estaremos hablando sobre la energía utilizada en las aeronaves comerciales grandes, conocidas como de "Cuerpo Ancho".

Dado que la acción de la gravedad para los fines de la aviación es relativamente constante, desde la generación de la electricidad utilizada en las aeronaves modernas requiere niveles energéticos que van desde el orden de los 60 KVA hasta los 500 KVA, en una relación de combinación de los generadores utilizados en cada motor o la sumatoria de la potencia general disponible en cada producto aeronáutico.

Los motores de las aeronaves deben ser evaluados en su proceso de certificación por separado, y en relación

con otros sistemas e instalaciones de avión para demostrar que cualquier peligro que resulte del posible fallo de cualquier sistema, componente o accesorio del mismo no impida que el vuelo y el aterrizaje continúen en condiciones de seguridad.

Dentro de los aspectos tomados en cuenta para estos fines, los generadores utilizados son unidades diseñadas para generar corriente alterna trifásica, pero con la condición especial de que la frecuencia es de 400 Hz. La frecuencia es una función directa de las revoluciones por minuto que produzca la fuerza motriz de la caja de transferencia que utilice el motor de reacción en cuestión.

Estos niveles de frecuencia hacen posible que la masa de los generadores utilizados en las aeronaves sea menor a la de sus homólogos que operan a una frecuencia de 50 y 60 Hz.

EVOLUCIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN AERONAVES



Figura 1: Uno de los más fieles ejemplos del auge del uso de la energía eléctrica en los aviones, es el caso del Boeing 787 o "Dreamliner" como suele ser conocido. Esta aeronave usa el doble de energía eléctrica que sus modelos Boeing predecesores. La energía adicional le permite a esta aeronave usar electricidad para encendido de motores, operar bombas hidráulicas, y otros sistemas que anteriormente eran operados por fuerza neumática.

La puesta en marcha de turbinas y de Unidades Auxiliares de Potencia (APU, por sus siglas en inglés), adoptan una nueva forma en las nuevas tendencias utilizadas de la aeronave Boeing 787, que se realizan mediante extensiones del método que se ha utilizado con éxito para la APU en la familia de aviones 737 de próxima generación (NextGen), que utilizan electricidad.

En este método, los generadores funcionan como motores de arranque síncronos, en la fase de encendido, mediante el proceso de arranque controlado por convertidores de puesta en marcha.

Estos convertidores, proporcionan energía eléctrica condicionada (voltaje ajustable y frecuencia ajustable) a los generadores durante esta fase, para un rendimiento de arranque óptimo. Una vez que la turbina de nueva generación está operando a la velocidad nominal en baja, los convertidores de arranque del motor y APU funcionarán como controladores del sistema de presurización de cabina.

Esta capacidad constituye un cambio notable, en comparación con los modelos homólogos de aeronaves de diseño anterior, donde los arrancadores de motores de turbina eran alimentados por aire, que debía ser obtenido de una fuente externa a la aeronave o suplida por la fuerza neumática de una turbina que fuera encendida previamente.

Esta fuerza neumática era obtenida, en el caso de las turbinas, mediante la extracción de parte de la presión de aire de las secciones de compresión, lo que causa a su vez una

reducción considerable en el rendimiento del motor, lo que a su vez refleja un mayor consumo de combustible.

El sistema de generación eléctrica del Boeing 787 contempla dos generadores por cada motor (Este modelo tiene dos motores y un APU), al igual que dos generadores en el APU. Normalmente, ambos generadores en el APU y los dos generadores en el motor se usan para un rendimiento de arranque óptimo.

Sin embargo, en caso de una falla del generador, el generador restante se puede usar para arrancar el motor, pero a un ritmo más lento. Para el inicio de APU, solo se requiere un generador.

Este nuevo sistema fue diseñado para reducir el peso, mejorando la eficiencia del combustible y a su vez reduciendo el tiempo dedicado a mantenimiento preventivo, debido al menor número de componentes mecánicos, que eran necesarios en los modelos anteriores. Es importante reconocer que muchas de estas tecnologías son fruto de una mayor evaluación, dado que han reemplazado metodologías que ya se habían convertido en la norma de años.

La fuente de alimentación para el encendido del APU puede ser la batería del avión, una fuente de alimentación externa o un generador accionado por una de las turbinas. La fuente de energía para el arranque del motor puede ser los generadores APU, los generadores impulsados por el motor en el lado opuesto del motor, o dos fuentes de alimentación de tierra de 115 VCA.

REQUERIMIENTOS DE CAPACIDAD ELÉCTRICA DE AERONAVES CATEGORÍA TRANSPORTE

(FAA-14-cfr-Parte 25, Sub-parte F-Equipos 25.1353)

En lo relacionado a equipos eléctricos e instalaciones en una aeronave de transporte, se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

(a) El equipo eléctrico y los controles deben instalarse de forma que la operación de cualquier unidad o sistema de unidades no afecte de manera adversa la operación simultánea de cualquier otra unidad eléctrica o sistema esencial para una operación segura. Cualquier interferencia eléctrica que pueda estar presente en el avión no debe producir efectos peligrosos en la aeronave o sus sistemas.

(b) Las baterías de almacenamiento deben diseñarse e instalarse de la siguiente manera:

(1) Se deben mantener temperaturas y presiones seguras

de la celda durante cualquier condición probable de carga o descarga. No se puede producir un aumento incontrolado de la temperatura de la celda cuando la batería se recarga (después de la descarga completa anterior) -

(i) A tensión o potencia máxima regulada;

(ii) Durante un vuelo de máxima duración; y

(iii) En las condiciones de enfriamiento más adversas que puedan ocurrir en el servicio.

(2) El cumplimiento del párrafo (b) (1) de esta sección debe mostrarse mediante prueba, a menos que la experiencia con baterías e instalaciones similares haya demostrado que el mantenimiento de temperaturas y presiones seguras de la celda no presenta ningún problema.

(3) No puede acumular en cantidades peligrosas, dentro del avión, gases explosivos o tóxicos emitidos por ninguna batería en funcionamiento normal, o como resultado de un posible funcionamiento defectuoso del sistema de carga o de la instalación de la batería.

(4) Ningún líquido o gas corrosivo que pueda escapar de la batería puede dañar las estructuras circundantes del avión o el equipo esencial adyacente.

(5) Cada instalación de batería de níquel-cadmio debe tener disposiciones para evitar cualquier efecto peligroso en la estructura o en los sistemas esenciales que pueden ser causados por la cantidad máxima de calor que la batería pueda generar durante un cortocircuito de la batería o de celdas individuales.

(6) Instalaciones de baterías de níquel-cadmio deben tener;

(i) Un sistema para controlar la tasa de carga de la batería automáticamente para evitar el sobrecalentamiento de la batería;

(ii) Un sistema de detección de temperatura y advertencia de temperatura de la batería con un medio para desconectar la batería de su fuente de carga en caso de una condición de temperatura excesiva; o

(iii) Un sistema de detección y advertencia de fallo de la batería con un medio para desconectar la batería de su fuente de carga en caso de que falle la batería.

(c) La conexión eléctrica debe proporcionar un camino de retorno eléctrico adecuado tanto en condiciones normales como de falla, en aviones con sistemas eléctricos conectados a tierra.

ASEGURAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

El proceso de certificación de las aeronaves que hemos explicado siguen los requerimientos regulatorios expedidos por el país de certificación, quien finalmente cumplidos se les expide el Certificado Tipo (TC), a continuación, mostramos los requerimientos relacionados a equipos, sistemas e instalaciones del 14 CFR parte 25, de la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos de América.

Al menos deberá incluir consideraciones que contemplen:

(a) El equipo, los sistemas y las instalaciones cuyo funcionamiento requieren las aeronaves categoría transporte, deben diseñarse para garantizar que realicen sus funciones previstas bajo cualquier condición de operación previsible.

(b) Los sistemas del avión y los componentes asociados, considerados por separado y en relación con otros sistemas, deben diseñarse de modo que:

(1) La ocurrencia de cualquier condición de falla que impida la continuidad del vuelo y el aterrizaje seguros del avión es extremadamente improbable, y

(2) Es improbable que ocurran otras condiciones de falla que reduzcan la capacidad del avión o la capacidad de la tripulación para enfrentar condiciones de operación adversas.

(c) Se debe proporcionar información de advertencia para alertar a la tripulación sobre las condiciones de operación inseguras del sistema y para permitirles tomar las medidas

correctivas adecuadas. Los sistemas, controles y medios de monitoreo y advertencia asociados deben diseñarse para minimizar los errores de la tripulación que podrían crear peligros adicionales.

(d) El cumplimiento de los requisitos del párrafo (b) de esta sección debe mostrarse mediante análisis y, cuando sea necesario, mediante pruebas apropiadas en tierra, vuelo o simulador. El análisis debe considerar:

(1) Posibles modos de falla, incluyendo fallas de funcionamiento y daños de fuentes externas.

(2) La probabilidad de fallas múltiples y fallas no detectadas.

(3) Los efectos resultantes en el avión y los ocupantes, considerando la etapa de vuelo y las condiciones de operación, y

(4) Las señales de advertencia de la tripulación, las medidas correctivas requeridas y la capacidad de detectar fallas.

(e) Al mostrar el cumplimiento de los párrafos (a) y (b) de esta sección con respecto al diseño e instalación del sistema eléctrico y del equipo, se deben considerar las condiciones ambientales críticas.

Para la generación eléctrica, la distribución y la utilización del equipo requerido o utilizado para cumplir con este capítulo, excepto el equipo cubierto por los pedidos de la Norma Técnica que contienen procedimientos de prueba ambientales, la capacidad de proporcionar un servicio continuo y seguro en condiciones ambientales previsibles puede demostrarse mediante pruebas ambientales, análisis de diseño, o referencia a experiencia de servicio comparable anterior en otras aeronaves.

REDUNDANCIA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Un aspecto muy comentado por los usuarios de la aviación comercial es el tema de la confiabilidad y seguridad que la aviación proporciona. Detrás de esta realidad, los requerimientos toman una importancia trascendental.

No es simple coincidencia, ni aeronaves con los más altos estándares de calidad, o personas con buena intención que diseñan las mismas, más allá de que pudiera ser así, en el caso que nos aborda, los requerimientos que hacen posible una certificación objetiva se pueden encontrar en el 14 CFR.

Parte 25, Sub-parte 25.1310, que establece lo siguiente:

a) Cada instalación cuyo funcionamiento se requiere, ya sea para la certificación de tipo o de acuerdo con las reglas de operación y que necesita una fuente de alimentación es considerada como "carga esencial" en la fuente de alimentación.

Las fuentes de alimentación y el sistema deben poder sustentar las siguientes cargas, tanto en combinaciones de funcionamiento probables, como para duraciones probables:

1) Cargas conectadas al sistema con el sistema funcionando normalmente.

2) Cargas esenciales, después del fallo de cualquier motor primario, convertidor de potencia o dispositivo de almacenamiento de energía.

3) Cargas esenciales después de la falla de:

i) Cualquier motor en aviones bimotor; y

ii) Cualquier combinación de dos motores en aviones con tres o más motores.

4) Cargas esenciales para las cuales se requiere una fuente de energía auxiliar, después de cualquier falla o mal funcionamiento en cualquier sistema de suministro de energía, sistema de distribución u otro sistema de utilización.

b) Al determinar el cumplimiento con los párrafos (a) (2) y (3) de esta sección, se puede suponer que las cargas de potencia se reducirán bajo un procedimiento de monitoreo consistente con la seguridad en los tipos de operación autorizada. Las cargas que no se requieren en vuelo controlado no deben considerarse para la condición de dos motores inoperativos en aviones con tres o más motores.

Para poder comprender la forma en que se implementan los requerimientos de energía eléctrica y redundancia para aeronaves usaremos como ejemplo el sistema implementado en la aeronave Airbus 300-600 a continuación:

SISTEMA DE CORRIENTE ALTERNA BUS AC 1 Y BUS AC 2:

El sistema eléctrico normalmente es alimentado por dos generadores accionados por motor. Los sistemas también pueden ser alimentados por el generador de APU en tierra y en vuelo, o por una alimentación externa en tierra. Las partes del sistema pueden ser alimentadas por las tres baterías en condiciones anormales. Los buses de corriente alterna (CA) no están en paralelo, el bus de corriente continua (CC) está en paralelo.

Normalmente, los generadores accionados por cada motor suministran a la aeronave 115 V CA, 400 Hz. Cada generador consta del generador per se y una sección que permite de velocidad constante. Este generador combinado se denomina Unidad de Accionamiento Integrada o (IDG, por sus siglas en inglés). Los buses de CA 1 y 2 se alimentan directamente desde su respectivo generador accionado por motor a través de las respectivas unidades de control del generador (GCU). Con la APU o alimentación externa del avión, AC Bus 1 y AC Bus 2 se alimentan a través de dos contactores de transferencia.

Este esquemático de la figura 3, muestra la configuración de vuelo normal con el generador 1 y generador 2 sufriendo energía a la red.

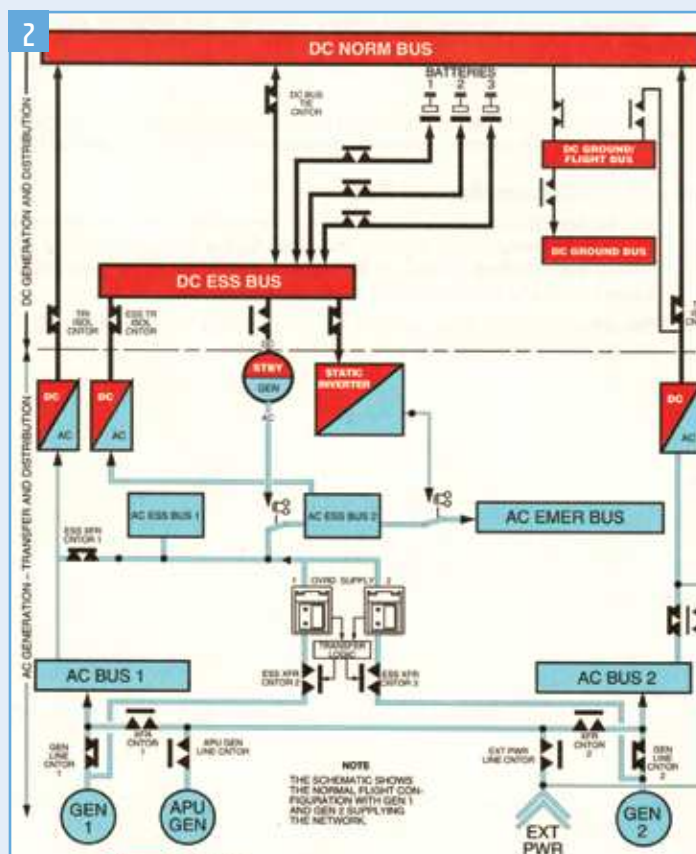


Figura 2. Sistema DC y AC del Airbus 300-600. La corriente continua figura en color rojo y la alterna en azul.

Podemos observar que este sistema eléctrico cumple con los requerimientos de redundancia expuestos en el apartado anterior, puesto que existen provisiones que permiten las cargas esenciales que puedan ser suplidas desde cualquiera de los generadores o el APU.

Adicionalmente podemos verificar en el esquemático un inversor estático, que se alimenta de tres baterías, provee de corriente alterna a los sistemas esenciales, en caso de que los generadores 1, 2 y APU fallen.

Pero aun en el peor escenario, donde falle el generador 1, 2, APU y el inversor estático, aún está disponible el generador

standby, el cual es motorizado por fuerza hidráulica de uno de los sistemas de la aeronave que recibe esta fuerza motriz de la Turbina motorizada por el flujo de aire externo durante el vuelo, conocida como "Ram Air Turbine" o simplemente "RAT".

Con relación a las baterías, el sistema de esta aeronave contempla que cada batería está protegida por un controlador de carga que activa o desactiva el contactor de batería asociado. El controlador conecta automáticamente su batería asociada al 'Bus' DC Esencial, controla la velocidad de carga y desconecta el cargador de la batería si se produce un sobrecalentamiento.

SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.

Seguro que alguna vez nos hemos hecho la pregunta siguiente, ¿Qué pasaría si el avión en que estoy volando le cae un rayo?, Pues la verdad, que es parte de las preguntas que llegan a la mente cuando las autoridades de aviación civil competentes a una certificación de aeronaves, durante la realización de sus funciones de certificación. A continuación, los requerimientos establecidos:

(a) Cada sistema eléctrico y electrónico que realice una función, cuya falla impediría el vuelo y el aterrizaje seguros continuados del avión, debe diseñarse e instalarse de manera que:

(1) La función no se vea afectada adversamente durante y

después del tiempo en que el avión está expuesto a los rayos.

(2) El sistema recupera automáticamente el funcionamiento normal de esa función de manera oportuna después de que el avión está expuesto a los rayos.

(b) Cada sistema eléctrico y electrónico que realice una función, cuya falla reduciría la capacidad del avión o la capacidad de la tripulación de vuelo para responder a una condición de operación adversa, debe diseñarse e instalarse de modo que la función recupere el funcionamiento normal en de manera oportuna después de que el avión esté expuesto a los rayos.

ENERGÍA ESTÁTICA EN AERONAVES

Otra de las protecciones que los diseños de las aeronaves contemplan, es la gestión de la energía estática que se acumula en la estructura metálica de las aeronaves.

Para estos fines, en la parte trasera de las alas, elevadores y timón de cola, están incluidos lo que parecería ser como pequeñas antenas con una pintura amarilla generalmente en su extremo.

Estas unidades en ocasiones se deterioran en el proceso de descarga y a la vez son testigos de la ocurrencia de una descarga con niveles altos de energía.

Como parte de los aspectos inspeccionados por el piloto en el pre-vuelo, se encuentran los "Static Wicks".



Figura 3. Descargadores de energía estática



Ilustración: Wilson Morfe

SEGURIDAD DE PEATONES EN ZONAS ESCOLARES UTILIZANDO SIMULADOR DE CONDUCCIÓN.

Por: Didier Valdés, Benjamín Colucci, Alberto Figuerola Medina, María Rojas, Enid Colón y Yindhira Taveras.

RESUMEN

La seguridad en las vías públicas es de alta prioridad en todos los países, con énfasis en las ciudades metropolitanas en donde hay una alta exposición e interacción entre peatones y conductores. Uno de los componentes de la ciudad que requiere interés particular desde el punto de vista de la seguridad vial y los sistemas de transporte son las escuelas y sus alrededores.

En las zonas escolares, padres y estudiantes transitan diariamente creando múltiples situaciones potencialmente conflictivas entre conductores y usuarios vulnerables como peatones y ciclistas.

Según la Organización Mundial de la Salud, peatones y ciclistas constituyen el 26% de todas las muertes relacionadas con la carretera en todo el mundo. En zonas escolares debe existir un equilibrio entre la movilidad, el cumplimiento con los límites de velocidad y la circulación de padres y estudiantes.

Para comunicar al conductor la existencia de una zona escolar se utilizan letreros y marcado en el pavimento que indican las reglas de operación en las zonas escolares respecto a otros segmentos de la vía.

El cumplimiento de los límites de velocidad y el uso adecuado de la vía y sus alrededores son clave para mejorar la seguridad vial y la calidad de vida de todos los usuarios, en especial nuestros niños, jóvenes y adultos mayores.

Este artículo describe el uso de la simulación como herramienta probada en la ingeniería para estudiar aspectos de seguridad en zonas escolares. Se estudiaron dos zonas escolares en el área oeste de Puerto Rico.

La primera corresponde a la escuela Franklin D. Roosevelt ubicada en el área urbana del municipio de Mayagüez y la segunda a la escuela Segunda Unidad Samuel Adams (S. U. Samuel Adams), ubicada en el área suburbana del Municipio de Aguadilla.

Se evaluó el comportamiento de los conductores transitando a lo largo de la carretera PR-2, que es una vía arterial principal dividida de alto flujo vehicular.

En las dos zonas escolares se comparó el comportamiento de los conductores transitando por escenarios que representan la situación actual con respecto a escenarios que incorporan marcado y rotulación tipo pórtico.

En la escuela Franklin D. Roosevelt se evaluó el comportamiento del conductor cuando un peatón cruza la vía en la mitad del segmento y se obtuvieron resultados positivos en los escenarios con la señal tipo pórtico. En la escuela S. U. Samuel Adams se evaluó el cumplimiento con los límites de velocidad obteniendo una mejor operación en la mayoría de los escenarios con las señales tipo pórtico propuestas.

INTRODUCCIÓN

En una era tecnológica en la que las ciudades están implementando funciones inteligentes, y la movilidad inteligente está ganando impulso, la seguridad vial es de suma importancia. Nuestras ciudades actuales deben ser comunidades habitables que acomoden a todos los usuarios del sistema de transporte. Conductores y peatones coexisten en varios entornos urbanos (Docherty et al. 2018).

Llamamos usuarios vulnerables a los que, debido a la falta de protección del cuerpo, corren un mayor riesgo de lesiones en caso de colisión, típicamente peatones y ciclistas. Algunos usuarios de la carretera pueden considerarse más vulnerables que otros, como los ancianos, los discapacitados y los niños.

Según la Organización Mundial de la Salud, peatones y ciclistas constituyen el 26% de todas las muertes relacionadas con la carretera en todo el mundo (WHO, 2018). Los factores que contribuyen a esta tasa de mortalidad incluyen caminar distraído, cruce de calles inseguro, zonas

de recogido inseguras o maniobras inseguras para recoger y dejar los niños en la escuela, y una señalización deficiente en el área que delimita la zona escolar (Mackay et al. 2016).

Los conductores novatos y ancianos juegan un papel importante en los accidentes de tráfico. Se ha observado que los conductores novatos tienen dificultad para anticipar e identificar los peligros en los alrededores de la carretera (Deery, 1999, Lee, 2007). Algunas de las razones que se han encontrado para este comportamiento incluyen la complejidad de la tarea de conducción, combinada con la experiencia limitada, las habilidades perceptivas y cognitivas bajas y la capacidad reducida para anticipar e identificar los peligros.

En las zonas escolares se presenta una gran interacción entre conductores y peatones que generan situaciones potencialmente conflictivas. Si se añade la posibilidad de que los niños distraídos crucen las calles (Mackay et al. 2016) y el peligro es mayor si se conduce a altas velocidades (Lee et al. 2006).

Un estudio realizado en dos zonas escolares en Mayagüez, Puerto Rico mostró que el 89% de los estudiantes no cruzaron la calle utilizando el cruce peatonal frente a la escuela (Figueroa et al. 2010). Además, estudios de investigación recientes llevados a cabo en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Mayagüez (RUM) han demostrado que los conductores guían a exceso de velocidad en zonas escolares lo que representa amenazas adicionales a una situación ya crítica (González 2016).

Existe la necesidad de desarrollar nuevas estrategias de seguridad vial que junto con los programas de seguridad y aplicación de la ley continúen reduciendo y previniendo las muertes de usuarios vulnerables en nuestro sistema de transporte. El uso correcto de los dispositivos de control de tráfico puede prevenir muchos choques y muertes, especialmente en zonas escolares, donde el número de peatones, incluidos niños y adolescentes, es alto.

Por lo tanto, es necesario desarrollar medidas que contribuyan a la reducción de la velocidad de operación de tal manera que las zonas escolares sean más seguras. Una de estas medidas consiste en la saturación de dispositivos de control de tráfico alrededor de las zonas escolares para crear mayor conciencia de la importancia de reducir la velocidad y compartir las vías con padres y estudiantes.

Este tipo de medida puede prevenir la ocurrencia de choques y muertes.

METODOLOGÍA

La metodología general para ambos estudios se muestra en la Figura 1:

Figura 1 Metodología general para estudios de simulación en zonas escolares y lugares de interés para usuarios vulnerables.

La saturación de señalización en el entorno de las escuelas ha mostrado que contribuye al cumplimiento con el límite de velocidad establecido (Rahman y Strawderman, 2015).

La simulación es una herramienta utilizada en ingeniería para evaluar aspectos operativos y de seguridad de los sistemas de transporte existentes y futuros.

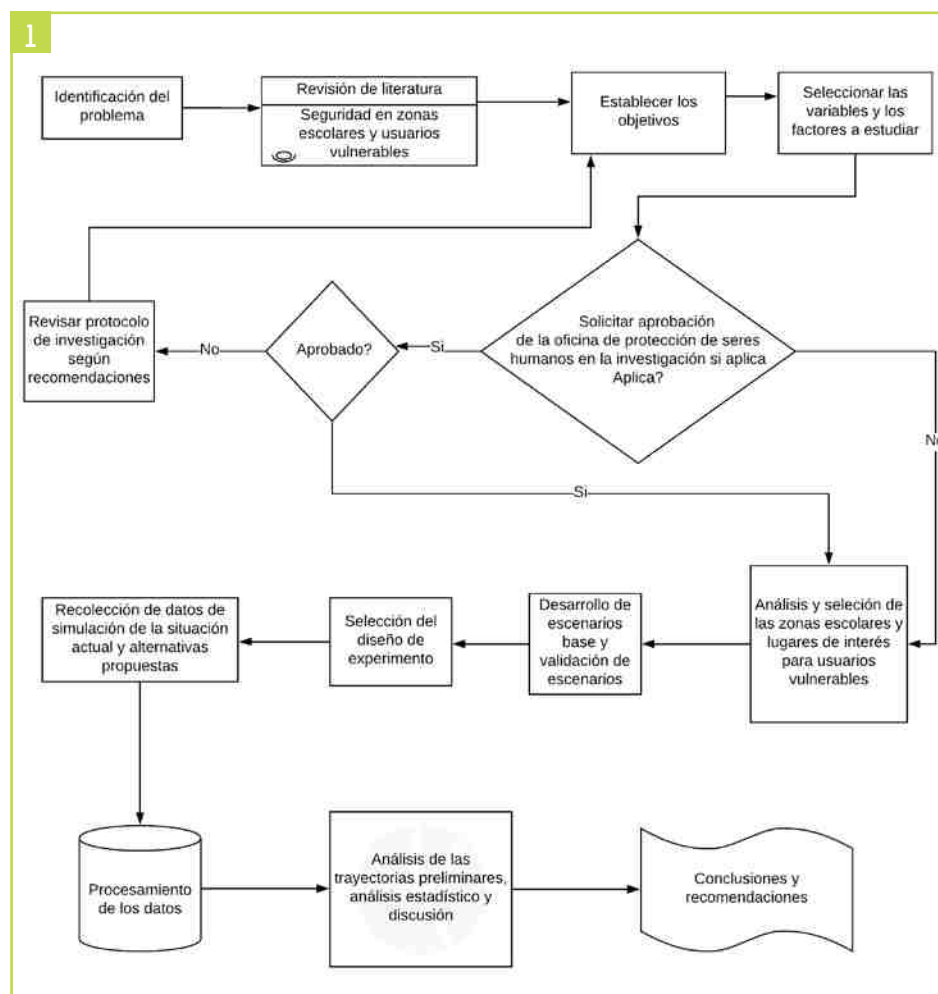
Además, es una herramienta rentable que permite evaluar y analizar el desempeño de los conductores al implementar tecnologías emergentes, ayudando a comprender los factores humanos relacionados con la seguridad vial sin poner en riesgo vidas humanas (Fisher, 2011, Zhao, 2016).

El objetivo de las investigaciones que se presentan en este artículo es evaluar el comportamiento de conductores en zonas escolares o zonas con presencia de usuarios vulnerables y la efectividad de una nueva combinación de rotulación y marcado del pavimento.

Como parte de la investigación se realizó una encuesta con el fin de evaluar el conocimiento de los conductores acerca de la señalización en las zonas escolares y determinar la combinación de señales y marcado del pavimento que mejor informa a los conductores de la presencia de zonas escolares y peatones en la vía.

Dos zonas escolares ubicadas en el área oeste de Puerto Rico fueron evaluadas con el uso del simulador de conducción para comparar el desempeño de conductores con la señalización actual y con la implementación de la señalización propuesta obtenida de la encuesta.

Este trabajo está basado en estudios recientes llevados a cabo por investigadores del RUM utilizando el simulador de conducción (Valdés, 2018, Valdés, 2019a, Valdés, 2019b, Valdés, 2019c), para el Departamento de Transportación de los Estados Unidos. Para mayor detalle de los estudios se incluyen las referencias.



La metodología inicia con la identificación del problema, seguido de la revisión de la literatura disponible sobre los temas de interés, la definición de los objetivos y el planteamiento de las hipótesis.

Se prosigue con la definición de las variables a estudiar y el diseño del experimento a realizar. Luego, en el caso de Puerto Rico y las universidades de Estados Unidos, se debe solicitar la aprobación del estudio por parte del comité institucional encargado de la protección de seres humanos en la investigación.

En la República Dominicana esta aprobación aún no aplica. No obstante, se deben tomar todas las medidas necesarias para la protección de los sujetos de investigación. Luego se desarrolla el escenario base, donde se simulan

las características del entorno con todos los detalles relacionados con el sistema de transporte.

El escenario base se utiliza para la posterior elaboración de los escenarios experimentales. Se recluta un grupo de sujetos que representen la población de conductores para la recolección de los datos, los cuales se analizan mediante pruebas estadísticas que permitan identificar diferencias significativas en el comportamiento de los sujetos con las diferentes configuraciones de dispositivos de control de tránsito.

Finalmente, se obtienen las conclusiones del comportamiento exhibido por los conductores y se desarrollan recomendaciones de las señales y marcado de pavimento que puedan mejorar la seguridad en las zonas escolares.

EQUIPO

El equipo utilizado en ambos estudios es el simulador de conducción del RUM que consiste en un simulador con tres componentes principales: una cabina de conducción, un set de proyectores y pantallas y un sistema informático. La cabina de conducción consiste en un asiento de automóvil, un volante, una palanca de cambios, las señales direccionales y los pedales de aceleración y frenado, montados en una base de madera con seis ruedas que permite utilizar el simulador para realizar estudios fuera de la universidad.

La pantalla visual consta de tres proyectores superiores y tres pantallas que proporcionan 120 grados de visibilidad de la carretera con una resolución de 1024 x 768 píxeles. El sistema informático utiliza una computadora portátil y una computadora de escritorio con el software de simulación SimCreator / SimVista de Realtime Technologies Inc. (RTI) y un sistema de audio capaz de representar sonidos típicos de vehículos y del ambiente. Ver Figura 2.



Figura 2: Simulador de conducción del RUM

ESCUELAS SELECCIONADAS

Se seleccionaron dos escuelas para el desarrollo de la investigación, Franklin D. Roosevelt y S.U. Samuel Adams, considerando variables como exposición, historial de choques, complejidad del medio ambiente y entrevistas realizadas a personas involucradas padres, maestros y usuarios de la vía.

La escuela Franklin D. Roosevelt se encuentra ubicada en la municipalidad de Mayagüez, en un área clasificada como urbana. Esta escuela sirve a dos comunidades separadas por la carretera PR-2. En esta sección, la PR-2 cuenta con tres carriles por dirección y una velocidad límite establecida de 40 mph.

Cerca de la escuela hay un puente peatonal sin rampas de acceso, lo cual dificulta su uso por parte de los usuarios mayores y las madres que llevan a sus hijos en coche a la escuela. Estos usuarios deben llegar a la intersección más cercana (de 300m a 500m, aproximadamente), cruzar la PR-2, caminar a la escuela y regresar por la misma ruta; algunos peatones deciden cruzar por debajo del puente debido a la larga distancia de este trayecto.

La escuela S.U. Samuel Adams se encuentra ubicada en la municipalidad de Aguadilla, en un área clasificada como suburbana. Esta escuela tiene acceso desde la carretera PR-2, la cual en esta sección cuenta con dos carriles por dirección y una velocidad límite de 45 mph.

Frente a la escuela se encuentra ubicado un puente peatonal con rampas de acceso y la mediana de la PR-2 cuenta con una barrera de hormigón tipo "New Jersey", que además incluye en su tope una malla que elimina la posibilidad de que los peatones crucen la vía en ese sector.

Entre los problemas identificados en esta escuela encontramos la larga fila de vehículos que se forma al momento de llevar y recoger a los estudiantes; una vez el estudiante se baja o se sube al vehículo, el conductor debe realizar maniobras para poder salir de la fila para entrar a la PR-2, las cuales crean congestión y afectan la seguridad de todos los usuarios.

Las Figuras 3a y 3b muestran una vista en planta del área de estudio para cada una de las escuelas.



Figura 3a: Vista en planta de la escuela Franklin D. Roosevelt



Figura 3b: Vista en planta de la escuela S.U. Samuel Adams.

ENCUESTA

Se realizó una encuesta a conductores de Puerto Rico para evaluar su conocimiento sobre la rotulación usada en zonas escolares y determinar la combinación de rótulos y marcado del pavimento que mejor informa a los conductores de la presencia de zonas escolares y peatones en la vía.

Para cada una de las escuelas se plantearon diversas alternativas de rotulación, implementando rótulos tipo pódico, rótulos al borde de la carretera y/o marcado del pavimento.

Para el estudio de la escuela Franklin D. Roosevelt, se presentaron cuatro alternativas para cruces peatonales y cinco opciones de respuesta: extremadamente efectivo, ligeramente efectivo, neutral, ligeramente inefectivo y extremadamente inefectivo. Dos alternativas resultaron "extremadamente efectivas": rótulos al borde de la carretera con luces intermitentes y la combinación de rótulos al borde de la carretera y rótulos tipo pódico.

Se utilizaron las características de estas dos alternativas para desarrollar un rótulo tipo pódico de advertencia con la leyenda "CRUCE DE PEATONES ADELANTE", que fue utilizada como configuración propuesta, como se muestra en la Figura 4 (a).

En el caso de la escuela S.U. Samuel Adams, se plantearon cuatro alternativas de rotulación combinando rótulos y marcado de pavimento. Los resultados de la encuesta indicaron que la forma más efectiva de informar a los conductores de la presencia de una zona escolar está conformada por: marcado del pavimento con la palabra "ESCUELA" al inicio de la zona escolar, un rótulo de zona escolar, un rótulo tipo pódico con luces intermitentes de velocidad límite para la escuela y un rótulo al borde de la carretera para indicar el final de la zona escolar. La Figura 4 (b) muestra el rótulo tipo pódico y el marcado de pavimento de la alternativa seleccionada.



Figura 4 Dispositivo de control de tránsito propuesto para la Escuela Franklin D. Roosevelt (a) y S.U. Samuel Adams (b)

DESARROLLO DEL ESCENARIO BASE

Se utilizaron herramientas y software como Google Maps®, AutoCAD®, SketchUp®, Blender® e ISA® para crear los escenarios de simulación. Inicialmente, se desarrolló un escenario base para cada una de las escuelas, donde se simuló el entorno con todos los detalles relacionados al sistema de transporte, i.e. cantidad y anchos de carriles, marcado del pavimento, mediana, aceras, vegetación y edificaciones. Los escenarios base se modificaron, añadiéndoles las características deseadas, para crear cada uno de los escenarios experimentales.



Las Figuras 5 (a) y 5 (b) presentan la comparación del entorno real versus el entorno del escenario simulado para cada una de las escuelas.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Los escenarios de ambas escuelas se evaluaron considerando los cambios en la rotulación, considerando la variable Configuración como bloqueo con dos niveles: Configuración 1 y Configuración 2. La Configuración 1 hace referencia a los rótulos de tránsito que simulan la rotulación actual del área de estudio, mientras que la Configuración 2 se refiere a la rotulación propuesta obtenida de la encuesta.

Un total de 60 sujetos participaron en los experimentos, 36 en el estudio de la escuela S.U. Samuel Adams y 24 en el estudio de la Franklin D. Roosevelt. En cada uno de los estudios el 50% de los participantes eran mujeres y el 50% hombres, distribuidos por igual en los siguientes rangos de edades: 18-24, 25-45 y 46-70 años.

Para el experimento de la Franklin D. Roosevelt, se utilizó un diseño factorial con bloqueo. Se consideraron dos factores: Tiempo del Día (TD) y el Cruce de Peatón (CP). La variable TD tiene dos niveles: día y noche. La variable CP tiene tres niveles: cruce de peatón desde la mediana hasta el paseo (de izquierda a derecha), cruce de peatón desde el paseo hasta la mediana (de derecha a izquierda) y sin presencia de peatón cruzando.

La variable de bloqueo es Configuración. Todos los escenarios tenían peatones caminando por las aceras y por la mediana para establecer la presencia de peatones a lo largo del corredor en la zona escolar.

Se evaluaron 12 escenarios, 6 para la Configuración 1 y 6 para

la Configuración 2, combinados de la siguiente manera: el escenario 1, 2 y 3 correspondía a los escenarios de día, mientras que los escenarios 4, 5 y 6, correspondieron a los escenarios de noche. De la misma forma, respecto a la distribución de escenarios con peatones cruzando, los escenarios 1 y 4 correspondían a peatones cruzando de derecha a izquierda, los escenarios 2 y 5 peatones cruzando de izquierda a derecha y por último en el 3 y 6 ningún peatón cruzando.

Para el estudio de la Escuela S.U. Samuel Adams se utilizó un diseño factorial de 2x2x3. Se consideraron tres factores: Presencia de tráfico, Presencia de peatones y Vehículos estacionados en el paseo. La variable de Presencia de tráfico tiene dos niveles: flujo libre y tráfico moderado. La variable de Presencia de peatones tiene tres niveles: no peatones, solo niños, y adultos con niños.

La variable de Vehículos estacionados en el paseo tiene dos niveles: no vehículos estacionados y vehículos estacionados. Se utilizaron 24 escenarios experimentales (12 por cada configuración), los cuales se detallan de la siguiente manera: Respecto a la variable presencia de peatones los escenarios 1,2, 3 y 4 correspondieron a los adultos con niños, los escenarios 5,6,7 y 8 a no peatones y los escenarios 9,10,11 y 12 solo niños.

Mientras que solo los escenarios 1,2,5,6,9 y 10 incluyeron vehículos estacionados en la vía, el resto no lo incluía. Y por último los escenarios 1,3,5,7,9 y 11, son los que evaluaban presencia de tráfico.

RESULTADOS

Escuela Franklin D. Roosevelt :

Para llevar a cabo el análisis de los resultados de los experimentos relacionados con la escuela Franklin D. Roosevelt se definió un grupo de cuatro zonas de interés a lo largo del segmento de estudio, como se muestra en la Figura 6. La Zona 1 está localizada en una sección de la vía en donde los conductores viajan a flujo libre.

La Zona 2 está ubicada luego de que los conductores pasan por la señal tipo pórtico, para evaluar el efecto que este genera en las velocidades seleccionadas. La Zona 3 empieza en la coordenada en la cual los conductores tienen la capacidad de observar al peatón que va a cruzar la carretera, con el fin de evaluar la respuesta de los conductores a la presencia del peatón.

Por último, la Zona 4 está ubicada luego de la línea de trayectoria del peatón para determinar si hay cambios en el comportamiento de los conductores luego del potencial conflicto enfrentado con el peatón

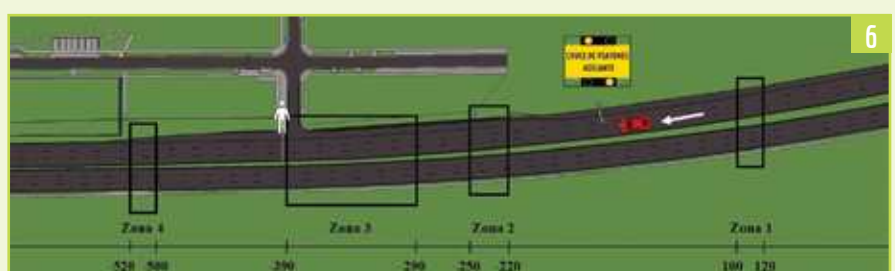


Figura 6: Zonas de interés de la escuela Franklin D. Roosevelt

La velocidad media y la desviación estándar de la velocidad fueron las variables de respuesta obtenidas del simulador. Se realizaron análisis estadísticos para evaluar diferencias significativas entre las velocidades de las diferentes zonas y para evaluar la reacción de los conductores a la presencia del peatón.

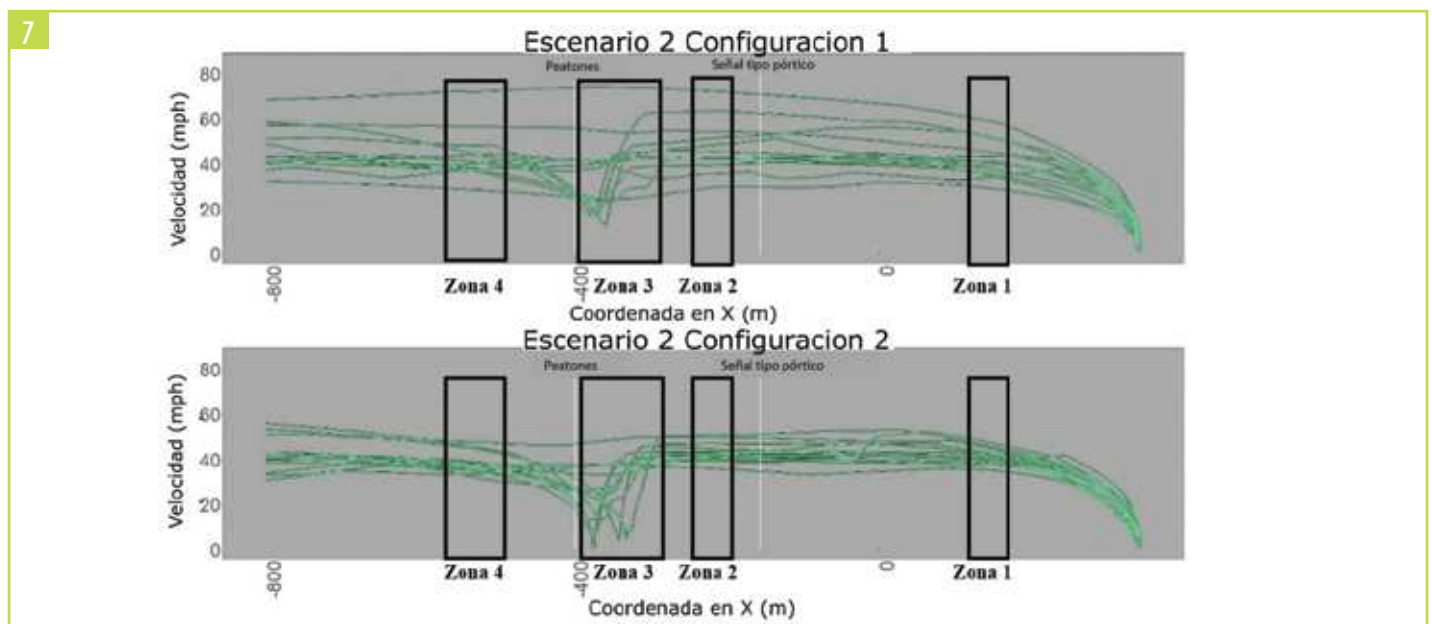
La Figura 7 muestra los perfiles de las velocidades de los sujetos para el escenario 2 en las Configuraciones 1 y 2. Existen dos efectos aparentes del rótulo de advertencia de presencia de peatones.

Se observa que el rótulo tiene un efecto en la dispersión de las velocidades. Para la Configuración 1 la dispersión es mayor que la observada cuando el rótulo no está presente. Adicionalmente, se observa que la mitad de los sujetos reducen su velocidad a 25 mph o menos en la Configuración

2, comparado al 25% de los sujetos que lo hace en la Configuración 1.

Se realizó un análisis comparativo de la velocidad media de los conductores para cada una de las zonas entre configuraciones 1 y 2. Los resultados muestran diferencias significativas en la velocidad media para la Zona 3 para los escenarios 1, 2 y 4. Por lo tanto, la señal de advertencia tiene un efecto positivo en generar reducciones significativas en la velocidad media cuando un peatón cruza la carretera, ya sea desde el paseo o desde la mediana y durante el día o la noche.

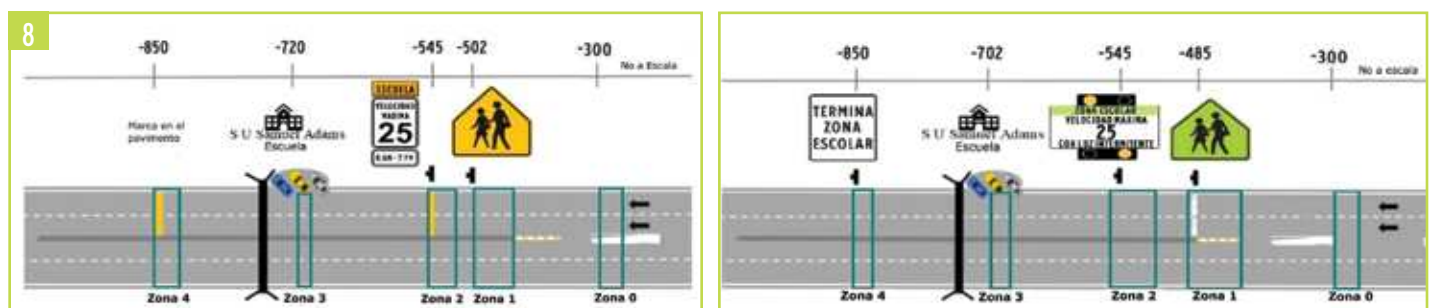
Sin embargo, al evaluar la velocidad media de los conductores en las demás zonas no se encuentran diferencias significativas, lo que indica que los conductores presentan comportamientos similares en las zonas donde no hay presencia del peatón.



En términos de la respuesta de los conductores al peatón cruzando la carretera, se observó que la principal reacción fue ajustar su comportamiento mediante cambios en velocidad. Es importante aclarar que todas las simulaciones se desarrollaron para condiciones de flujo libre. Otra reacción observada en algunos de los conductores fue que realizaron maniobras de cambio de carril. Aunque esto se observó solamente en siete (7) de los noventa y seis (96) casos estudiados.

Escuela S.U. Samuel Adams:

Para llevar a cabo el análisis de los experimentos realizados para la escuela S.U. Samuel Adams se definieron cinco zonas de interés, como se muestra en la Figura 8. La Zona 0 corresponde a la zona en la cual los sujetos viajan a velocidad de flujo libre. La Zona 1 está ubicada donde se encuentra el primer rótulo de zona escolar. La Zona 2 está localizada entre el primer rótulo de zona escolar y el rótulo de velocidad límite tipo pórtico. La Zona 3 corresponde al área en frente de la escuela. Por último, la Zona 4 representa el final de la zona escolar.



Se realizaron análisis estadísticos para todos los escenarios en cada una de las zonas de interés con el fin de evaluar la diferencia en la velocidad media entre las configuraciones 1 y 2.

Los resultados muestran velocidades medias para la Configuración 2 menores que en la Configuración 1 en el 70.8% de las situaciones evaluadas. Sin embargo, las diferencias encontradas no fueron estadísticamente significativas.

La Figura 9 (izquierda) presenta la comparación de los perfiles de velocidad para el escenario 10 en las Configuraciones 1 y 2.

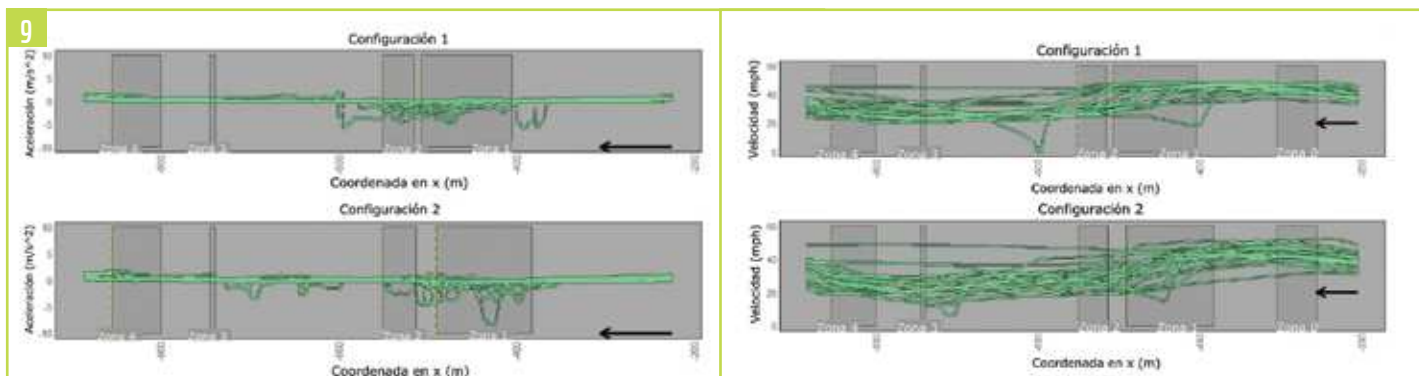


Figura 9 Perfiles de velocidad a la izquierda y perfiles de aceleración a la derecha de los conductores en zona de la escuela S. U. Samuel Adams

Se evaluó el cumplimiento con los límites de velocidad para la Zona 0 (45 mph) y la Zona 3 (25 mph) en las Configuraciones 1 y 2. Los sujetos que condujeron en escenarios con la rotulación actual mostraron un cumplimiento de la velocidad límite entre 40% y 73% en la Zona 0 y entre 13% y 53% en la Zona 3.

En el caso de los sujetos que condujeron en los escenarios con la rotulación propuesta, se presentó mayor cumplimiento de la velocidad límite en el 75% de los escenarios para la Zona 0 y en el 83% de los escenarios para la Zona 3. El

aumento en cumplimiento de la velocidad límite fue entre 2.9% y 30.4% para la Zona 3.

En términos de la desviación estándar de la aceleración, se encontraron diferencias significativas para los escenarios 3, 5 y 10 en la Zona 2 (donde los sujetos deben reducir su velocidad de 45 mph a 25 mph).

Para estos escenarios en la Zona 2 los sujetos en la Configuración 2 tuvieron menores cambios en la aceleración, ver Figura 9 (derecha).

CONCLUSIONES

Esta investigación se concentró en evaluar el comportamiento de conductores en dos zonas escolares al confrontarse con peatones en diferentes escenarios utilizando el simulador de conducción del RUM.

La encuesta realizada demostró que cerca de la mitad de los conductores no conocen el significado de los rótulos para zonas escolares.

Esto representa un problema de seguridad, especialmente al añadir conductores que no respetan los límites de velocidad establecidos y usuarios distraídos en el área.

Los estudiantes de escuela elemental son más vulnerables ya que no reconocen de forma adecuada el riesgo que corren al momento de cruzar la calle o caminar por la zona escolar.

Los estudiantes de escuela secundaria suelen ser más propensos a correr más riesgos en la vía, lo que puede resultar en lesiones graves y fatalidades.

En el caso del estudio realizado en la zona escolar correspondiente a la escuela S.U. Samuel Adams, la combinación de rótulo tipo pórtico con luces intermitentes y marcado del pavimento tiene el potencial de reducir la velocidad a lo largo de la zona escolar.

Los resultados obtenidos de la simulación muestran que para la configuración propuesta en 70.8% de las zonas evaluadas en los escenarios se presentó reducción en la velocidad media. Así mismo, la presencia de los dispositivos de control de tránsito propuestos fue eficaz para reducir el cambio en la aceleración en la Zona 2 en un 25% de los escenarios.

Por otro lado, los resultados obtenidos del estudio realizado en la escuela Franklin D. Roosevelt, muestran que en cuatro de los escenarios con el peatón cruzando la carretera, la rotulación propuesta fue efectiva en reducir la velocidad media de los conductores en la Zona 3.

El patrón general observado fue que el valor de la velocidad media para la Configuración propuesta (Configuración 2) fue menor en comparación con la situación actual (Configuración 1). En términos de la reacción al peatón, los conductores ajustaron su comportamiento principalmente reduciendo la velocidad y efectuando maniobras evasivas.

La rotulación propuesta utilizando rótulos tipo pórtico en ambos casos fue efectiva en proveer a los conductores información visible y clara, que contribuye a que los conductores estén más atentos y alerta con respecto a su entorno vial.

Todo esto permite que los conductores perciban y reaccionen de manera efectiva para mejorar su cumplimiento de los límites de velocidad y evitar posibles colisiones con peatones. La uniformidad y el cumplimiento de la velocidad están asociados con una menor frecuencia de accidentes o choques, mejorando la seguridad alrededor de las zonas escolares para todos los usuarios de la carretera.

RECOMENDACIONES

Los resultados de esta investigación son beneficiosos y se podrían extrapolar a República Dominicana, a zonas escolares con características similares a las evaluadas en Puerto Rico.

Esta extrapolación es viable a corto plazo debido a las similitudes culturales de los residentes en países caribeños, en cuanto a su comportamiento como peatones y conductores en nuestras carreteras.

El informe estadístico sobre siniestros viales en la República Dominicana, publicado por el Observatorio Permanente de Seguridad Vial (OPSEVI, 2019), indica una cifra alarmante a razón de 27.57 muertes por cada 100,000 habitantes y 2,804 fatalidades, debido a siniestro viales en el 2017, a base de

estas cifras de siniestros es imperativo tomar acciones afirmativas, para concienciar a la ciudadanía y las organizaciones gubernamentales de estrategias de ingeniería, educación y reglamentación, incluyendo métodos novedosos probados como simuladores de conducción para ayudar a identificar las causas y métodos para contrarrestar esta problemática en la República Dominicana.

La academia, organizaciones profesionales y las instituciones públicas que tienen la responsabilidad de la planificación, construcción y preservación de la infraestructura de transporte son un aliado en esta cruzada de seguridad con el fin último de crear conciencia en la ciudadanía y mejorar la seguridad de todos los usuarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Centro Universitario en Transportación (UTC) SAFER-SIM, por patrocinar estas investigaciones; a la Dra. Saylisse Dávila, por su asistencia técnica con el diseño experimental, y el análisis estadístico, a Ivelisse Ramos y Carolyn Arroyo, por su colaboración en la recolección de los datos, y a Ricardo García, Bryan Ruiz Cruz y Johnathan J. Ruiz González, por su colaboración en el desarrollo de estas investigaciones

REFERENCIAS

- Deery, H. A. (1999). "Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers," J. Safety Res., vol. 30, no. 4, pp. 225–236
- Docherty, I., Marsden, G., and Anable, J. (2018). "The governance of smart mobility". J. Transportation Research Part A., <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.012>
- Figueroa, A., Alegría, M., and Valdés, D. (2010). "Simplified Methodology for the Evaluation of Pedestrian Safety in School Zones". ITE Journal. 80(6), 26-44. <https://doi.org/10.1.1.377.2814>.
- Fisher, D. L., Rizzo, M., Caird, J., and Lee, J.D. (2011). "Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology". Taylor and Francis Group, LCC, Florida.
- González, J. (2016). "Mejoras en las medidas para la seguridad de las zonas escolares en el área oeste de Puerto Rico". MS Thesis, University of Puerto Rico at Mayagüez.
- Lee, C., Lee S., Choi B., and Oh, Y. (2006). "Effectiveness of Speed-Monitoring Displays in Speed Reduction in School Zones." J. of the Transportation Research Board., <https://doi.org/10.3141/1973-06>.
- Lee, J. D. (2007). "Technology and teen drivers," J. Safety Res., vol. 38, no. 2, pp. 203–213
- MacKay, JM., Steel A., Wilson A., Rosenthal K., Green A (2016). "Safe Kids Worldwide". Alarming Dangers in School Zones, https://issuu.com/safekids/docs/alarmin-dangers_in_school_zones (October 15,2018).
- OPSEVI. (2019). Informe Estadístico de Siniestros Viales en República Dominicana 2016-2017. Distrito Nacional: INTRANT.
- Rahman M. M. and Strawderman, L. (2015). "The Effect of Sign Saturation on Driver Speed Limit Compliance in School Zones," in Human Factors and Ergonomics Society, pp. 1612–1615.
- Valdés-Díaz, D., Colucci, B., Rojas, M.X., Colón, E., García, R. (2018): Methodology for the evaluation of school zones in a driver simulator. In: 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Colón, E., Rojas, M., García, R., Taveras, Y., Ramos, I., and Arroyo, C. (2019). Enhancing School Zone Safety: Case Studies in Puerto Rico Using Driving Simulation. SAFER-SIM University Transportation Center. http://safersim.nads-sc.uiowa.edu/final_reports/C%203%20Y1%20UPR%20_Final%20Report.pdf
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Colon, E., Rojas, M., Garcia, R., Arroyo, C., Ramos, I. & Taveras, Y. (2019). Operational Analysis of School Zones Using a Driving Simulator. Driving Simulation in Smart Mobility Analysis. International Conference on Transportation and Development 2019. doi:10.1061/9780784482575.024
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Rojas, M., & Colón, E. (2019). Evaluation of Driver Performance in an Urban Arterial Highway Using a Driving Simulator. Road Safety and Simulation conference. IOWA City.
- World Health Organization, (2018). "Global status report on road safety 2018: summary," (WHO/NMH/NVI/18.20). License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

SOBRE LOS AUTORES:

Didier Valdés¹, Benjamín Colucci¹, Alberto Figueroa Medina¹, María Rojas¹, Enid Colón¹ y Yindhira Taveras².

1 Depto. de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico Recinto Mayagüez, P.R.

2 Universidad Autónoma de Santo Domingo, UASD, S.D. República Dominicana y UPRM.

Correos: didier.valdes@upr.edu, benjamin.colucci1@upr.edu, alberto.figueroa3@upr.edu, enid.colon1@upr.edu, maria.rojas7@upr.edu, ytaveras27@uasd.edu.do,

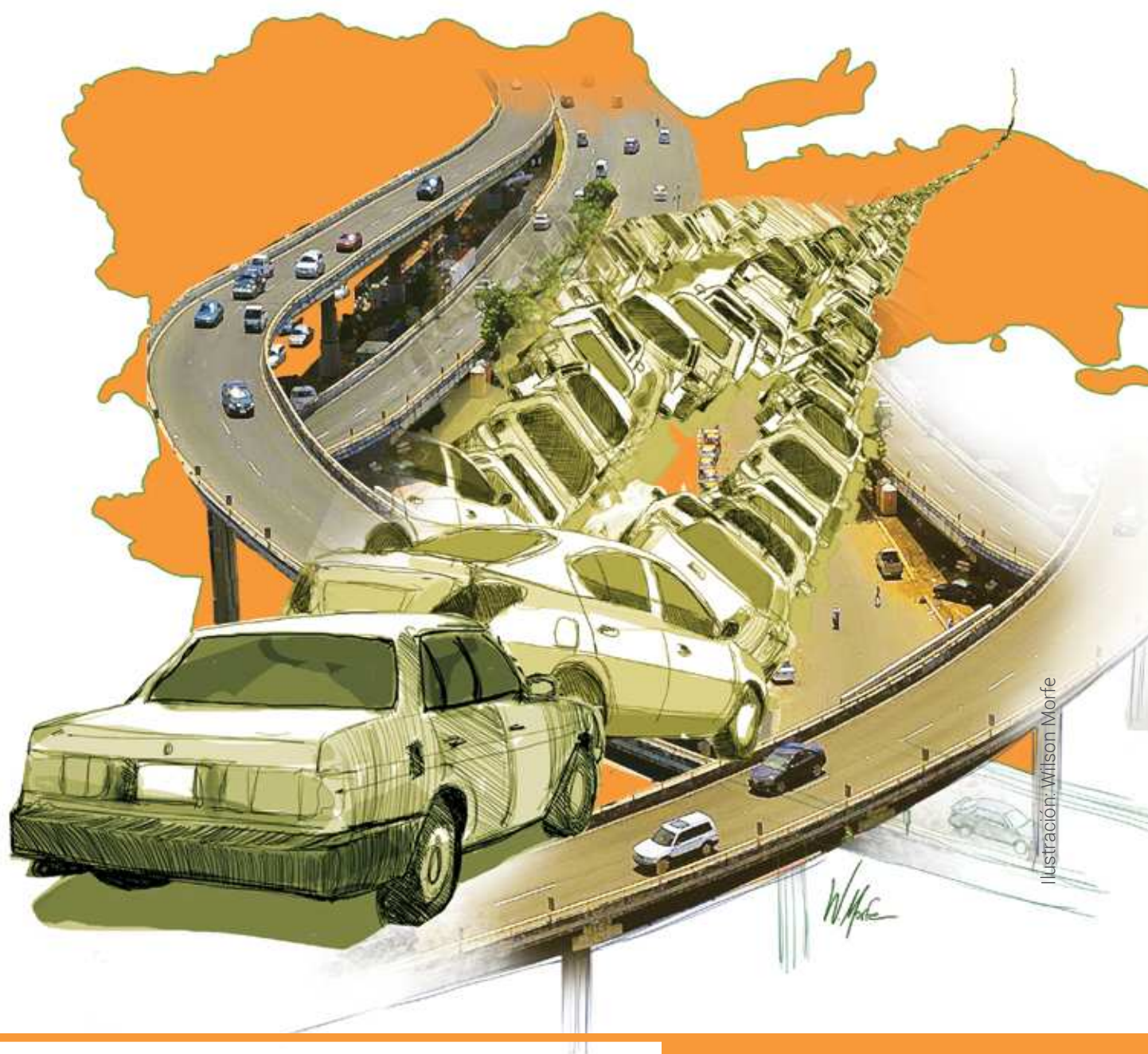


Ilustración: Wilson Morfe

TRABAJANDO CON LO QUE TENEMOS; “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA VIAL DOMINICANO EXISTENTE”

Por: Arq. Ms.C. Stephanie Gutiérrez Núñez

ABSTRACTO

Las condiciones viales de la República Dominicana han subsistido bajo premisas de diseño sustentadas básicamente en lo estético, económico o simples decisiones arbitrarias de personas con el poder de tomarlas. Es necesario preguntarnos, si los argumentos que visualizamos hoy como mejorías para el tránsito nacional son realmente positivos.

VIALIDAD; TRÁNSITO; URBANISMO; EFICIENCIA.

Es muy probable que cualquier persona que viva en una ciudad altamente urbanizada esté de acuerdo con que uno de sus mayores problemas es el tráfico. Conducir en las ciudades se ha vuelto básicamente una experiencia que nada tiene que ver con el viaje, pero todo con el punto de llegada.

El tráfico no solo es frustrante para los ciudadanos, sino también altamente impactante sobre las condiciones ambientales de la ciudad, ergo la salud de la población. Los vehículos atascados se mantienen contaminando y liberando emisiones de carbono por más tiempo, lo que plantea que el problema no solo deriva de la cantidad de vehículos en el sistema, sino de los tiempos que permanecen en el mismo.

El último registro del EEA muestra que en el 2016, "Las emisiones de carbono producidas por el sector transporte en los Estados Unidos ascendió considerablemente, donde el 41% de estas emisiones pertenecen solamente al sector de vehículos privados" (European Environment Agency, 2017, p. 7).

Si consideramos que, "por cada galón de gasolina consumido, un vehículo tipo sedán emite 8,887 gramos de CO₂ a la atmósfera, mientras que por cada galón de diésel se producen 10,180 gramos" (United States Environmental Protection Agency, 2018), podemos empezar a hacernos una idea de cuáles son las alarmantes cifras de emisiones que producimos gracias a la congestión vehicular.

Un vehículo con un tanque de 10 galones de gasolina estaría liberando 88,870 gramos de CO₂ a la atmósfera, con cada tanque lleno, si este se tratase del consumo regular de una semana en condiciones normales, podríamos decir que este es un número relativamente aceptable, pero ¿qué pasa cuando los tiempos de recorrido se duplican? Estos 88,870 se convierten, con un factor de incremento del 75% en 155,522 grs. a la semana.

La administración del tráfico en áreas urbanas de alta densidad es un asunto bastante complejo, con diferentes variables

que implican varios retos e hitos que superar. Pero uno de los retos más fundamentales en los que cualquier planificador puede pensar son las intersecciones viales, donde múltiples sistemas de transportación convergen bajo la impronta de cruzar sus distintas trayectorias de manera eficiente y segura.

Siempre ha sido el momento de dar la bienvenida a la planificación territorial utilizando la ingeniería de tránsito como apoyo fundamental de la misma. Este ensayo explora medidas de rediseño vial que, sin ocupar espacios adicionales, podría mejorar la calidad de tránsito, no solo en términos de eficiencia, sino también en términos de su impacto ambiental.

Al pasar de los años, internacionalmente los ingenieros de tránsito han trabajado intensamente para mejorar el diseño de intersección que conocemos, perfeccionándolo con la utilización de semáforos, señaléticas, rotondas y demás medidas de diseño orientadas a superar las condiciones específicas que pudieran presentarse. Lo cual es un punto que ha de revisarse con mayor escrutinio, sin embargo, existen otros puntos que deben evaluarse.

Existe una innumerable cantidad de analogías médicas extrapolables a la ciudad, por ejemplo, el sistema viario de una ciudad puede compararse con el sistema cardiovascular, donde las autopistas serían las arterias, de gran capacidad y velocidad, con un destino directo e ininterrumpido, las calles podrían ser venas, mientras que otras vías colectoras pueden compararse con vasos capilares, estas últimas distribuyendo de manera particular con menor capacidad y velocidad de flujo.

Por lo mismo, es imperioso decir que nuestro sistema vial sufre un colapso, una aneurisma. Los puntos en donde los elementos viales cruzan sus capacidades, no siempre están condicionados a integrar todos los sistemas de transporte de manera eficiente y segura.

Un ejemplo tangible de esto a nivel nacional son prácticamente todas las intersecciones de las avenidas 27 de febrero y J.F. Kennedy, de la ciudad de Santo Domingo.

La condición de que una vía posea un flujo vehicular ininterrumpido parte del razonamiento de que no se trata de que una vía tenga muchos carriles y capacidad vehicular para ser eficiente, sino más bien de que el flujo vehicular sea contiguo, es decir, que la forma más efectiva de llegar desde un punto A, a un punto B, se reduce a optimizar esos puntos (las intersecciones) en las que el flujo vehicular es detenido.

En adición, las intersecciones son los lugares más inseguros para transitar, porque congregan sistemas de múltiples características que no circulan de la misma forma. Por lo mismo es curioso que las intersecciones sean en la gran mayoría de los casos de la ciudad de Santo Domingo, el resultado de una necesidad no planificada.

Las señaléticas, por ejemplo, desde un punto de vista técnico, es fácil categorizarlas como elementos no planificados adecuadamente, que terminan ocupando los espacios sobrantes de las aceras, a distancias “calculadas” por sentimentalismos, más que por métodos científicos.

Los elementos que deberían considerarse para el control del flujo vehicular de las intersecciones, también conocido como asignación del derecho al paso, van desde el espacio, costos, velocidad de acercamiento, tiempo de ciclos, distancias de ciclos, tipos y volúmenes de tráfico, además de factores humanos, como hábitos, expectativas, y tiempos de reacción.

De igual manera, la normalización de un estándar es altamente fundamental para el éxito de un diseño de intersección, puesto que los patrones de movimiento se pueden generar dada la composición “repetitiva” de las intersecciones de una ciudad, evitando los accidentes que se producen cuando un usuario se acerca a un diseño desconocido.

Es una tendencia en otros países el reducir el tamaño de las vías, lo cual para muchos parece contraproducente, pero, según la Guía Urbana de Diseño Vial del NATCO (National Association of City Transportation Officials, 2018), una vía opera mejor cuando la distribución vehicular es independiente, es decir, los autobuses deben poseer una línea individual, las bicicletas, los vehículos de motor privados que se desplazan a menor velocidad, así como los que se mueven a mayor velocidad.

La relación entre los anchos de las líneas y la velocidad de los vehículos se complica por varios factores, entre ellos la hora del día en que se use, la cantidad de tráfico presente, y cosas tan simples como la edad del conductor que las transita.

Vías más estrechas ayudan a promover una reducción de la velocidad, lo que, en retorno, reduce la severidad de los accidentes de tránsito, las distancias de cruces peatonales, lo cual genera ciclos de semáforos más cortos e, inclusive, menos costos de mantenimiento y construcción a largo plazo.

El paradigma de tomar modelos extranjeros siempre ha sido la falta de contextualización de los mismos, es decir, que debemos pensar más en los ingredientes individuales de nuestra movilidad, los popularmente llamados conchos, motocicletas, y la educación vial generalizada, no solo de quienes se desplazan en vehículos de motor, sino también de peatones, ciclistas y otros pintorescos personajes de nuestras ciudades.

Numerosos profesionales suelen ser partidarios de la eliminación de muchos de estos actores, como si fuera tan sencillo como sacar una varita mágica y eliminarlos de la faz de

la tierra, cuando la realidad indica que el asunto es mucho más complejo que una simple disposición. Argumentar si esto es o no posible, es más bien una pérdida de tiempo, en ocasiones es mejor sumarse a la línea de pensamiento que reza “Si no puedes con ellos, úneteles”.

Es tiempo de aceptar que nuestras leyes, deben racionalizarse en el contexto que vivimos, que nuestros diseños viales deben contemplar, normas para el vendedor de cocos, el motociclista, y las paradas inesperadas que sin mucho reparo realizan las voladoras. Optimizar los diseños de intersecciones, conlleva analizar sus condiciones, considerar si sus secciones viales alimentadoras están contenidas en las dimensiones y características adecuadas.

Claro que rediseñar una vía existente e inclusive el diseño de una nueva, demanda una cantidad de datos que no están disponibles al público general, si es que existieran, en nuestro país. Las formulas estándares para el diseño de una vía segura implican conocer, la capacidad básica demandada, la capacidad posible y la capacidad práctica.

La capacidad básica, es el número máximo de vehículos que pueden circular en un punto o carril específico, durante una hora o momento determinado, bajo las condiciones ideales de tránsito.

La capacidad posible⁷, es el número máximo de vehículos que pueden circular en un punto o carril específico, durante una hora o momento determinado, bajo las condiciones existentes de tránsito.

Mientras que la capacidad práctica, es el número máximo de vehículos que pueden circular en un punto o carril específico, durante una hora o momento determinado, cuando la densidad de tránsito no es ideal causando demoras considerables, así como cuando hay situaciones de peligro en la vía. Esta es considerada la capacidad de diseño.

Igualmente, la formula teórica que implica la capacidad de una vía requiere conocer otros datos, como la cantidad de vehículos propuestos, la velocidad a la que se propone su desplazamiento, y la distancia entre vehículos en movimiento.

Elementos que pueden determinarse a través de la asignación del nivel de vía que se requiere, dependiendo de la zona urbana en la que se disponga y el factor de capacidad vehicular según la demanda esperada.

En países como Estados Unidos, estos datos son muy bien documentados y se encuentran disponibles al público en las páginas de los operadores de tránsito de cada estado. Esto nos hace preguntarnos, ¿Cómo diseñan los ingenieros viales de la República Dominicana las vías de la ciudad?

Una zona altamente poblada en el pensar general, demanda vías más amplias, porque esto permite una mayor capacidad de flujos.

Pero la realidad observada en otras latitudes es que esto no

es necesariamente cierto, el añadir más líneas incrementa un fenómeno llamado demanda inducida, más espacios para circular, afectan el volumen vehicular porque incitan a más personas a utilizar las vías de manera individual. Es por lo mismo que es importante condicionar los espacios ya establecidos de manera más eficiente para conseguir que bajo la misma capacidad, no se desarrolle una demanda inducida y pueda mantenerse un tráfico vehicular estable.

Como investigación para obtener el título de Masters en Ingeniería Civil, de Administración de la Construcción y Tráfico, planteamos consideraciones similares a estas para el rediseño de las vías Stadium Drive Ave. y Stadium Drive Ave, en Kalamazoo, Michigan, Estados Unidos.

La idea planteaba es no solo utilizar elementos de rediseño de intersección, sino también la creación de calles completas, un concepto de vía que orienta sus esfuerzos a mejorar la sostenibilidad de las ciudades.

Claro, que a diferencia de la data que se puede asumir en República Dominicana, en Estados Unidos es más sencillo partir de un modelo de diseño como este y realizar las evaluaciones y simulaciones requeridas para comprender el nivel de éxito de una propuesta.

Esta propuesta consideró la conversión de tres intersecciones, dos de ellas con variabilidad de conjunción tipo Y, para ser convertidas en rotondas. La creencia local es que las rotondas son peligrosas y degradan la fluidez del tráfico.

Pero las mediciones actuales, en países que registran estos fenómenos adecuadamente indican que las rotondas son las soluciones más seguras para garantizar la fluidez vehicular, y esto tiene que ver con los tiempos de reacción y patrones de comportamiento de los conductores. Una vez decididos estos cambios, también se rediseñaron, utilizando la misma sección vial, la distribución de los servicios.

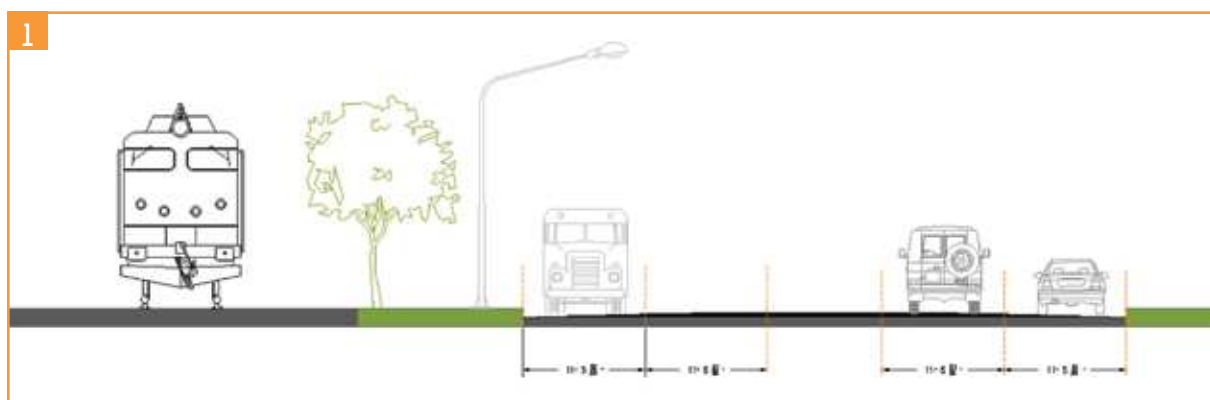


Imagen 1: Sección Existente de la Ave. Stadium Drive, Kalamazoo, MI, EUA.

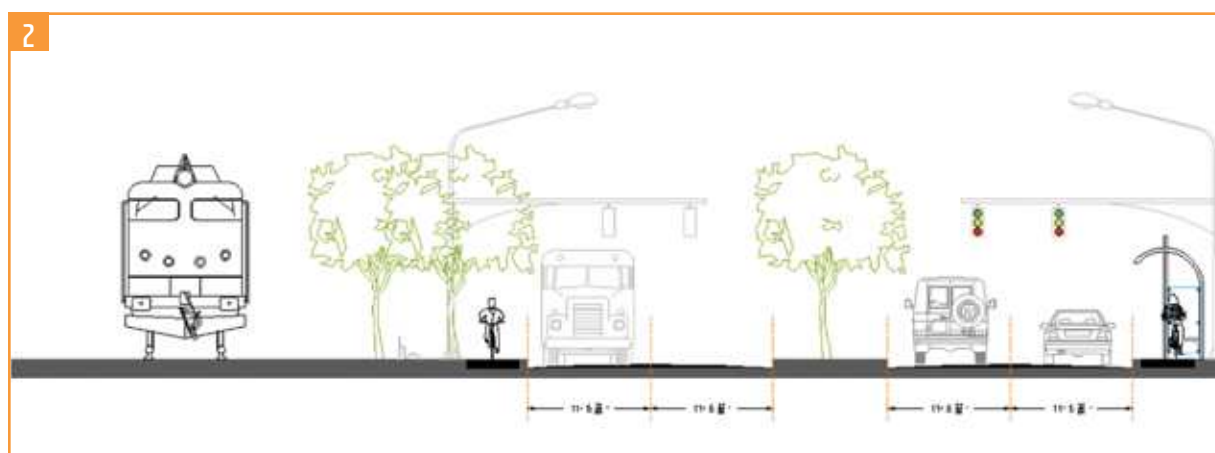


Imagen 2: Sección Propuesta de la Ave. Stadium Drive, Kalamazoo, MI, EUA.

Como parte de la premisa de las calles completas, se incorporaron elementos como un ciclo-vía, y percoladores naturales utilizados para drenar las aguas pluviales y filtrarlas de manera que pudieran ser reservadas para uso doméstico de forma directa.

Los elementos más sutiles de diseño, como las luces, isletas y demás, también cumplen un propósito dentro del marco de la sostenibilidad; al utilizar energía solar, el consumo energético es disminuido y las isletas juegan un papel importante en la disminución de temperaturas provocadas por las islas de calor.

Las rotondas demostraron en los análisis de data, ser capaces de disminuir los atascos generales provocados por la movilidad de las intersecciones existentes, lo cual disminuye los tiempos de recorrido, y por lo mismo las emisiones de carbono de los vehículos.

Pero la sostenibilidad y la cohesión de esta propuesta no podría estar completa sin el rediseño de otras intersecciones, esos puntos donde las arterias y las venas incompatibles se cruzan. Se implementó un diseño de intersección segura, donde todos los sistemas de transporte se entrelazan de manera armónica (imagen 3).

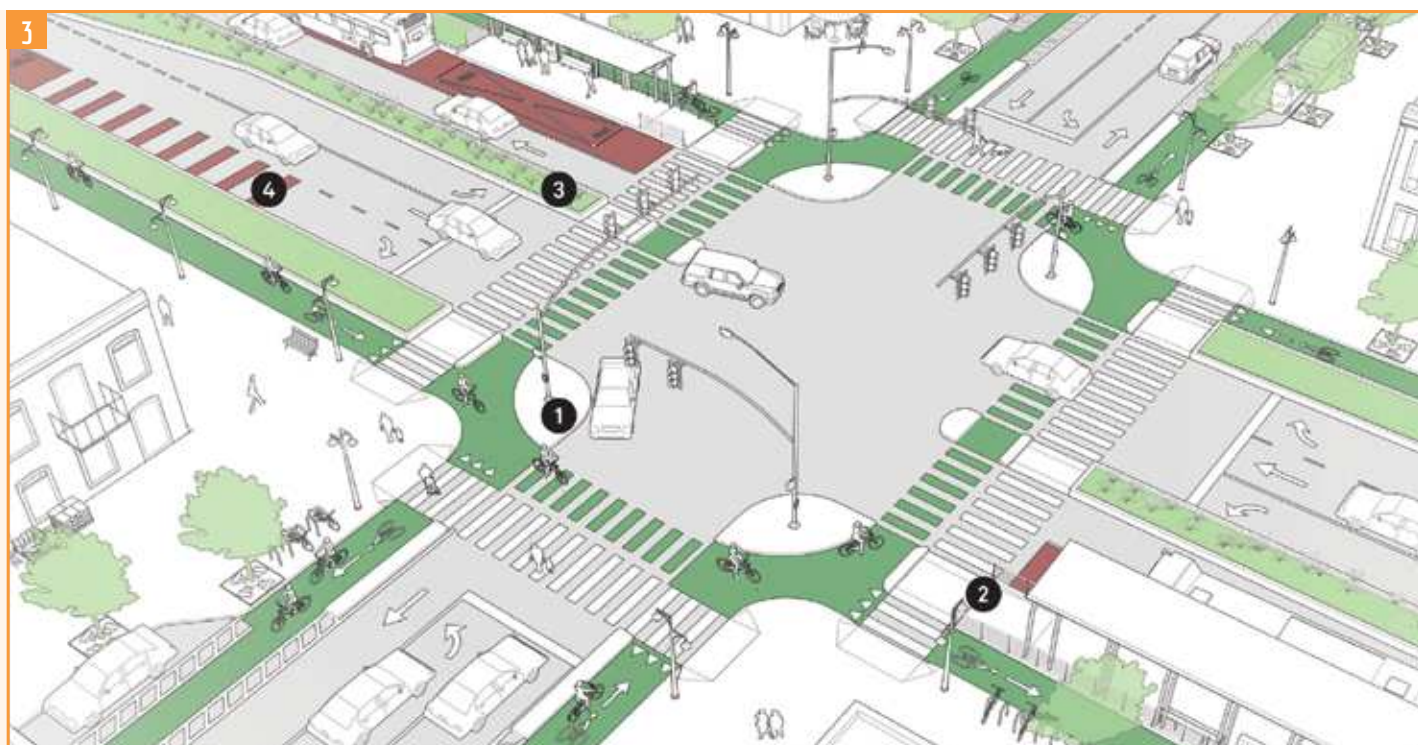


Imagen 3: Diseño de intersección segura, W Michigan Ave. y N Westenedge Ave, Kalamazoo, MI, EUA.

Los resultados de las evaluaciones de simulación determinaron una mejoría de un 9% en los tiempos de recorrido, lo cual quizás suene a muy poco, pero de manera masiva y en términos de ingeniería de tránsito son una verdadera hazaña.

Un caso de estudio del Distrito Nacional que se debe someter a escrutinio es la Ave. República de Colombia. Una de las avenidas olvidadas que ha tenido que asumir un tráfico vehicular pesado, así como el tráfico vehicular privado de zonas altamente pobladas. (Imagen 4)



Dicho todo lo anterior, sería razonable plantearse si la sección actual de la Ave. República de Colombia puede articularse de manera que primero la categoría de esta vía es nivel D, por su flujo poco estable, con una velocidad tolerable debido a la poca cantidad de intersecciones que pudieran cambiar las condiciones operativas de la misma.

Además de rediseñar la sección vial, que oscila entre los 16 y 18 metros de ancho, las intersecciones deben ser optimizadas, por ejemplo, la intersección de la avenida Monumental con la República de Colombia muestra a gritos la necesidad de una intervención (imagen 5), puesto que a partir de este punto y en dirección este oeste se generan los atascos más importantes en las horas pico de esta vía.



Imagen 5: Intersección Ave. Rep. de Colombia con Ave. Monumental, Zona de Atascos recurrentes en hora pico.

A pesar de que lo anteriormente expuesto es fácilmente sustentado en casos de estudio y resultados de proyectos simi-lares en otras partes del mundo, es imperioso acotar que estas observaciones están basadas en puro reconocimiento visual, ya que la data necesaria para analizar estos fenómenos a profundidad no se encuentra a disposición de analistas privados.

Diseñadores urbanos de la talla del arquitecto Jan Gehl siempre han considerado que las ciudades deben ser devueltas a las personas, y considerando que el tránsito vehicular es el único ladrón de la ciudad, son estos sistemas los que deben ser adaptados para dar apertura a los ciudadanos, a la seguridad y la calidad de vida.

Uno de sus proyectos más emblemáticos tomó el espacio destinado a Times Square en la ciudad de New York, para devolvérsela a las personas, lo cual es sin duda una ruptura general de paradigmas. La ciudad de New York sigue siendo un desastre de tránsito, pero un desastre que al menos le da un espacio a los ciudadanos de vivir sin la celeridad que la movilidad constante y la tecnología suelen añadir a las vidas de los individuos.

Quizás si la avenida República de Colombia fuera rediseñada podría pasar de lucir como una vía completamente ocupada para el tránsito de vehículos de motor (Imagen 6) a una con posibilidad de acomodar a todos sus usuarios utilizando su misma sección espacial existente (Imagen 7).

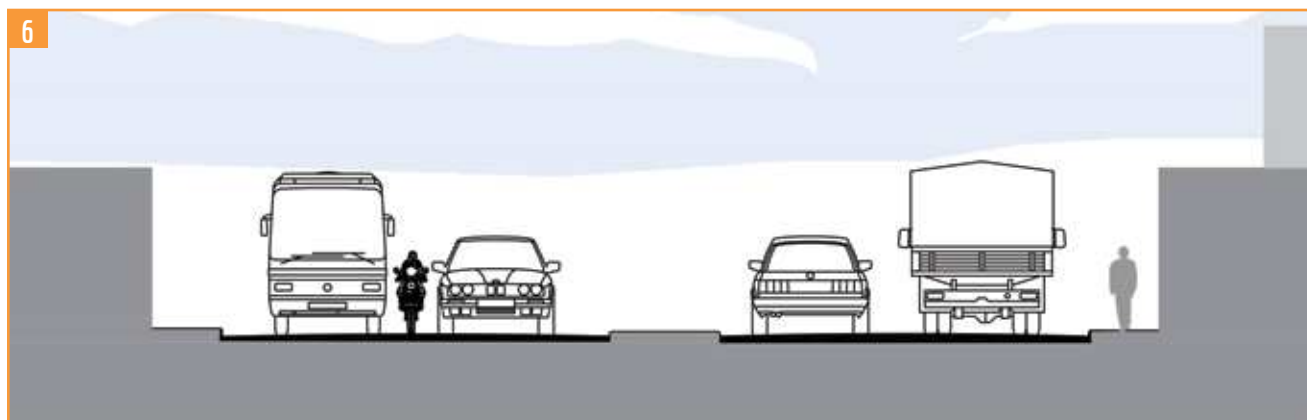


Imagen 6: Sección esquemática existente Ave. Rep. de Colombia



Imagen 7: Sección Esquemática de propuesta para Ave. República de Colombia

Un diseño de intersección segura, quizás presentaría un cambio de panorama similar. Pero mostrar esquemas sobre lo verde y “Bonita” que se vería una intersección no la hacen una propuesta ideal en lo absoluto, aunque es un inicio hacia la búsqueda de una solución, la que se adapte mejor al contexto social en el que vivimos.

CONCLUSIÓN

Por los puntos anteriormente expuestos, se puede decir, primero, que República Dominicana necesita iniciar el proceso de documentación del tránsito de manera científica, dando a los analistas, tanto públicos como privados, la data que necesitan para realizar las ingenierías que un sistema de movilidad tan complejo necesita.

Al conciliar esta necesidad, ingenieros, arquitectos, sociólogos, antropólogos, economistas, geógrafos y todas las ramas afines, pueden analizar las movilizaciones colectivas y dar respuestas efectivas adaptadas al contexto regional

sobre la movilidad urbana. Debemos abordar el diseño vial, con más análisis, más modelación de manera que las implementaciones sean más certeras, rápidas, y eficientes.

Los rangos de elasticidad de un sistema deben ser evaluados y quizás el cambio de mentalidad pueda producirse paulatinamente a través de la observación de resultados positivos. De observarse resultados negativos, lo cual es una gran posibilidad también, da paso al avance que descartaría las formas en las que no debemos abordar el diseño vial de la ciudad.

REFERENCIAS

European Environment Agency. (2017). <https://www.eea.europa.eu>.
Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/approximated-eu-greenhouse-gas-inventory-2016>

National Association of City Transportation Officials. (2018). NATCO.
Obtenido de <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/lane-width/>

United States Environmental Protection Agency. (Marzo de 2018).
Environmental Protection Agency. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100U8YT.pdf>

SOBRE LA AUTORA:

Stephanie Gutierrez Núñez, : Arquitecto, por la
Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, UNPHU,
2010.

Masters in Civil Engineering, Construction Management
– Traffic Engineering. (2014), Western Michigan
University, MI, EUA.

EL INDRHI

7 años de trabajo por el país y el campo

● Monte Grande



UBICACIÓN	INVERSIÓN \$US	BENEFICIARIO		
		FAMILIAS	PERSONAS	TAREAS
Provincia Barahona	432,000,000.00	70,000	350,000	600,000

● Presa La Piña



UBICACIÓN	INVERSIÓN \$RD	BENEFICIARIO		
		FAMILIAS	PERSONAS	TAREAS
Dajabón	555,768,919.09	422	2,110	24,656

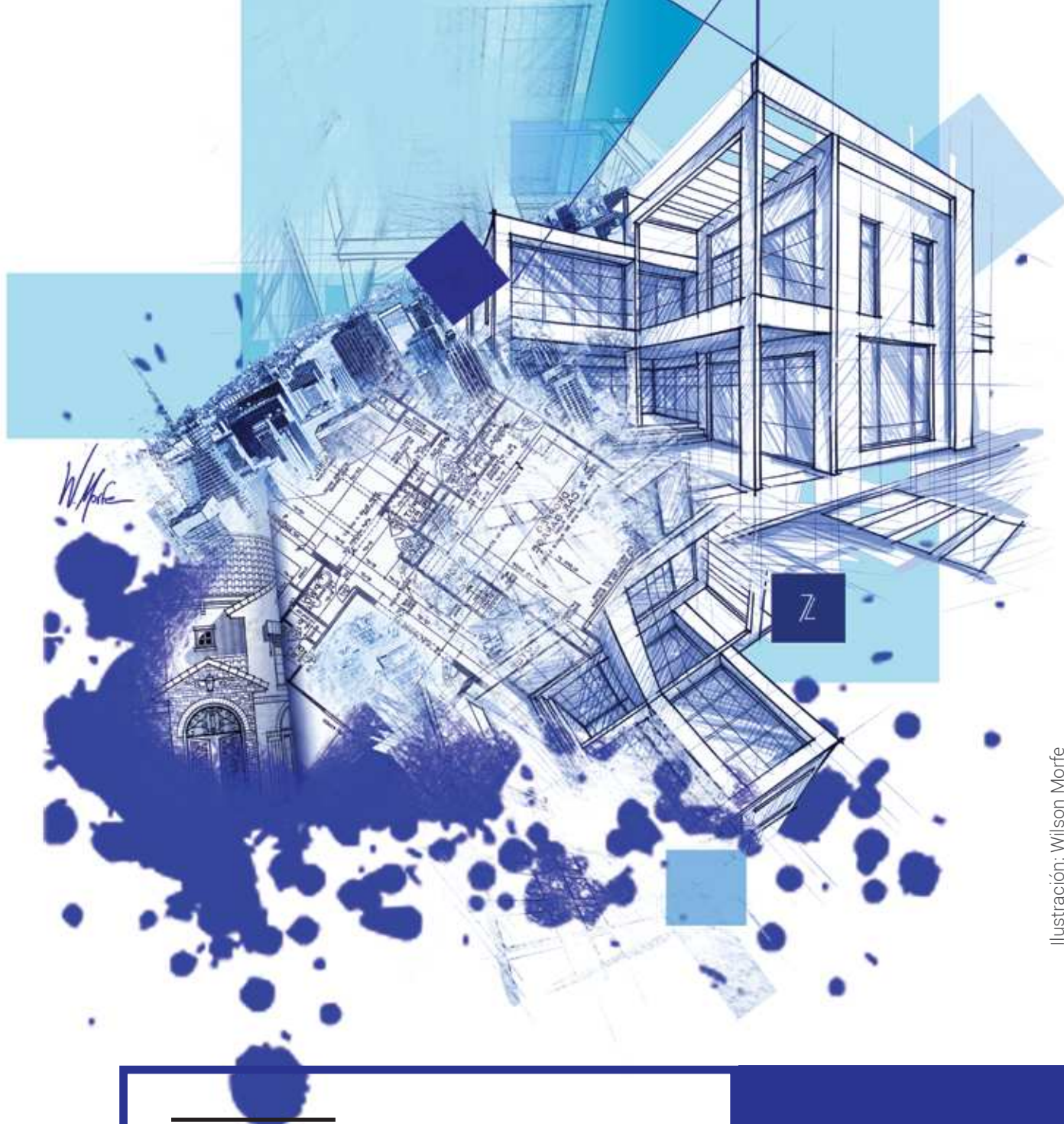


Ilustración: Wilson Morfe

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO, PARA LA ORGANIZACIÓN, ZONIFICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE ELEMENTOS

Por: Arq. Marino E. Sánchez N.

OBJETO DEL PROGRAMA SOZOE

El interés fundamental del software SOZOE reside en proporcionar una herramienta que dibuje, combine y disponga espacios o ambientes de acuerdo a un plan o diseño, simplificando su elaboración.

CAMPO Y APLICACIÓN DEL PROGRAMA SOZOE

Su conjunto de procedimientos tiene uso y aplicación en la planificación y disposición de los elementos dentro de los procesos de diseño en la arquitectura y la ingeniería; del dibujo y la construcción de diagramas. (Representación gráfica de las partes de un conjunto, de la disposición, variaciones y correlaciones de sus elementos).

OBJETIVOS

- Organizar, ordenar y orientar cualquier tipo de relación o combinación de elementos.
- Realizar diferentes y específicas tareas como: insertar, salvar, dimensionar, modificar, editar, copiar, dibujar, calcular área (m^2) y volumen (m^3).
- Ser compatible con otros programas, en el que se pueda tener una multiplicidad de operaciones y economía.
- El uso y manejo del programa debe ser fácil y práctico.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA SOZOE

Para complementar la descripción que se está realizando y con el objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del programa, se acompaña la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma de una aplicación o ejercicio, con carácter ilustrativo y no limitativo.

INTRODUCCIÓN

El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, "pre-figuración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. El acto de diseñar como prefiguración, es el proceso previo en la búsqueda de una solución o conjunto de las mismas. Término utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL DISEÑO

Para elaborar un proyecto arquitectónico, se lleva a cabo un proceso previo de investigación que guía al arquitecto en su tarea a lo largo de todo el proyecto. La interpretación que hace el Arquitecto de los resultados de esta etapa es lo que define en buena medida la personalidad del proyecto. Se identifican en este arranque del proceso tres actividades básicas:

1-Planteamiento del programa. Se refiere a la etapa inicial donde un cliente busca un arquitecto, para que diseñe un edificio que resuelva sus necesidades específicas de espacio y usos. El cliente también le describe al diseñador los recursos de los cuales debe partir (terreno o construcciones existentes, presupuesto asignado, tiempo de ejecución, etcétera).

2-Interpretación del programa. El arquitecto estudia las necesidades del cliente y de acuerdo a su interpretación y su capacidad profesional, establece los objetivos a investigar antes de hacer una propuesta.

Las interpretaciones que el arquitecto hace de las necesidades del cliente le servirán de guía en la siguiente etapa, pero están siempre sujetas a modificaciones posteriores, según vaya avanzando el proceso de diseño arquitectónico.

3-Investigación. Tomando los resultados de las dos etapas anteriores, se hace el análisis y también la síntesis de la información. En primer lugar se requiere de investigación de campo y bibliográfica que permita conocer los detalles del edificio, según su tipología.

PROGRAMA DE DISEÑO

De los resultados de la síntesis de la investigación, el diseñador hace una lista identificando los componentes del sistema y sus requerimientos particulares. A esta lista se le denomina Programa Arquitectónico.

Por ejemplo, en el proyecto de una casa o habitación unifamiliar (apartamento) el programa incluiría varios de los siguientes elementos: Acceso, garaje, vestíbulo, sala, comedor, cocina, cuarto de servicio, baños, dormitorios, terrazas, jardín, patio, etc.

DIAGRAMA DEL PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

A partir del Programa Arquitectónico, el diseñador hace un esquema gráfico, similar a un organigrama, en el cual representa todos y cada uno de los elementos del programa y los relaciona mediante líneas o flechas de acuerdo a las relaciones entre los espacios.

Por ejemplo, la cocina debería estar relacionada con el comedor, pero no con los dormitorios. Mediante la presencia (o ausencia) de flechas se señala este tipo de relación. A este gráfico de las relaciones entre los espacios se le llama diagrama de relaciones arquitectónico o red plana.

DISEÑO DE ESQUEMA BÁSICO

Estudiado como etapa de la realización de un proyecto arquitectónico, el diseño es el proceso de traducir en formas útiles los resultados de todas las etapas anteriores, que serán representadas gráficamente en las etapas posteriores. Es considerado un proceso creativo, en el que intervienen elementos como:

Hipótesis de Diseño: Es un acercamiento conceptual del objeto a diseñar, que posteriormente será sujeto a modificaciones. Se consideran al mismo tiempo, con importancia igual o variable (de acuerdo a la filosofía de diseño de cada Arquitecto) los aspectos de contexto arquitectónico, criterios estructurales, forma, función, presupuesto e incluso moda.

Zonificación: Es el ordenamiento de los componentes del diseño establecidos en el programa arquitectónico en base a relaciones lógicas y funcionales entre ellos.

Esquema: Es la estructuración tridimensional del Diagrama Arquitectónico, aplicada en un espacio específico con énfasis en las cualidades del sistema, subsistema, componentes y subcomponentes.

Propuesta: Es la materialización de la solución al problema arquitectónico, dando forma a los espacios diseñados para que cumplan con su función. En ocasiones, el diseñador elabora dos o tres propuestas (opciones preliminares de diseño) antes de decidirse por uno que convertirá en un Anteproyecto.

UTILIZACIÓN DEL CAD PARA LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN PROYECTO

Anteproyecto: Representación que explica por vez primera, de manera gráfica, pero con carácter preliminar, cómo está diseñado el edificio. Sirve para describir la concepción general del edificio: forma, funciones, distribución, sistema constructivo. Suele utilizarse para consultar su viabilidad.

Se representa el edificio en planta (sección horizontal, vista desde arriba), elevaciones o alzados (vista frontal de las fachadas), cortes o secciones y perspectivas.

Su propósito es puramente preliminar, para que el cliente decida si el diseño es de su agrado y cumple con sus requerimientos. En caso de que el anteproyecto sea aprobado, entonces se realiza el proyecto definitivo.

ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Hoy sabemos que los edificios y las ciudades son organismos o estructuras vivas que albergan personas que desarrollan múltiples actividades, que tienen un conjunto de necesidades y que contienen los más variados elementos.

Por lo tanto, la localización y distribución de estos en un espacio determinado, con el objeto de satisfacer las demandas de los usuarios, constituye un serio problema de asignación de facilidades a localidades.

El proceso de diseño, como toda labor creativa desarrollada por el hombre, implica tomar una o varias decisiones después de completar una serie de pasos como: Información, análisis, síntesis y evaluación.

Debido a que la actividad creativa del hombre se desarrolla en el cerebro, los seres humanos, al realizar una actividad tendiente a crear algo o a responder a los diferentes problemas que aparecen en su vida diaria, recorren mentalmente el ciclo descrito con mayor o menor profundidad de razonamientos.

Primero se documentan sobre los factores que inciden en el problema, luego los analizan y toman una o varias decisiones que evaluadas les hace arribar a la solución definitiva.

Dichas respuestas pueden ser correctas o incorrectas, dependiendo de la cantidad y certeza de los datos a su alcance, experiencia y capacidad para descomponer el asunto en cuestión e interrelacionar adecuadamente sus partes, cuando el grado de complejidad del problema planteado condiciona en una u otra forma nuestras soluciones.

Precisamente es ahí donde reside la importancia del programa propuesto. Cada día los problemas de la arquitectura se hacen más complejos, es mayor el número de factores a relacionar y el grado de exigencias aumenta constantemente.

Al realizar el acto proyectual todos seguimos consciente o inconscientemente el proceso descrito. Pero muchas veces nuestra capacidad de creación se ve limitada por la forma de abordar el problema; sólo mediante un procedimiento de trabajo ordenado y adecuado nos pondremos en condiciones de optimizar respuestas.

Si organizamos a través de un modelo cibernético las etapas señaladas, veremos que estas constituyen un ciclo cerrado sobre el que inciden un sin número de factores que están en función del tipo y volumen del problema a resolver.

Por ello, al diseñar o al enfrentar cualquier tarea difícil recorremos dicho ciclo varias veces, tomando en cada recorrido un cierto nivel de decisión o solución parcial del problema que poco a poco nos va aproximando a la respuesta definitiva.

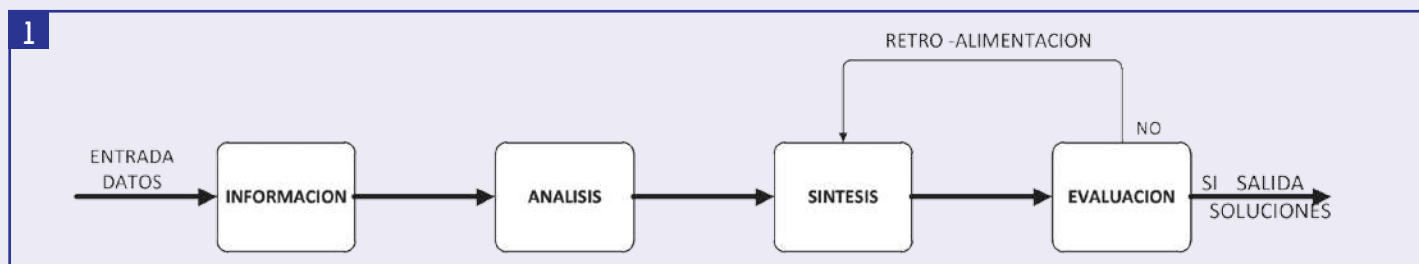


Imagen 1: La cibernética trata acerca de sistemas de control basados en la retroalimentación. La realimentación permite el control de un sistema y que el mismo tome medidas de corrección con base en la información realimentada. La cibernética estudia los flujos de información que rodean un sistema, y la forma en que esta información es usada por el sistema como un valor que le permite controlarse a sí mismo. Fuente: <https://es.wikipedia.org>

La intención del programa SOZOE es racionalizar el proceso creativo y hacer más breve la cantidad del tiempo requerido para arribar a una solución satisfactoria, eliminando en lo posible todo tipo de tanteo y apreciaciones caprichosas, por lo menos en las fases principales del razonamiento.

Por lo tanto, el programa, en vez de limitar nuestra capacidad creativa, la amplía, ayudándonos a descomponer el problema en cada una de sus partes, a relacionarlas y a considerarlas en el momento oportuno.

El programa y procedimiento que se emplea para diseñar no supone una limitación, por el contrario, nos puede ayudar en

la consideración de las diferentes alternativas de solución que tenga un sólo problema y en la optimización de una o varias de estas.

El enfoque del programa y proceso de diseño contempla diferentes niveles de decisión por lo que debemos producir diferentes entradas y salidas:

Un primer nivel, que consiste en definir el tipo, cantidad, dimensiones y facilidades, de locales o ambientes a ubicar en un espacio determinado.

Un segundo nivel, que establece el tipo y grado de relación

que debe existir entre estos como partes integrantes de un conjunto, entre ellos y cualquier punto previamente establecido en el lugar de emplazamiento de la edificación.

Un tercer nivel, que constituye la obtención de la o las volúmetrías del conjunto con los ambientes situados en sus posiciones definitivas, una vez que hayan sido optimizadas sus conexiones.

Y una cuarta fase, que comprende la transformación de la o las agrupaciones establecidas en el tercer nivel.

Esto significa el estudio del sistema estructural y constructivo, de los detalles de las superficies, de los volúmenes, de su composición plástica y tipología.

Al presentar una continuidad y un orden en el desarrollo del proceso creativo, cada etapa queda abierta a la introducción de nuestras concepciones personales resultantes de una formación adquirida y cada resultado se convertirá en información y dato del siguiente para la obtención del diagrama de funcionamiento o plan maestro.

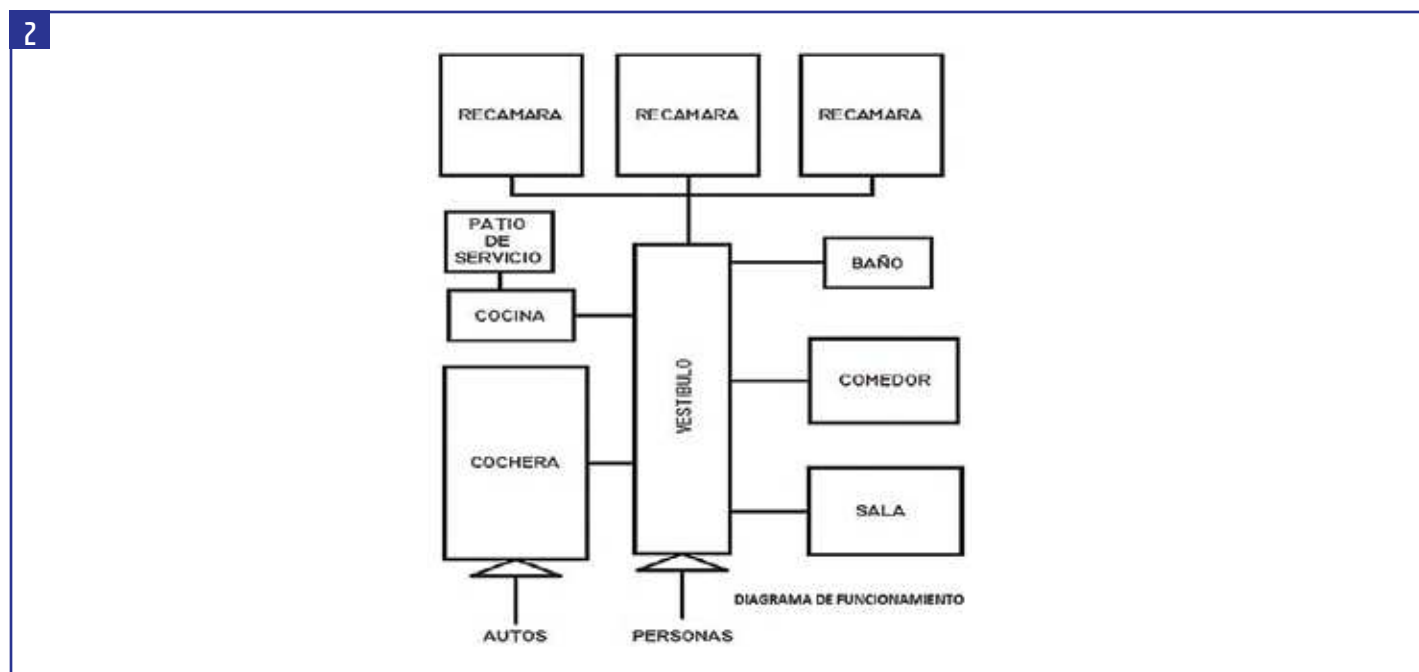


Imagen 2: Diagrama de funcionamiento o plan maestro. diagrama de funcionamiento o plan maestro.

SOFTWARE PARA LA ORGANIZACIÓN, ZONIFICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE ELEMENTOS (SOZOE). MODO DE EJECUTAR EL PROGRAMA SOZOE

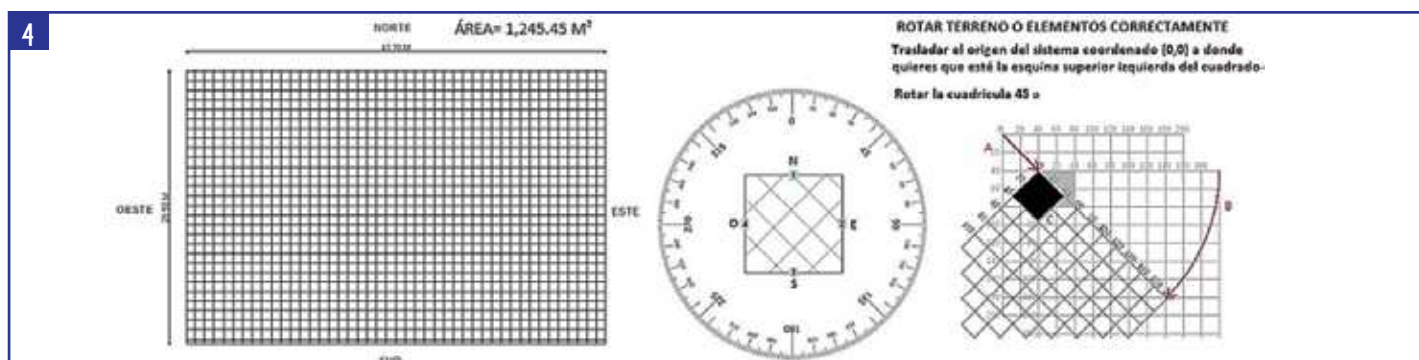
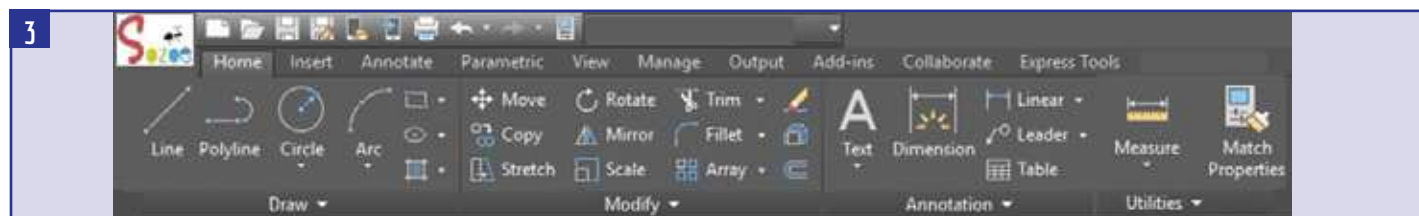
- Aplicación para Windows XP o superior (Windows Vista, Windows 7 a Windows 10, y otras versiones).
- Codificado en C ++. Usando el Boost Graph Library (Uso de Plantillas para definir algoritmos genéricos). http://www.boost.org/doc/libs/1_53_0/libs/graph/doc/index.html
- .NET se puede utilizar para proporcionar la interfaz gráfica de usuario (.NET de Microsoft es un componente de software que puede ser añadido al sistema operativo Windows. Provee un extenso conjunto de soluciones predefinidas para necesidades generales de la programación de aplicaciones, y administra la ejecución de los programas escritos específicamente con la plataforma).
- SQLite: Programa utiliza SQLite Database Engine (SQLite es un sistema de gestión de bases de datos).

Paso 1) Configurar hoja o plano de trabajo.

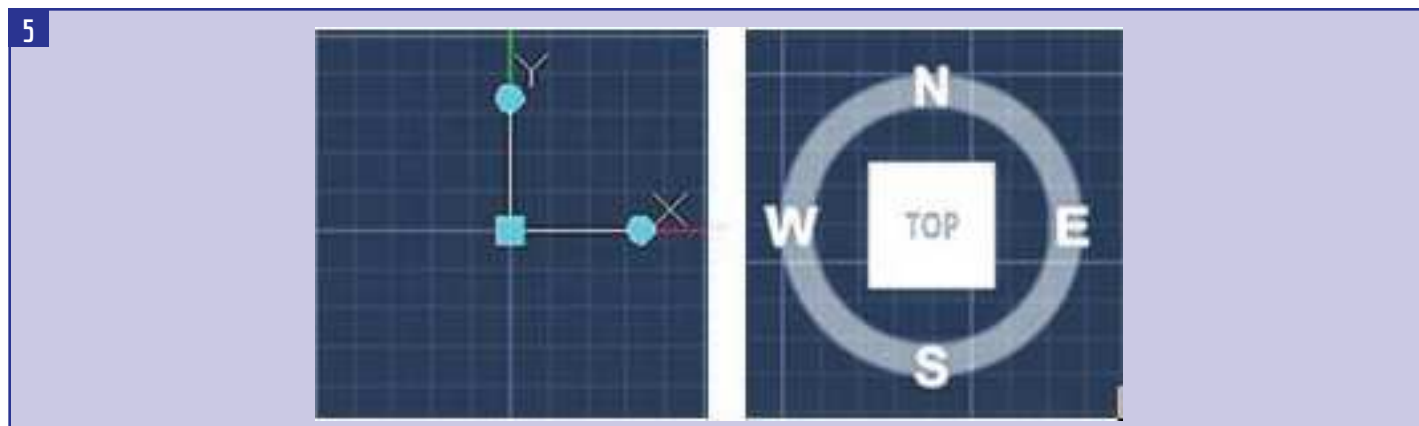
El programa le da al usuario la opción de generar una rejilla en el plano, campo o área de trabajo mediante el trazado de una red o retícula con líneas paralelas y normales a 90° grados, o a través de diversos ángulos 60°, 45°, 30°, etc., girar la rejilla 360°, modificar la dimensión, escala y ángulo de las células en la cuadrícula o trabajar sin la rejilla. (Fig. 4)

NOTA:

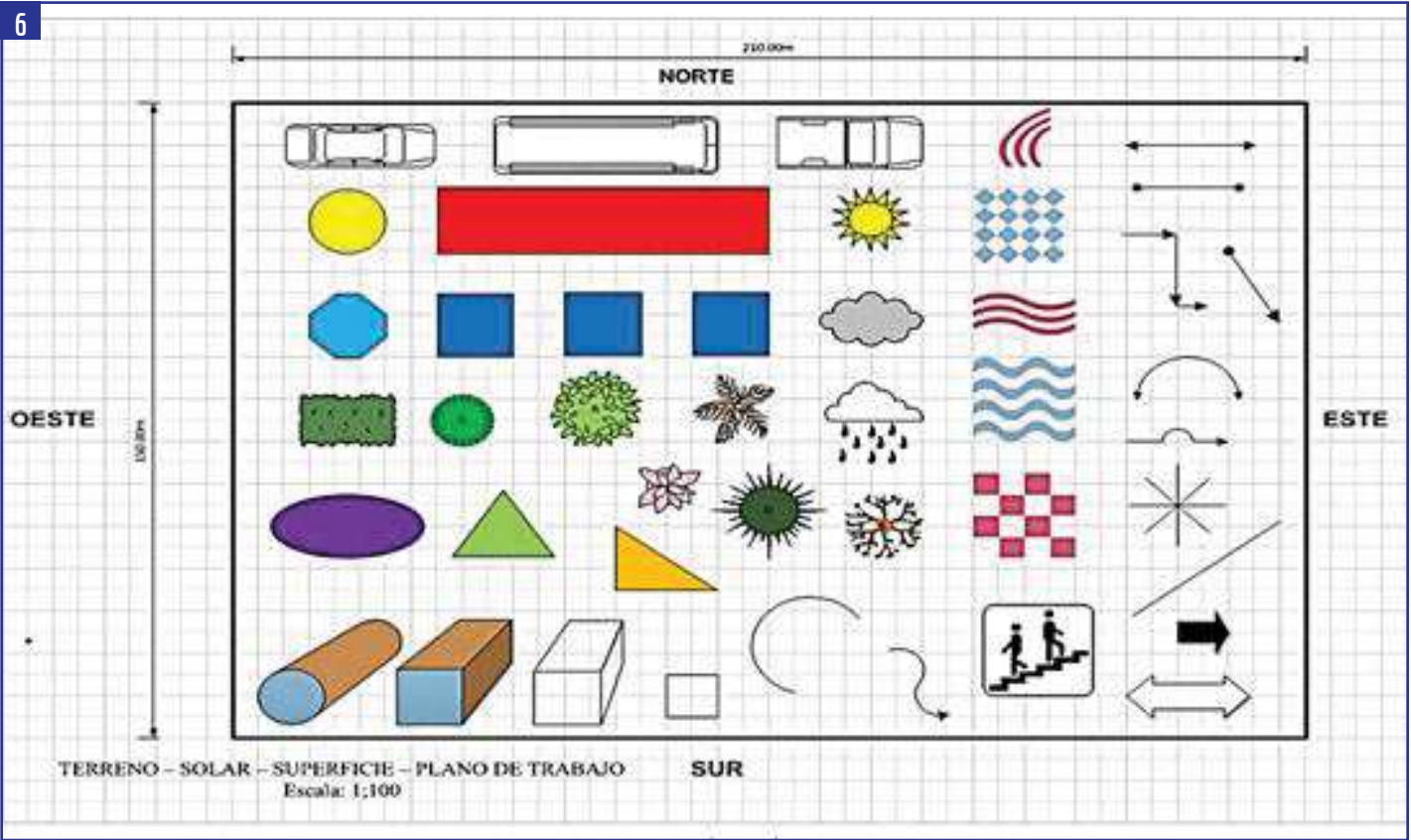
- El Programa permite al usuario dibujar con el ratón el terreno o plano de trabajo, utilizando un conjunto de herramientas básicas de dibujo (Fig.3), modificar su dimensión, escala y ángulo de cada vértice, calcular el área del sitio, ubicar y mostrar los puntos cardinales N, S, E, O.



- Si el usuario selecciona una línea con el ratón, el programa le mostrará su longitud.
- Si el usuario selecciona la figura o todos los vértices interiores de la figura, el programa mostrará su área.
- Si el usuario selecciona dos líneas que se cortan, el programa mostrará el ángulo formado por su vértice.
- Programa permitirá al usuario dibujar y mover un eje de coordenadas (X, Y) dentro del área de trabajo especificada, con el clic de un botón. (Fig. 5)



El programa permitirá al usuario insertar diferentes formas y figuras en el plano de trabajo, dibujar, intersecar, dividir, modificar sus dimensiones (longitud, anchura, altura), introducir texto, guardar, copiar, colorear, acercar y alejar la imagen, escalar, calcular el área (m²) y el volumen (m³) en caso de formas tridimensionales (Fig. 6).



Paso 2) El programa permite al usuario confeccionar y rellenar la Tabla de Entrada de Espacios o Ambientes por Áreas.

7 TABLA DE ENTRADA DE ESPACIOS O AMBIENTES POR AREAS								
#	Área	Espacios Ambientes	Orientación Puntos Cardinales	coordenada X (- +)	coordenada Y (- +)	Área LxA (m ²)	Nivel de Piso	Notas: Descripción del espacio o ambiente
1	Servicio	Escalera	SO				1-2...X pisos	
2	Social	Vestibulo	SO				1	
3	Social	Sala	SE				1	
4	Social	Comedor	NE				1	
5	Servicio	Coc.-Serv.	NO				1	
6	Privado	½ baño	SO				1	
7	Privado	Baño	SO				2	
8	Privado	Baño P.	NO				2	
9	Privado	Dorm. P	NE				2	
10	Privado	Dorm. H	SE				2	

- El usuario puede añadir o quitar espacios o ambientes. El programa impone nombres únicos de los espacios o ambientes y el área al que pertenece. El número, el área y nombre de los espacios o ambientes, especificada en la **Tabla de Entrada de Espacios**, más el **área** (m²) se transcribe de forma simultánea a la **tabla de notas** y viceversa (Ver tabla de notas más abajo).
- Si el usuario selecciona la figura o todos los vértices interiores de la figura, el programa mostrará su área.

- El programa permite al usuario introducir valores de altura, longitud, ancho.
- La columna Notas de la Tabla de Entradas de Espacios o ambientes debe desplegar una tabla de notas, que sirve para describir, organizar, guardar y presentar la información de cada uno de los espacios o ambientes con el formato siguiente:

10 TABLA DE NOTAS (Descripción de los espacios o ambientes)											
#	Área	Espacios Ambientes	Definición Actividad Primaria	Definición Actividades Secundarias	Condiciones Ambientales	Muebles equipos y accesorios	Instalaciones Técnicas	Número de Usuarios	Área L x A m ²	Materiales	Requisitos Exigencias Necesarias
1		Escalera									
2		Vestíbulo									
3		Sala									
4		Comedor									
5		Coc.-Serv.									
6		½ baño									
7		Baño									
8		Baño P									
9		Dorm. P									
10		Dorm. H									

- Esta información se almacena en la base de datos. Las notas aparecen en una ventana editable (pop –up) cuando el usuario solicita (con un clic derecho) las notas de un local o elemento seleccionado.
- El programa permite al usuario agregar o quitar filas y columnas y ajustar contenido. Cada fila será numerada.
- El programa permite al usuario inmovilizar las filas o columnas que desee y desplazar las siguientes filas o columnas, para ver todo el contenido de la tabla, cuando la cantidad de variables no se puedan ver simultáneamente en la pantalla porque la tabla tiene muchas filas y columnas (Similar a la misma función del programa Microsoft Excel).
- El programa alertará al usuario si la suma de todos los espacios o ambientes situados en el terreno es más grande que la dimensión del solar o que el área de construcción. Si es así, entonces el proyecto se desarrollará en dos o más niveles.

Paso 3) Confeccionar una matriz de relaciones por tipo. Tomar en cuenta los puntos A y B

- **A)** El programa permite al usuario relacionar en las filas y columnas de la matriz, los vínculos-conexiones de cada uno de los espacios o ambientes que aparecen en la Tabla Entradas de Espacios (Paso 2), según criterios de afinidad, función, conveniencia, compatibilidad, y requisitos a cumplir del programa de necesidades.
- **B)** El programa permite al usuario fijar con exactitud la orientación que deben tener los locales o elementos en el terreno, con el norte, sur, este, oeste, noreste, sureste, etc., según criterios medioambientales, como asoleamiento o sombra sobre los elementos (recorrido solar), dirección del viento, mejor visual, alejados del ruido, entre otros

El usuario introduce elementos de relaciones de forma manual 1 - ? - X - 0

- **1** _____ Relación directa (Juntos, al lado, comunicados). Los espacios o ambientes son conectados directamente. Tienen un lado o pared común, donde hay un acceso o una puerta que permite el paso directo entre los dos locales
- **?** Relación indirecta (Separados, al lado, distantes, no comunicados). Los espacios o ambientes no deben estar directamente conectados por una puerta, aunque tengan un lado o pared común. Están relacionados por un paso o camino que permita el acceso de entradas y salidas de los diferentes espacios o ambientes.
- **X** No relación. Los espacios o ambientes no deben estar conectados de ninguna manera.
- **0** Comodín. Los espacios o ambientes pueden ser conectados de cualquiera de las formas anteriores, relación directa, relación indirecta, o no conectados en absoluto.

Auto llenado con comodín. El usuario tiene la opción de llenar la matriz de relaciones mediante una opción Comodín, para completar algunos o todos los espacios o ambientes que no hayan sido llenados de manera directa por el interesado (Las celdas en las que el usuario no ha escrito una relación específica, se llenarán automáticamente con relaciones comodín = 0). Si el usuario selecciona esta opción, el programa se encargará de organizar las relaciones de una manera aleatoria y automática.

- **NOTA:** Colocar la función de Auto Llenado con comodín, junto a la matriz de relaciones, en caso de elegir esta opción.

11

Matriz de Relaciones

LOCALES	N	S	E	O	NE	NO	SE	SO	1 Esc.	2 Vest.	3 Sala	4 Com.	5 Coc.- Serv.	6 ½ Baño	7 Baño.	8 Baño.P	9 Dorm P	10 Dorm.H
N																		
S	x																	
E	x	x																
O	x	x	X															
NE	x	x	X	x														
NO	x	x	X	x	x													
SE	x	x	X	x	x	x												
SO	x	x	X	x	x	x	x											
1 Escalera	x	x	X	x	x	x	x	1										
2 Vestíbulo	x	x	X	x	x	x	x	1	?									
3 Sala	x	x	X	x	x	x	1	x	?	?								
4 Comedor	x	x	X	x	1	x	x	x	?	?	1							
5 Coc.- Serv	x	x	X	x	x	1	x	x	x	?	x	1						
6 ½ baño	x	x	X	x	x	x	x	1	x	?	?	?	x					
7 Baño	x	x	X	x	x	x	x	1	?	x	x	x	x	x				
8 Baño P	x	x	X	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
9 Dorm. P	x	x	X	x	1	x	x	x	?	x	x	x	x	x	?	1		
10 Dorm. H	x	x	X	x	x	x	1	x	?	x	x	x	x	x	?	x	?	

Figura 11: El usuario pueda rellenar la matriz sin los puntos cardinales, para graficar solo las relaciones entre ellos sin su orientación.

Si no estamos de acuerdo con el resultado, podemos volver a modificar los tipos de relaciones entre los espacios o ambientes de la matriz, hasta obtener las relaciones y el diagrama adecuado que resuelva el problema, o modificar el resultado arrastrando las figuras en el terreno con el mouse.

La orientación de los espacios o ambientes (N, S, E, O, NE, NO, SO, SE) que se ponga en la Tabla de Entrada de Espacios del Paso 2, también aparece automáticamente en la Matriz de Relaciones del Paso 3 y viceversa

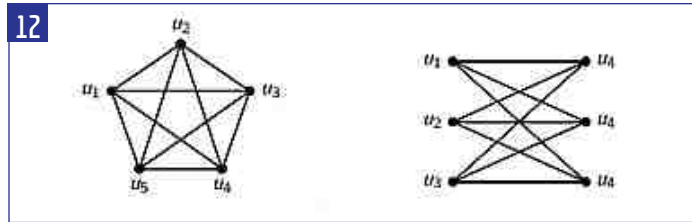
El programa permite al usuario destacar, arrastrar y copiar con el mouse los valores de celda (1, ?, X, O) en las celdas o columnas cercanas de la matriz de relaciones.

Programa permite al usuario agregar o quitar filas y columnas y ajustar contenido. Cada fila y columna muestra el número y nombre de cada espacio o ambiente introducido.

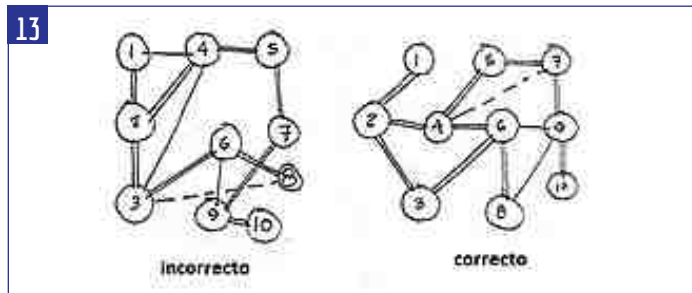
El programa permite al usuario inmovilizar las filas o columnas que desee y desplazar las siguientes filas o columnas, para ver todo el contenido de la tabla cuando la cantidad de variables no se puedan ver simultáneamente en la pantalla (Similar a la misma función del programa Microsoft Excel).

- **Importante:** Programa comprueba planaridad utilizando un algoritmo. En teoría de grafos, un grafo plano o planar es un grafo que puede ser dibujado en el plano sin que ninguna arista se cruce.

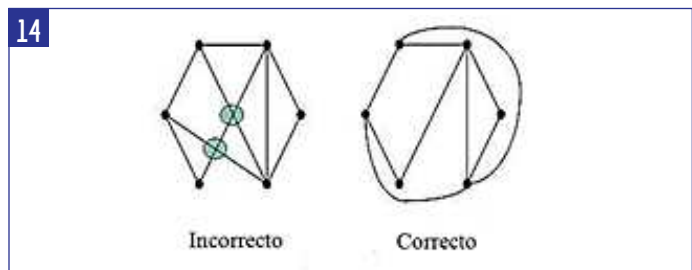
No combinar 5 elementos con 4 conexiones cada uno, ni 6 con 3 conexiones, para no atascar el diagrama de relaciones (Fig. 12). Ver teoría de grafos, la caracterización de los grafos planares llamada teorema de Kuratowski.



- Las líneas o vínculos que unen los elementos del gráfico, no se deben cruzar o cortar. (Fig. 13)



- El programa debe avisar cuando ocurra un cruce de líneas o error en las combinaciones. (Fig. 14)



Paso 4) Programa construye Red Plana del Paso 3

- Completado el llenado de la matriz el programa realiza un dibujo o representación gráfica (Red Plana) que muestra la disposición, las relaciones y orientación de los espacios o ambientes en el terreno (plano de trabajo), como sus posibles variaciones.
- IMPORTANTE:** Si el programa generara varias soluciones, el usuario pueda limitar el número de resultados. Solicitar al programa, guardar solo las solución 1 2 3.

Ejemplo: Vivienda de 2 niveles

Representación gráfica de los vínculos-conexiones de cada uno de los espacios o ambientes de la matriz, sin tomar en cuenta orientación con los puntos cardinales y las dimensiones de los locales. (Fig. 15)

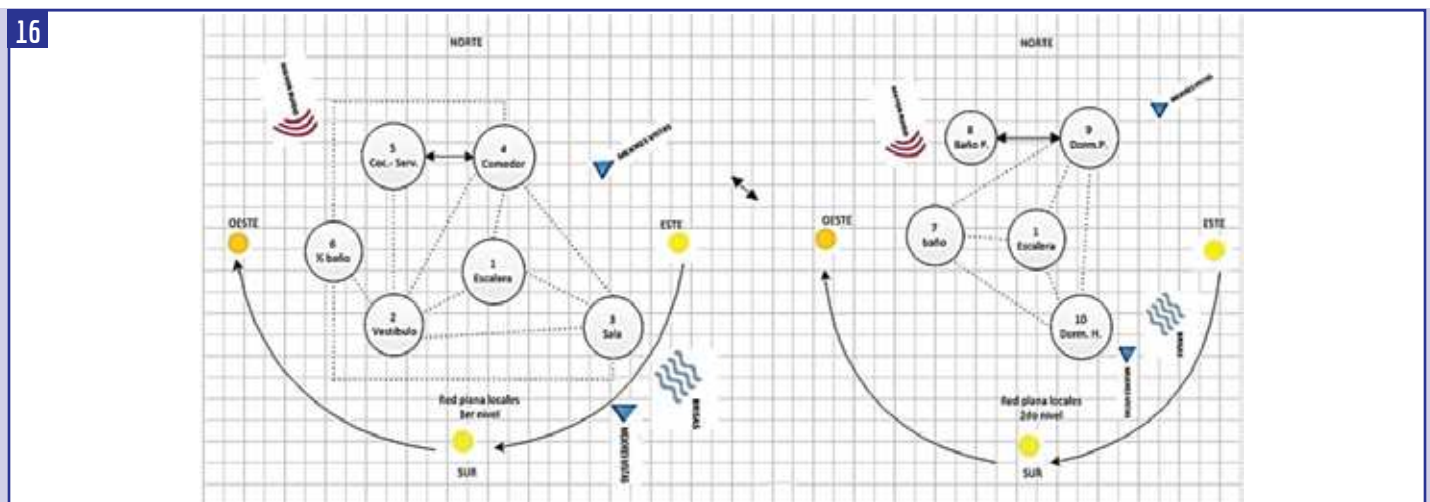
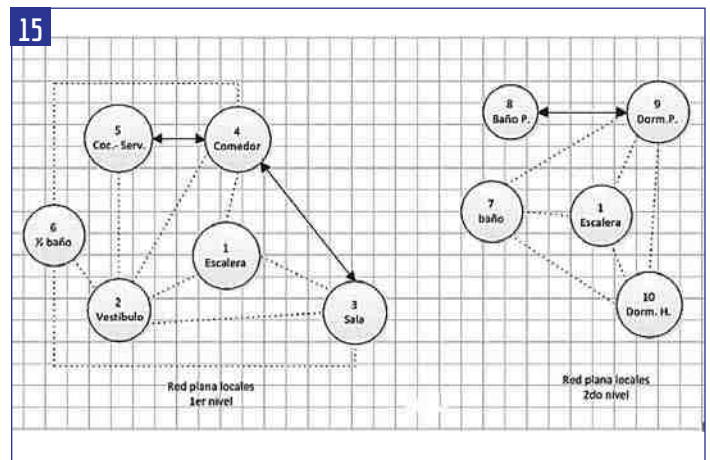


Figura 16: Representación gráfica de los vínculos-conexiones de cada uno de los espacios o ambientes de la matriz, tomando en cuenta su orientación con el norte, sur, este, oeste, noreste, sureste, etc., según criterios de bienestar y requisitos medioambientales como asoleamiento o sombras de los elementos (recorrido solar), dirección del viento, mejores visuales, alejados de los ruidos, entre otros. No se considera el área (m²) y dimensiones de los locales (L x A). El sitio considerado está localizado en Santiago de los Caballeros, R.D.

Paso 4) Programa grafica el diagrama de funcionamiento o plan maestro.

Programa relaciona, dimensiona, ubica, ordena y orienta, los espacios o ambientes de la matriz en el terreno o superficie del plano, respecto a un eje rector (Puntos cardinales), a la dirección e intensidad del viento, soleamiento, vistas y otros requisitos de acuerdo al plan.

IMPORTANTE: Si el programa generara varias soluciones factibles de implementar, el usuario pueda limitar el número de resultados. Por ejemplo: Solicitar al programa, guardar solo las soluciones 1 y 2.

Ejemplo: Vivienda de 2 niveles

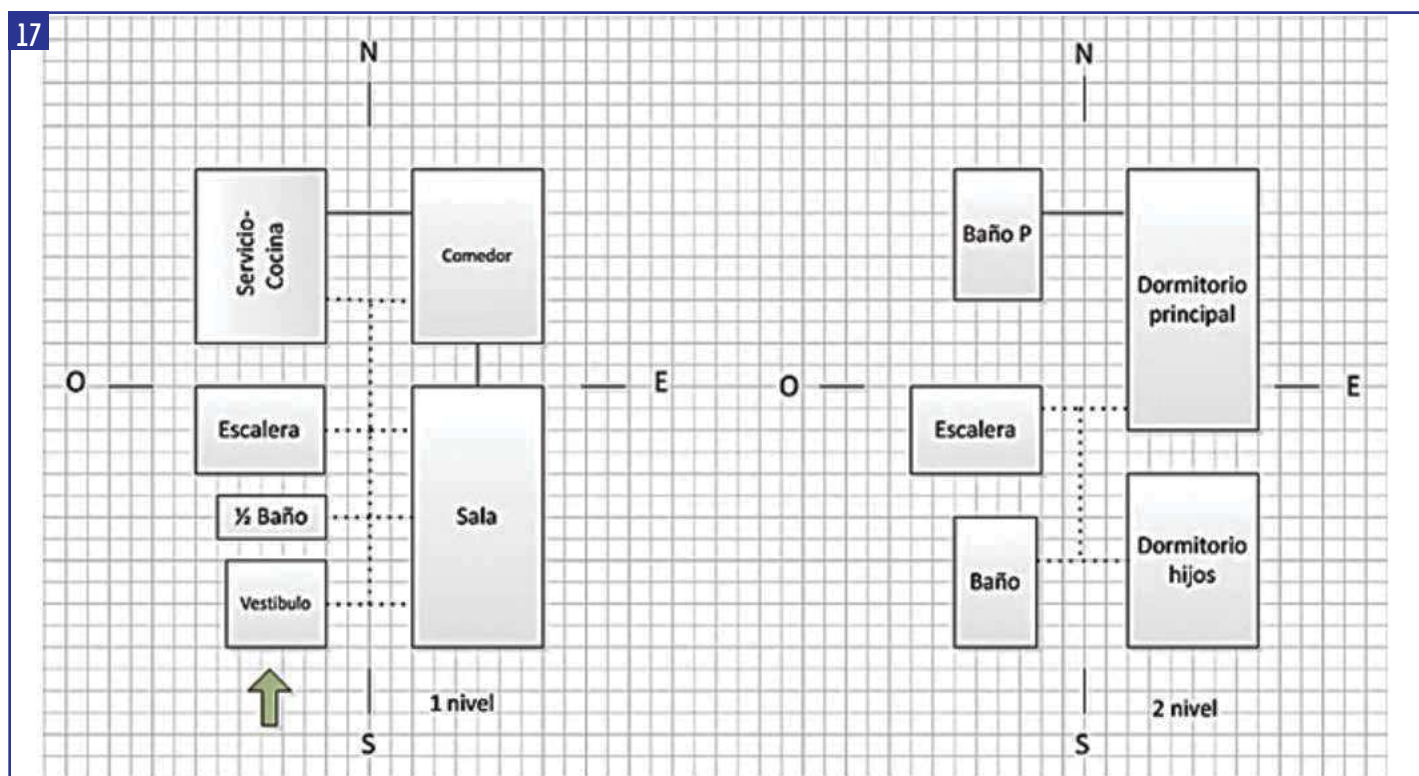
El diagrama de funcionamiento es el Plan Maestro: una representación gráfica de la relación que existe entre los espacios o ambientes que lo componen, además de que en él se definirá la vinculación directa o indirecta de los mismos.

Las líneas que conectan los espacios o ambientes son los accesos-pasillos que comunican los diferentes locales.



El programa permite guardar los diagramas obtenidos en formato .DXF para que se puedan usar en otros programas gratis o de pago. Por ejemplo, AutoCAD, Vector Works, y otros.

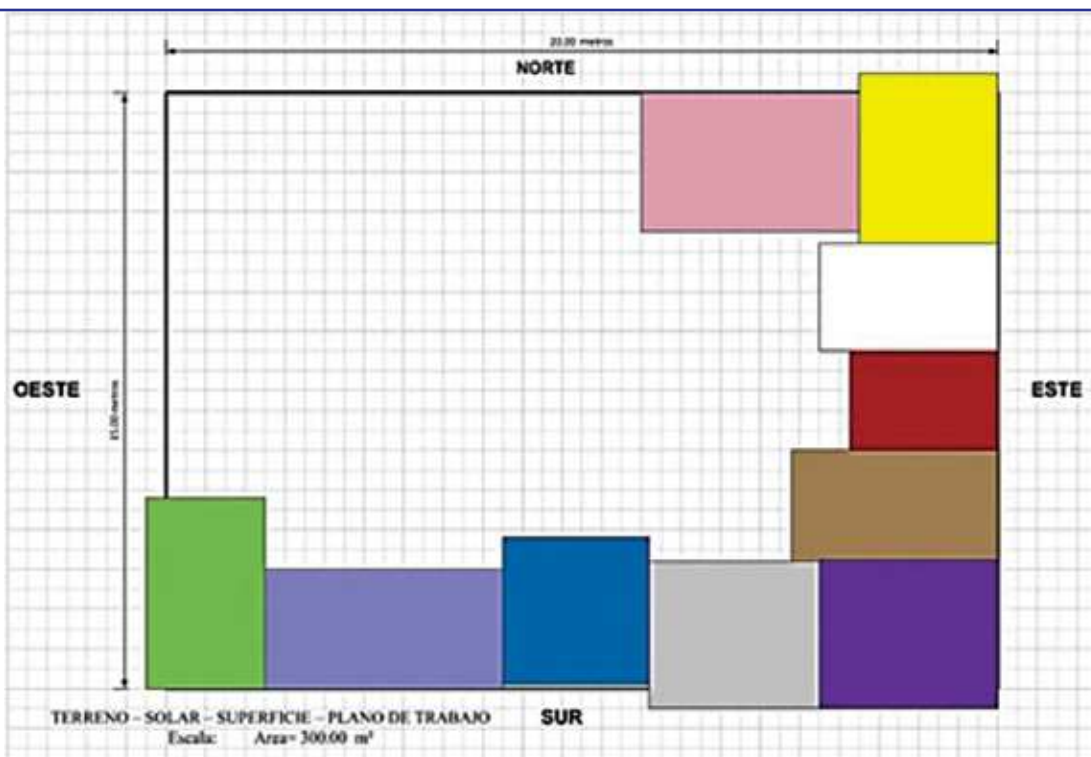
El usuario puede personalizar el aspecto del diagrama, cambiando las formas de los espacios o ambientes, arrastrándolos y colocándolos en el lugar que él / ella quiera con el ratón.



Cuando los espacios o ambientes de la matriz de relaciones se empiecen a organizar, ordenar y orientar en el solar, terreno o superficie o plano de trabajo (Paso 4), Programa avisa **NO ACEPTA MÁS ELEMENTOS**, si el número de locales o ambientes no se pueden orientar, ordenar y distribuir en una u otra dirección (X-Y) o punto cardinal; debido a que el tamaño o dimensiones de los espacios o ambientes, excede los límites del área del solar o terreno.

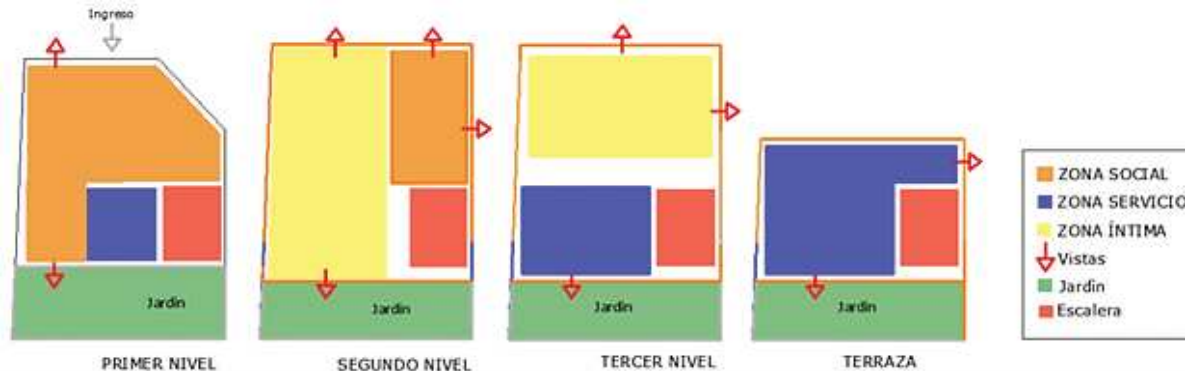
Ver la cantidad de locales asignados al Este y al Sur, supera en tamaño la longitud del terreno en esos lados. (Figura 18)

18



Paso 5) El programa pueda asignar, distribuir y ordenar los espacios por capas o niveles, en 1-2-3...pisos, si no caben en el terreno. (Fig. 19)

19



La escalera o un ascensor, sería el elemento común, que se relaciona, une y comunica los diferentes niveles y los otros espacios en cada piso.

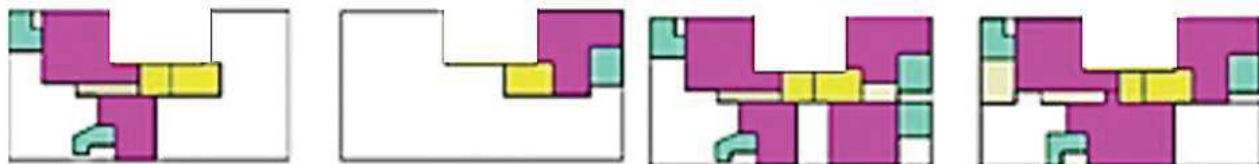
Paso 6) El programa dibuja bidimensional y tridimensional el plan maestro.

NOTA:

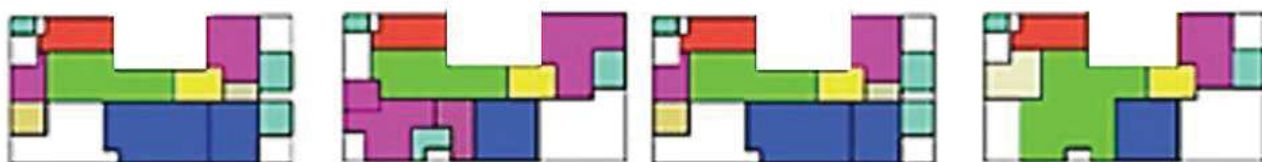
El programa dibuja y muestra el arreglo de otras disposiciones o combinaciones de los espacios o ambientes, si hubiera más de una solución (Fig. 20).

20

1



2



A



B

(Fig. 16)



C



D

Dormitorios

Sala

Comedor

Escalera

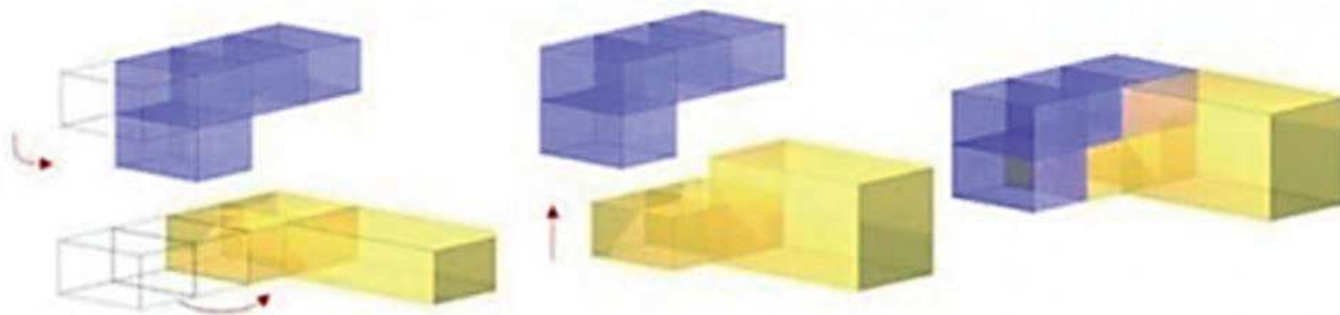
Baños

Vestíbulo

Cocina-Serv

El programa permite al usuario modificar las formas y los volúmenes del gráfico tridimensional del diagrama de funcionamiento con el uso del ratón (Fig. 21).

21



- El programa permite al usuario introducir valores de altura, longitud, ancho para los gráficos en 3D.
- El programa permite al usuario insertar figuras en 3D. Por ejemplo, un árbol, un hidrante, un muro, etc.
- El programa guarda los diagramas generados en formato .DXF* y otros formatos CAD.
- El programa sirve como apoyo externo a otros programas: puede usar su información y realizar las tareas que faltan en otros programas, como AutoCAD, Vector Works, Chief Architect, entre otros.

*.DXF son extensiones de archivos que pertenecen al grupo de programas AutoCAD y se utilizan para guardar los dibujos creados por ellos. Son tipos de archivos comunes, debido a la prevalencia de los programas de diseño que deben guardar sus dibujos de alguna manera. Ambos pueden ser abiertos por una gran variedad de programas.

CONCLUSIONES

Plano de trabajo: se puede cuadrangular, dimensionar, girar 360° y configurar cualquier estructura geométrica en el plano.

El programa confecciona tablas de datos y matriz de relaciones

El programa puede organizar y relacionar 2 o más elementos. Identifica y dibuja las posibles variantes de soluciones que se puedan realizar de forma predeterminada o aleatoria.

Los espacios o ambientes dentro del solar, terreno o plano, se pueden orientar, ubicar, rodar y girar 360°, según los puntos cardinales.

El programa puede modificar y dimensionar las formas y figuras de los espacios o ambientes (Largo x ancho x altura), colorear, copiar, escribir, intersecar, dividir, insertar elementos, escalar, zoom (agrandar-achicar), calcular área m² y volumen m³, determinar escala de dibujo, entre otros.

El programa dibuja la ubicación, zonificación y orientación de los espacios distribuidos en el área dimensionada del solar, o superficie de terreno al este, sur, norte, oeste.

El programa avisa: "No acepta mas elementos", porque el tamaño de los espacios o la cantidad a ubicar excede el área o las dimensiones del lado donde se quieren poner.

El programa dibuja el diagrama de funcionamiento o plan maestro, de forma bidimensional, por capas o niveles y tridimensionalmente.

El programa permite guardar en formato .DXF los diagramas (de relaciones en 2D, plan maestro en 2D y plan maestro en 3D) para que se puedan usar en otros programas. Por ejemplo: AutoCAD y otros.

El programa permite al usuario generar diagramas como el de la fig.11 o la fig.12, si no se utilizan los puntos cardinales o las áreas.

- **IMPORTANTE:** Si el programa generara varias soluciones factibles, de acuerdo a las relaciones, el usuario puede limitar el número de resultados. Por ejemplo: guardar solo las 2, 3, 4 primeras soluciones.



Certificado de registro del programa ZOSOE

SOBRE EL AUTOR:

Es arquitecto y profesor de diseño en la UNPHU.
Correo: marino.esn @ gmail.com



**Oficina de Ingenieros Supervisores
de Obras del Estado, OISOE**

Contribuyendo con la formación del profesional de la ingeniería
y la arquitectura



Ilustración: Wilson Morfè

Foto: National Advanced Driving Simulator
Universidad de Iowa.

USO DE SIMULADORES DE CONDUCCIÓN PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES Y MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS CARRETERAS

Por: Didier Valdés, Benjamín Colucci, Enid Colón Torres, Ricardo García Rosario, Johnathan Ruiz González, Bryan Ruiz Cruz y Yindhira Taveras

RESUMEN

Los simuladores de conducción son herramientas costo-efectivas para el campo de la investigación y sirven para evaluar el comportamiento del conductor en temas relacionados a la medicina, psicología, educación y la ingeniería a nivel general.

La simulación puede ser utilizada para evaluar aspectos operacionales y de seguridad de sistemas de transporte nuevos o existentes sin exponer al conductor a un daño físico.

Este artículo comienza presentando una metodología desarrollada por el equipo de investigación de transporte de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez (RUM) para hacer estudios relacionados con el comportamiento de los conductores en miras de mejorar la seguridad de todos los usuarios. Para complementar la

metodología presentada se incluye información relacionada con varios tipos de simuladores de conducción y en particular lo relacionado con el simulador tipo cabina del RUM.

La aplicación de la metodología se ilustra mediante varias aplicaciones prácticas que incluyen estudios con plazas de peaje y sistemas electrónicos de peaje, seguridad en zonas escolares, seguridad para conductores y trabajadores en zonas de construcción, seguridad del diseño de intersecciones innovadoras y seguridad al conducir bajo los efectos del alcohol, entre otros.

Los simuladores de conducción son excelentes herramientas de investigación y sus beneficios pueden resultar en la implementación de soluciones que puedan mejorar la seguridad y operación de sistemas de carreteras en cualquier país.

INTRODUCCIÓN

Los simuladores de conducción comenzaron a utilizarse a partir de la década de los sesenta con el propósito de desarrollar nuevas herramientas que sirvan de entrenamiento, demostraciones e investigación (Fisher et al. 2011).

Estos simuladores están compuestos por equipos electrónicos, como computadoras, servidores, proyectores y elementos de un vehículo, que representen el efecto de conducir en la vida real en un ambiente virtual.

Además de los simuladores de conducción, hoy en día existen otras plataformas de simulación que permiten recrear un ambiente virtual en donde la persona puede ser un peatón, ciclista o puede conducir un vehículo de todo terreno, embarcación o avión.

Una de las aplicaciones más utilizadas de los simuladores de conducción ha sido en la investigación. Estas herramientas tecnológicas nos permiten evaluar el comportamiento del conductor bajo diferentes y variadas circunstancias sin exponer al participante a un daño físico.

Algunos ejemplos del uso de simuladores de conducción en la investigación incluyen estudiar el efecto de medicamentos en los conductores, el entrenamiento de conductores jóvenes, la evaluación de sistemas de transporte nuevos y existentes, y el comportamiento del conductor en situaciones particulares que representen riesgo a su seguridad o a la seguridad de otros usuarios de la vía.

Existen diversos tipos de simulador de conducción, donde el equipo necesario para operar el simulador depende de los

objetivos y los fondos disponibles del estudio que se quiere realizar. Los simuladores más comunes se componen de una computadora de escritorio con tres monitores (para proyectar la simulación), un volante, pedales de aceleración y freno, señales de cambio de carril y una silla para el conductor.

Este tipo de ensamblaje es costo-efectivo para realizar ciertos tipos de investigaciones.

Sin embargo, el tamaño de los monitores y la falta de elementos que componen un vehículo real pueden restar fidelidad y la experiencia de la simulación percibida por el participante.

Otros simuladores de conducción incluyen el uso de una cabina de un vehículo con un espectro visual más amplio provisto por un conjunto de pantallas y proyectores y un sistema de sonido.

Simuladores de conducción más sofisticados y costosos utilizan un vehículo a escala real e incorporan partes hidráulicas para recrear los movimientos de conducir, como por ejemplo el NADS en la Universidad de IOWA, están correlacionadas con otros estímulos sensoriales, proporcionando la experiencia de conducción con la más alta fidelidad en un entorno simulado.

Por otra parte, a medida que se incorporan elementos que mejoran la experiencia de la simulación aumenta la posibilidad de que los participantes padezcan de cinetosis (mareos) a consecuencia de la simulación ("simulation sickness" por su terminología en inglés).

Esta condición puede ser más común en personas de edad avanzada. Sin embargo, algunos estudios han encontrado que los mareos causados por la simulación están relacionados a los grados de libertad del vehículo, el tiempo y la cantidad de veces que el sujeto corre la simulación y la edad del participante (De Winter, J.C.F et al, 2012).

Esto significa que la posibilidad de que algún sujeto padezca de mareo puede ser menor si se evalúan pocos escenarios que sean de un corto periodo de tiempo.

Los simuladores de conducción proveen grandes beneficios para estudiar sistemas de carreteras existentes, diseño de futuros corredores y evaluación de dispositivos de control de tráfico (TCD por sus siglas en inglés).

Esta herramienta costo-efectiva sirve para investigar diferentes situaciones y proveer conclusiones y recomendaciones con base científica, que permitan mejorar la seguridad de los sistemas de transporte y aportar a su desarrollo.

Los simuladores de conducción han sido utilizados en el campo investigativo de la ingeniería vial para evaluar el comportamiento del conductor. Ejemplos representativos de la aplicación de esta herramienta son: (Fitzpatrick, 2013, Gómez, 2011).

La metodología y las aplicaciones que se presentan en este ensayo, forman parte de una línea de investigación que se ha desarrollado en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (RUM) con relación a varios aspectos de seguridad vial y el uso de simuladores de conducción.

Las investigaciones reportadas forman parte de varios proyectos sobre el tema que se han llevado a cabo por un grupo de investigadores de las siguientes universidades: Universidad de Iowa (UI), Universidad de Wisconsin en Madison (UW), Universidad de Florida Central (UCF), Universidad de Massachusetts en Amherst (UMass-Amherst) y Universidad de Puerto Rico en Mayagüez (RUM), que forman parte del Centro Universitario de Transporte SAFERSIM (UTC-SAFERSIM, por sus siglas en inglés).

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es presentar una metodología para realizar investigaciones en el campo de la seguridad vial, utilizando simuladores de conducción como herramienta para evaluar la seguridad de diversos sistemas de transporte y el comportamiento del conductor.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Presentar los detalles de los diferentes pasos de la metodología utilizada para llevar a cabo estudios de investigación utilizando un simulador de conducción
2. Presentar ejemplos de aplicación de la metodología descrita correspondientes a proyectos de investigación que se han llevado a cabo en la UPRM.

METODOLOGÍA

La Figura 1 presenta un flujograma de la metodología desarrollada que muestra en detalle los pasos necesarios para llevar a cabo un proyecto de investigación utilizando un simulador de conducción.

Esta metodología es similar a la de otros proyectos de investigación, pero incluye los pasos específicos relacionados con los simuladores y el uso de varios programas para generar escenarios de simulación lo más ajustados posible a la realidad observada.

Como se puede observar en la Figura 1, la metodología incluye identificación del problema, definición de variables, creación del escenario base, diseño de experimento, creación de escenarios del experimento, corrida del experimento, toma de datos, creación de base de datos, cómputos estadísticos, análisis, conclusiones y recomendaciones.

A continuación, se discute cada uno de estos pasos y se presentan detalles particulares para los pasos relacionados específicamente con los simuladores de conducción.

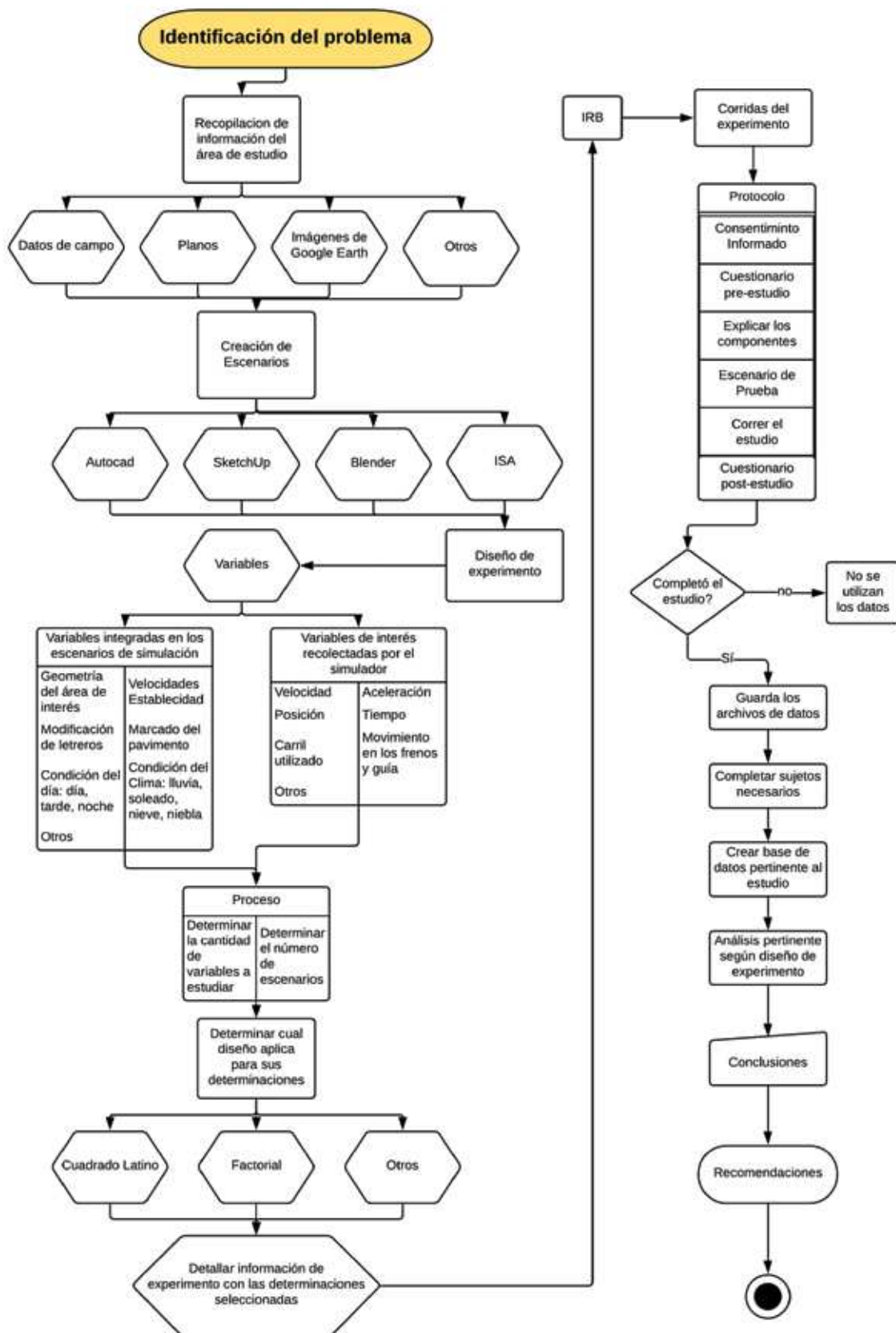


Figura 1. Metodología utilizada en el RUM para realizar estudios con simulador de conducción.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la etapa inicial asociada a la definición del problema, al igual que en la mayoría de los temas de investigación, se establece, con la mayor claridad posible cual es la situación conflictiva que se presenta y qué se desea investigar utilizando un simulador de conducción.

A manera de ejemplo, en el RUM se ha estado trabajando en temas de seguridad vial relacionados con plazas de peaje y sistemas electrónicos de peaje, seguridad en zonas escolares, seguridad para conductores y trabajadores en zonas de construcción, seguridad del diseño de intersecciones innovadoras y seguridad al conducir bajo los efectos del alcohol, entre otros.

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Típicamente, los problemas que se identifican se pueden asociar a segmentos particulares de carreteras o zonas urbanas o rurales completas que presentan las características típicas que se quieren estudiar.

En esta etapa de la metodología se recopila información, planos de diseños del área de interés, videos recopilados del área o imágenes provenientes de programas como Google Earth®, Google Maps®, especialmente la aplicación de Street View u otros programas de visualización de áreas geográficas que contribuyan a crear los segmentos viales que se estarán utilizando para simular la realidad y llevar a cabo el estudio.

Una vez entendido el problema a estudiar y recopilada la información del área a ser estudiada, se lleva a cabo un proceso iterativo en el cual se

crean los escenarios, se definen las variables de estudio y se hace el diseño de experimento adecuado para el caso particular que se desea estudiar.

CREACIÓN DE ESCENARIO BASE

La forma de llevar a cabo esta parte de la metodología va a depender de la compañía que produce los simuladores y en particular de los programas que utiliza para crear escenarios.

En este artículo técnico estaremos trabajando con los procedimientos relacionados a la creación de escenarios para un simulador que haya sido ensamblado por la compañía Realtime Technologies Inc. (RTI).

Si se desea crear escenarios ajustados a la realidad observada que típicamente incluye elementos del sistema vial que no están disponibles en los programas que vienen incluidos con el ensamblaje original del simulador, es necesario llevar a cabo un proceso inicial de generación de imágenes 3-D del sistema que se quiere simular.

Esta parte del proceso de creación de escenarios incluye el uso de varios programas de diseño asistido por computadora.

Se utiliza AutoCAD® para representar la geometría de la carretera y generar el diseño en planta lo más detallado posible.

Luego se utiliza el programa SketchUp® 2014 para importar el diseño creado en AutoCAD®, darle textura a los elementos en planta y crear elementos nuevos en 3 dimensiones (particulares de cada escenario) para incorporarlos a la simulación.

Una vez creados los ambientes en este programa, se exporta el archivo al programa computacional Blender® donde se generan los archivos con la extensión apropiada (.wrl) para ser reconocidos por el programa Internet Scene Assembler (ISA®), que es el programa principal para la creación

de escenarios de los simuladores de conducción de la compañía RTI (Realtime Technologies Inc.).

Una vez creado el ambiente virtual ajustado a la realidad observada, se procede a completar el ambiente virtual con el programa ISA, incorporando elementos incluidos por "default" para la creación de ambientes virtuales típico, como son los relacionados con señalización, edificaciones y vegetación, entre otros.

Además, se utiliza este programa para definir las características de los elementos relacionados con el tránsito vehicular que circulará en la simulación junto al vehículo que estará conduciendo el sujeto de investigación.

Este ambiente virtual se incorpora en los programas SimCreator® y SimVista® que son los encargados de crear la comunicación entre el ambiente virtual y los elementos del simulador que generan los datos que se recopilan y están relacionados con la conducción del sujeto de investigación, tales como el guía, los controles de cambio de carril y los pedales de freno y aceleración.

DEFINICIÓN DE VARIABLES

Dependiendo del problema a estudiar, se definen las variables a ser integradas en los escenarios y las variables de respuesta que se van a capturar durante los experimentos.

Las variables por estudiar pueden estar relacionadas, por ejemplo, a la comparación entre dos escenarios (un escenario base y una alternativa de diseño/operación), o se pueden investigar los efectos de distintos periodos de día y noche, cambios en las condiciones climáticas o en las condiciones de la vía, distintos sistemas de señalización, etc.

Con relación a las variables de respuesta que se pueden recopilar por el sistema del simulador de conducción del RUM, estas incluyen 35 variables relacionadas con el sujeto de simulación y la forma como conduce.

Las variables más utilizadas para hacer los análisis son la velocidad, aceleración, desviación estándar de la aceleración (Ruido de Aceleración). Esta variable se ha utilizado como una medida sustituta de la frecuencia del choque y un indicador potencial de la calidad del flujo de tráfico que pueden experimentar los conductores individuales (Boonsiripant, S., 2009), la posición lateral del vehículo en la vía, la desviación estándar de la posición lateral, frenado, entre otras.

Otras variables relacionadas con el comportamiento del sujeto de simulación pueden ser capturadas por aditamentos adicionales al sistema de simulación.

Uno de estos aditamentos es el "eye tracker". Este aditamento permite identificar el área específica de la pantalla hacia donde el conductor está dirigiendo la mirada en todo momento.

Recopilando esta información, se pueden obtener datos importantes para analizar diversos problemas relacionados con la seguridad en la conducción.

DISEÑO DE EXPERIMENTO

De acuerdo con la situación particular que se desea estudiar, se lleva a cabo un diseño de experimento apropiado definiendo claramente las variables de respuesta y las variables explicativas.

Hay diferentes tipos de diseño de experimento que se recomiendan en función de la investigación que se esté desarrollando.

El diseño tipo cuadrado latino resulta conveniente en algunos de los estudios con simuladores debido a que el arreglo aleatorio de la secuencia en que se corren los escenarios permite hacer inferencias estadísticas apropiadas con los valores típicos de nivel de confianza, mientras permite trabajar con un número no muy alto de sujetos de investigación.

Sin embargo, no todos los casos cumplen con las características particulares necesarias para este tipo de diseño, en cuyo caso se recurre a los diseños más tradicionales, como son los diseños factoriales.

De todas maneras, es necesario controlar el número de niveles de cada factor para evitar que se requiera un número muy alto de sujetos de investigación.

Los detalles de la metodología relacionada con diseños de experimentos se encuentran en variadas referencias disponibles.

CREACIÓN DE ESCENARIOS

Una vez se define el diseño de experimento, se tiene claridad de los factores que se van a modificar en el escenario base para obtener los escenarios del experimento.

Por ejemplo, si uno de los factores que varía es el ancho del carril, se debe construir un escenario diferente para cada uno de los anchos de carril que se desean probar con los sujetos de investigación.

CORRIDAS DEL EXPERIMENTO

Un paso previo a las corridas de los experimentos consiste en obtener aprobación del Comité para la protección de los seres humanos en la investigación o Junta de Revisión Institucional (IRB por sus siglas en inglés).

Este paso no necesariamente aplica a todos los países, sin embargo, es muy importante para los investigadores en Puerto Rico, Europa y los Estados Unidos. De todas maneras, es importante tener una formación adecuada en cuanto a la investigación con seres humanos para llevar a cabo experimentación en simuladores de conducción.

Además, se debe cumplir con todos los requisitos de respeto y consideración con los sujetos de investigación antes, durante y después de llevar a cabo los experimentos. Aunque en la mayoría de los casos los comités de IRB no presentan objeciones para llevar a cabo experimentos con simuladores de conducción, cada estudio es analizado por el IRB antes de proceder a tomar los datos.

Antes de llevar a cabo los experimentos, cada sujeto de investigación provee información demográfica general y firma una hoja de consentimiento informado en la cual se le explica la naturaleza de los experimentos que se llevan a cabo y se le indican los riesgos que típicamente son mínimos.

Inmediatamente después se pasa al laboratorio donde el sujeto de investigación comienza manejando en un escenario genérico para familiarizarse con el simulador.

Aquí se le indica al conductor que las características del simulador son un poco diferentes a las de su vehículo personal, por lo tanto, puede asumir que se trata de un vehículo alquilado (por ejemplo) y por lo tanto se debe acostumbrar primero a las condiciones del laboratorio para que no se creen factores externos que influyan en los resultados de los experimentos.

Si en algún momento a lo largo de las corridas de los experimentos un sujeto experimenta mareos u otra condición, los experimentos se suspenden inmediatamente. Una vez se concluye con las corridas de los experimentos, se agradece la participación de los sujetos de investigación y se procede a guardar los datos y la documentación para asegurar la confidencialidad total de la información obtenida.

RECOPIACIÓN DE DATOS

Las fuentes de información principal son los datos demográficos obtenidos antes de correr los experimentos y los datos obtenidos directamente en el sistema computarizado que corre la simulación.

A medida que se corren los experimentos, van quedando grabados los datos de las 35 variables que genera la simulación cada 0.02 segundos. Estos datos se agrupan y se genera una base de datos con aquellas variables que sean de interés para cada estudio en particular.

CREACIÓN DE BASE DE DATOS

Luego de haber realizado varios proyectos con los simuladores, el equipo de investigación ha ido desarrollando bases de datos que leen los archivos computacionales con la información recopilada en cada experimento y sacan las variables que se desea analizar.

Se han desarrollado bases de datos que preparan la información para hacer los análisis estadísticos con el programa R® y otras que permiten graficar la información de las variables seleccionadas (velocidad, aceleración, posición lateral) para hacer los análisis detallados en los segmentos que mejor representen el fenómeno que se esté estudiando.

En la UPRM se ha creado una aplicación con el Programa R®, R Studio® y Shiny, en la cual se pueden crear las bases de datos con los archivos recopilados del simulador. Esta aplicación le permite al experimentador seleccionar las variables con las que quiere trabajar y guardar esta base de datos.

CÓMPUTOS ESTADÍSTICOS

Las bases de datos generadas se utilizan para hacer cómputos estadísticos que incluyen estadísticas descriptivas, medidas de dispersión y de tendencia central, al igual que pruebas de hipótesis e inferencias estadísticas con base en el diseño de experimentos. Es necesario tener cuidado con los cómputos que se reportan debido a la cantidad de datos autocorrelacionados que se están analizando, puesto que para diferentes segmentos se miden las variables de un mismo sujeto.

En otras palabras, hay varios datos que corresponden al mismo sujeto y se utilizan para hacer inferencias con respecto a la información obtenida en diferentes segmentos del sistema simulado. Algunos de los métodos utilizados son, por ejemplo, la prueba F, la cual compara las varianzas de la muestra de datos entre configuraciones de escenarios.

El hecho de realizar varias pruebas con los mismos datos provoca un tipo de error llamado "family wise error", para eliminarlo se han utilizado correcciones de Bonferroni.

De igual manera, para comparar configuraciones se han utilizado modelos de regresión lineal multivariable (Valdés et al, 2016) en el cual se realiza una prueba ANOVA en conjunto con una prueba Tukey para eliminar la posibilidad de errores tipo I.

Los detalles relacionados con los cómputos estadísticos de cada estudio se definen individualmente de acuerdo con sus características particulares.

Para estos cómputos estadísticos se utilizan varias herramientas informáticas, algunas comúnmente usadas son: RStudio (R®), SAS®, MINITAB®, ESTATA®, SPSS®, PYTHON®, MATLAB® EXCEL®, entre otros.

En este artículo, además de la metodología utilizada por el RUM para los estudios realizados con el simulador de conducción, se presenta a continuación un breve resumen de algunas de las características principales y los componentes de los simuladores más utilizados para investigación.

SIMULADOR DE CONDUCCIÓN

Existe una variedad de simuladores de conducción y las características de cada uno varían de acuerdo con los elementos que los componen. Los simuladores están compuestos por tres elementos principales: el componente visual, los elementos del vehículo (que el sujeto controla) y el equipo hardware y software que permite correr la simulación.

Por ejemplo, existen simuladores de escritorio que están compuestos por un asiento, volante y pedales de aceleración/desaceleración. Este tipo de simulador proyecta la

simulación a través de una computadora y una serie de monitores o proyectores con pantallas que permiten un rango visual más amplio.

Similarmente, los simuladores tipo cabina como el del RUM permiten incluir otras características del vehículo, incluyendo el asiento del conductor en una plataforma creando la sensación de estar dentro de un vehículo. Las Figuras de la 3 a la 5 muestran algunos ejemplos de los diferentes tipos de simuladores.



Imagen 2. Simulador de Escritorio de la Universidad de Iowa (Fuente: <http://www.nads-sc.uiowa.edu>)

Sin embargo, existen otros simuladores de conducción que están compuestos por un vehículo completo a escala real que tienen grados de 1 a 13 grados de libertad de movimiento.

Ejemplos de simuladores con movimiento son el simulador de la Universidad de Madison, Wisconsin y el simulador de la Universidad de Iowa.

Esta simulación permite crear una experiencia virtual lo más cercano a la realidad, donde la simulación recrea los

movimientos que ocurren en el vehículo al girar, acelerar y frenar.

Sin embargo, a medida que se incluyen elementos a la simulación, se incrementa la posibilidad de que el sujeto que conduce el simulador padezca de algún mareo.

Sin embargo, estudios demuestran que el reducir la cantidad de escenarios y el tiempo de duración de estos puede ayudar a reducir la posibilidad de que ocurran mareos en los participantes.

Imagen 3. Simulador de Conducción de la Universidad de Madison, Wisconsin (Fuente: <http://www.topslab.wisc.edu>)



DESCRIPCIÓN SIMULADOR RUM

El simulador de manejo de la Universidad de Puerto Rico, en Mayagüez es el primero de su clase en la isla. Este es utilizado para estudiar el comportamiento del conductor ante situaciones virtuales proyectadas.

Este simulador de conducción es tipo cabina que consiste en un asiento de un vehículo, un volante, palanca de cambios, pedales de aceleración y freno, sistema de sonido y tres proyectores con su respectiva pantalla, las cuales están colocadas a un ángulo específico para darle una imagen panorámica a los escenarios virtuales realizados. Esta cabina está hecha de un marco de madera y seis ruedas, lo cual lo permite ser móvil.

La versión móvil de este simulador utiliza la misma cabina de conducción con una configuración de proyectores colocados en un andamio detrás del asiento. Al igual que los proyectores, se tienen tres pantallas plegadizas donde se proyecta la imagen de los escenarios desarrollados.

Para poder desarrollar los escenarios virtuales se requiere utilizar una computadora con una tarjeta de video Nvidia GeForce GTX 1080 o similar y el programa de RTI SimCreator/SimVista el cual conecta todos los componentes del vehículo con la computadora y recopila los datos.



Imagen 4. Versión Móvil del Simulador de Conducción de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez presentado en el Megaviernes Civil del Instituto de Ingenieros Civiles IIC del Colegio de Ingenieros y Agrimensores (CIAPR) de Puerto Rico.

ESTUDIOS REALIZADOS CON LA METODOLOGÍA PRESENTADA

La metodología presentada en este ensayo ha sido utilizada en varios estudios que se describen aquí a manera de ejemplo de las aplicaciones potenciales de los simuladores de conducción para investigar aspectos relacionados con la seguridad vial: Para mayor nivel de detalle de los estudios ya publicados, se incluyen las referencias según la cita colocada al final de cada resumen.

ESTUDIOS REALIZADOS EN EL SUR DE PUERTO RICO



Imagen 5.
Localización de los
proyectos de inves-
tigación en Puerto
Rico

PLAZA DE PEAJE CAGUAS SUR

El primer estudio de plazas de peaje se enfocó en evaluar dos tipos de configuración de señalizaciones en las cercanías de la plaza de peaje de Caguas Sur.

Las dos configuraciones evaluadas consistían en las señalizaciones existentes, localizadas en los lados de la vía de rodaje, y la propuesta, donde los rótulos están ubicados en pórticos metálicos elevados y los letreros quedan en la parte superior de la carretera.

Se utilizó el cuadrado latino como diseño de experimento con un total de 20 sujetos participantes.

Diez sujetos condujeron 12 escenarios con la señalización existente (Configuración 1) y los otros 10 corrieron 12 escenarios con la señalización en los pórticos metálicos localizados sobre la vía de rodaje (Configuración 2).

En este estudio se utilizaron las variables dependientes velocidad promedio, ruido de aceleración y la desviación estándar de la posición del vehículo en la carretera para evaluar el desempeño de los participantes. (Valdés, 2015, Valdés, 2016a, Valdés, 2016b)

CARRIL DE PEAJE DINÁMICO “DYNAMIC TOLL LANE”

El segundo estudio de peajes se enfocó en la evaluación de los efectos de la condición del día, la velocidad límite rotulada y el ancho carril en los sujetos participantes dentro de un carril expreso en un peaje dinámico.

Cada variable independiente se evaluó en tres niveles: la condición del día se evaluó en las condiciones día, tarde y noche; la velocidad límite rotulada se evaluó con velocidad límite de 45 mph (condición existente), 55 mph y 65 mph, y

por último el ancho de carril, en 10, 11 y 12 pies (condición existente). Se utilizó un diseño factorial con un total de 27 sujetos con tres escenarios representativos.

Una vez finalizadas todas las corridas se analizaron los datos obtenidos. Al igual que el primer estudio, se utilizaron las variables dependientes velocidad promedio, ruido de aceleración y la desviación estándar de la posición del vehículo en la carretera. (Ruíz, et al, 2017).

ZONAS ESCOLARES Y USUARIOS VULNERABLES

De zonas escolares y usuarios vulnerables se han realizado dos estudios de simulación de conducción, estos evaluaron tanto la velocidad, como el comportamiento de los conductores frente a usuarios vulnerables y zonas escolares. El primero en una arteria urbana dividida en varios carriles, junto a múltiples desarrollos residenciales y una zona escolar, en el Municipio de Mayagüez, Puerto Rico.

En este caso se evaluaron los efectos en el comportamiento del conductor cuando un peatón cruza la calle en medio del segmento. Se tuvieron en cuenta las condiciones de iluminación y señales de advertencia. Se utilizó un diseño factorial y se evaluaron 24 sujetos.

El segundo evaluó las velocidades de los conductores en una zona escolar existente en el Municipio de Aguadilla, Puerto Rico, además se evaluaron diferentes propuestas de configuraciones de señalización que intentan influir en la disminución de la velocidad de los conductores en las zonas escolares.

Se utilizó un diseño factorial y se evaluaron 36 sujetos. (Valdés, 2019a, Valdés, 2019b, Valdés, 2019c)

ZONAS DE CONSTRUCCIÓN

El objetivo en este estudio era determinar si tener un GPS activo al manejar en diferentes condiciones en una zona de construcción en una carretera afectaba el desempeño del conductor y la seguridad vial, en términos de velocidad, aceleración y posición lateral.

Las condiciones incluían el cierre de un carril (izquierdo o derecho) o el cierre del paseo. Se utilizó un diseño cuadrado latino, se evaluaron 24 sujetos, doce escenarios, y en alguno de estos escenarios se incluyó además la presencia de un trabajador distraído que invadía el espacio del tráfico. (Valdés, et al, 2018)

ALCOHOL

En este tema de alcohol se están trabajando dos proyectos, el primero involucra la evaluación del comportamiento de conductores jóvenes de escuela secundaria, en una vía urbana, en un simulador de conducción, utilizando los "Drunk Booster Goggles", lentes que simulan los efectos en la visión del conductor de diferentes niveles de alcohol.

El objetivo es crear programas de educación basados en los

comportamientos observados durante la simulación. Este proyecto está en proceso de colección de datos.

El otro experimento nos permitirá evaluar el efecto del aumento de las cantidades de consumo de alcohol en las capacidades de conducción segura.

La sensación de seguridad de los conductores, tal como la perciben, se contrastará con la tarea y la carga de trabajo reales realizadas en el simulador de conducción de la UPRM.

La carga de trabajo al conducir bajo los efectos de alcohol se medirá con un equipo que mide la función cerebral y genera electroencefalogramas de los sujetos participantes en la simulación.

INTERSECCIONES NO CONVENCIONALES

En este tema se está trabajando en una Intersección tipo Diamante Divergente o "Diverging Diamond Interchange" (DDI, por sus siglas en inglés). Se quiere evaluar la señalización, las marcas en el pavimento y las características geométricas del diseño del primer DDI propuesto en Puerto Rico, antes de su construcción y según los resultados proponer mejoras que ayuden a una mayor seguridad vial de los usuarios.

Se abordarán preguntas de investigación como las siguientes: ¿Los conductores condujeron correctamente por el DDI en su primera experiencia? ¿Los conductores experimentaron confusión mientras conducían en este escenario desconocido? ¿Se requieren marcas y señales adicionales en el pavimento para mejorar el funcionamiento del DDI?.

CONCLUSIÓN

Este artículo ha presentado los detalles de los diferentes pasos de la metodología que se ha ido desarrollando a través de los años en el RUM para llevar a cabo estudios de investigación utilizando un simulador de conducción.

Esta metodología se ha utilizado para hacer estudios de investigación bajo el consorcio UTC-SAFERSIM y es una modificación y adaptación de los métodos utilizados desde hace varios años en las otras universidades pertenecientes a este consorcio.

Los resultados obtenidos mediante estas investigaciones han sido publicados en diferentes conferencias y revistas haciendo un aporte al estado del conocimiento en seguridad vial.

Además, los hallazgos obtenidos podrían ser considerados en revisiones futuras de los manuales de diseño y operación que se utilizan en la práctica.

REFERENCIAS

- Boonsiripant, S. (2009) Speed Profile Variation as a Surrogate Measure of Road Safety Based on GPS-Equipped Vehicle Data (Doctoral dissertation). Retrieved from Georgia Tech University Database.
- Chung, C. & Gartner, N. (1973). Acceleration Noise as a Measure of Effectiveness in the Operation of Traffic Control Systems. Retrieved from Operations Research Center Massachusetts Institute of Technology.
- De Winter, J.C.F., Van Leeuwen, P.M., & Happee, R. (2012) Advantages and Disadvantages of Driving Simulators: A Discussion. Department of BioMechanical Engineering, Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering. Delft University of Technology, the Netherlands.
- Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. (2009 ed.). Washington, D.C. United State Department of Transportation.
- Fitzpatrick, K., Chrysler, S., Nelson, A., & Iragavarapu, V. (2013). Driving Simulator Study of Signing for Complex Interchanges. TRB 92nd Annual Meeting Compendium of Technical Papers. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
- Gómez, R.A., Samuel, S., Roman, L., Romoser, M., Collura, J., Knodler, M., & Fisher, D. (2011). Do Advance Yield Markings Increase Safe Driver Behaviors at Unsignalized, Marked Midblock Crosswalks: A Driving Simulator Study. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting Compendium of Papers, Washington, D.C., USA.
- National Advanced Driving Simulator. (2017). Simulador de Escritorio de la Universidad de Iowa [imagen digital]. Retrieved from <http://www.nads-sc.uiowa.edu/>
- National Advanced Driving Simulator. (2017). Simulador de Conducción de la Universidad de Iowa llamado National Advanced Driving Simulator (NADS) [imagen digital]. Retrieved from <http://www.nads-sc.uiowa.edu>
- Ruiz, B., Valdés, D., Colucci, B., Ruiz, J., García, R., & Colón, E. (2017). Operational and Safety Analysis of Signage and Pavement Marking Treatments in Puerto Rico Dynamic Toll Lane Using a Driving Simulator. *Advances in Human Aspects of Transportation*, 867–877. doi:10.1007/978-3-319-60441-1_83
- Valdés, D., Colucci, B., Fisher, D., Valdes, J., Colón, E., García, R. & Rivera, J. (2015). Operational and Safety-Based Analysis of Toll Plaza Signage using Driving Simulation. *Advances in Transportation Studies*. 2016 Special Issue, Issue 1, p23-36. 14p.
- Valdés, D., B. Colucci, D. Fisher, J. Ruiz, E. Colón, and R. García. (2016). Driving Simulation in the Safety and Operation Performance of the Freeway Toll Plaza. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2602, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., USA.
- Valdés, D., B. Colucci, D. Fisher, J. Ruiz, B. Ruiz, E. Colón, & R. García. (2016). Uso de Simulador de Conducción para Evaluar el Desempeño de Seguridad en Plazas de Peaje en Puerto Rico. XIX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística. Ciudad de México, México.
- Valdés, D., López, C., Colucci, B., Figueroa, A., García, R., Colón, E., Rojas, M., Taveras, Y., Ramos, I., and Arroyo, C. (2018). Assessing the Impact of Smartphone Usage while Driving in Work Zones. SAFER-SIM University Transportation Center. <http://safersim.nads-sc.uiowa.edu>
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Colón, E., Rojas, M., García, R., Taveras, Y., Ramos, I., and Arroyo, C. (2019). Enhancing School Zone Safety: Case Studies in Puerto Rico Using Driving Simulation. SAFER-SIM University Transportation Center. http://safersim.nads-sc.uiowa.edu/final_reports/C%203%20Y1%20UPR%20_Final%20Report.pdf
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Colon, E., Rojas, M., Garcia, R., Arroyo, C., Ramos, I. & Taveras, Y. (2019). Operational Analysis of School Zones Using a Driving Simulator. *Driving Simulation in Smart Mobility Analysis*. International Conference on Transportation and Development 2019. doi:10.1061/9780784482575.024
- Valdés, D., Colucci, B., Figueroa, A., Rojas, M., & Colón, E. (2019). Evaluation of Driver Performance in an Urban Arterial Highway Using a Driving Simulator. *Road Safety and Simulation conference*. IOWA City.
- Wisconsin Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory. (2017) Simulador de Conducción de la Universidad de Madison, Wisconsin [imagen digital]. www.topslab.wisc.edu/content/simulator.

SOBRE LOS AUTORES:

Didier Valdés¹, Benjamín Colucci¹, Enid Colón Torres¹, Ricardo García Rosario¹, Johnathan Ruiz González¹, Bryan Ruiz Cruz¹ y Yindhira Taveras².

1 Depto. de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico Recinto Mayagüez, P.R.

2 Universidad Autónoma de Santo Domingo, UASD, S.D. República Dominicana y UPRM.

Correos: Didier.valdes@upr.edu, Benjamin.colucci1@upr.edu, Enid.colon1@upr.edu, Ricardo.garcia5@upr.edu, Johnathan.ruiz1@upr.edu, Bryan.ruiz@upr.edu, ytaveras27@uasd.edu.do



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: OBRA DE TRASCENDENCIA HISTÓRICA



La planta de tratamiento Mirador Norte, La Zurza, que construye la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD) es una de las decisiones de mayor trascendencia asumida en las últimas cinco décadas por el Estado dominicano, toda vez que, por primera vez se implementa una política institucional en procura de encontrar soluciones reales al saneamiento de las aguas residuales producidas en el Distrito Nacional y en la provincia Santo Domingo.

Veinte y siete millones de galones de aguas contaminadas son recibidos diariamente por los ríos Ozama e Isabela, pero en los próximos meses se da por descontado que volverán al mismo destino completamente saneadas, lo que contribuirá con las acciones de recuperación de esos importantes afluentes hídricos.

Hay que valorar este proyecto que ejecuta el gobierno del presidente Danilo Medina, a través de la CAASD, en tanto con el mismo se procura robustecer el mejoramiento de los niveles socio-económicos de alrededor de 500 mil personas que disfrutarán de las bondades de esta grandiosa obra.

Con la implementación de este proyecto, centenares de miles de dominicanos elevarán sus niveles de vida con el mejoramiento de la salubridad y los positivos índices socio-económicos que se incrementarán en su favor tras la culminación de esta obra, que se inscribe dentro de las acciones que implementa el Gobierno en beneficio de la sociedad dominicana.

Tan pronto sean saneadas esas aguas residuales, el litoral Sur de la ciudad capital reducirá igualmente su grado de contaminación, en cuya obra el Gobierno invierte los recursos necesarios para conjurar un problema que afecta al medio ambiente, los recursos naturales, la salud y la economía.

Esta obra, supervisada personalmente por el director de la CAASD, arquitecto Alejandro Montás y un equipo de profesionales del organismo, y visitada en varias oportunidades por el jefe del Estado, forma parte del Plan Maestro de Alcantarillado Sanitario del Gran Santo Domingo, constituirá una real "revolución", porque no solo involucra el saneamiento de las aguas de los ríos Isabela y Ozama, sino que forma parte del proyecto turístico de convertir al Distrito Nacional en un efectivo destino turístico.

Sanear las aguas residuales que se producen en el Gran Santo Domingo, con la puesta en operación de la planta de tratamiento, tiene un valor inconmensurable que habla por sí sola de la importancia que tiene para el presente y futuro de la vida integral de más de cuatro millones de personas residentes en el Distrito Nacional y la provincia Santo Domingo.

Esta obra, cuyos trabajos de construcción quedaron iniciados durante una ceremonia presidida por el Presidente de la República, han marchado a pasos acelerados y cuya primera etapa está terminada, lo que se da por descontado que dentro de unos meses el país observará el valor de esta planta.

En el proyecto se han utilizado unos 20 mil metros cúbicos de concreto y 500 mil quintales de acero, se han instalado 28 kilómetros de tuberías y 36 kilómetros de cables eléctricos. Se concluyeron las obras civiles y el equipamiento de la planta de tratamiento, mientras se han colocado unos cuatro mil metros lineales de colectores, de 7,000 que contempla la obra.

Las autoridades de la CAASD se encuentran inmersas en este valioso proyecto, laborando a toda velocidad y a tiempo completo para que esta planta de tratamiento, posiblemente la más grande del área del Caribe, y en la que se invierten US\$110 millones, entre en operación en los primeros 90 días de 2019.

La ejecución de la obra ha sido observada por profesionales de las ingenierías, senadores, diputados, regidores, los alcaldes de los municipios que conforman el Gran Santo Domingo, estudiantes de todos los niveles de la educación y ciudadanos de los más de 37 sectores que se beneficiarán directamente.

La incuestionable realidad es que esta planta de tratamiento, ubicada en la avenida Jacobo Majluta, Mirador Norte, constituye una clara demostración de la capacidad gerencial del arquitecto Montás, con el respaldo del presidente Medina, quien entregará al pueblo dominicano una obra que todos debemos cuidar y valorar.

OBJETIVO FUNDAMENTAL DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es recolectar las aguas residuales que se descargan al río Isabela, en La Zurza, para beneficiar a 450 mil habitantes en los sectores de La Zurza, Capotillo, Miraflores, Luperón, Espaillat, La Fe, Villa Juana, Villas Agrícolas, Villa Consuelo, Simón Bolívar, San Juan Bosco, Kennedy, Cristo Rey (Parte) y los Guaricanos.

COMPONENTES DEL PROYECTO

Línea de impulsión de Ø1200 mm de PRFV, PN-16. Colectores hacia cárcamo de bombeo. Suministro y colocación de 1,690 ml de tubería de Ø24" PVC SDR-32.5. Suministro y 1,750 ml de tubería del mismo diámetro, pero de hormigón armado para instalarse con microtuneladora hincado.

Línea de impulsión de Ø1200 mm de PRFV, PN-10. Construcción de 43 registros sanitarios en ladrillos en profundidades de 00-5.00 m, y el levantamiento de 20 registros mediante sistema de pilotes secantes en profundidades de 3.00-13.00m.



Suministro y colocación de 5,530 ml de tubería de Ø1200 mm de PRFV, PN-10. Construcción de 12 registros de hormigón armado para válvulas de aire y vacío, 7 registros de hormigón armado para válvulas de desagüe. Se está realizando el armado del acero para la séptima fase muro fuste y resane del elemento.





Ilustración: Wilson Morfe

TRES MOMENTOS DE LA MODERNIDAD ARQUITECTÓNICA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

Por: Arq. Omar Rancier

PREÁMBULO

En los últimos 100 años la República Dominicana pasó de ser una sociedad rural, con el 60% de la población residiendo en el campo, a una sociedad urbana, con el 70% de la población viviendo en asentamientos humanos y que se adentra al proceso de la modernidad donde podemos identificar tres momentos de ese proceso:

1. Los Inicios de la modernidad (1900-1930). Periodo donde se realizan grandes cantidades de obras de infraestructuras, las principales realizadas por los Norteamericanos durante su

primera intervención de 1916 a 1924.

2. La Era de Trujillo: Modernidad y dictadura (1930-1961). Donde se entroniza una sangrienta dictadura que desarrolla una inteligente estrategia para colonizar el territorio dominicano y consolidar el poder omnímodo de Trujillo.

4. La democracia mediatizada y la globalización (1961-2010). Periodo que va de una democracia mediatizada a la globalización y donde la ciudad de Santo Domingo se convierte en una metrópolis descontrolada.

al detectar la profusión de establecimientos que tienen que ver con la escolaridad, negocios y estamentos relacionados, así como la proliferación de caminantes y ejercitantes que se multiplican con el aumento de las construcciones, sobre todo en altura y densidad que establecen las nuevas normativas de usos de suelos del ayuntamiento, las cuales aumenta gradualmente las densidades observadas, lo que explica dicha proliferación de elementos inherentes a la condición de todo conglomerado urbano.

LOS INICIOS DE LA MODERNIDAD (1900-1930)

El siglo XX se reconoce como el siglo de la modernidad. El desarrollo de la técnica a través de la llamada revolución industrial conforma una nueva sociedad cuyo desarrollo define la centuria.

Es en el siglo XX cuando en República Dominicana se invierte la ecuación urbano –rural y es, además, cuando se realiza, en sus últimos decenios, la mayor cantidad de transformaciones urbanas, algunas acertadas, pero la mayoría de una cuestionable eficacia. En términos demográficos, en el siglo XX pasamos de una sociedad rural, a ser una sociedad urbana.

Santo Domingo: 1900-1930

Una de las características principales de finales del siglo XIX y principios del XX es la importancia, en términos económicos, sociales y culturales, que adquirieron una serie de ciudades del interior del país.

Montecristi y Puerto Plata, al Norte; Samaná y Sánchez, en el Noreste; y San Pedro de Macorís, en el Este, desarrollaron una arquitectura relacionada con los destinos comerciales más frecuentes de estos puertos en el extranjero, mientras en la zona central: La Vega, Moca, Santiago, Pimentel, San Francisco de Macorís, se consolidaban como centros de acopio y distribución conectados con las poblaciones portuarias por la línea del ferrocarril.

Es en San Pedro de Macorís donde por primera vez se utilizará el material de la modernidad: el cemento armado.

El nivel de desarrollo de estos pueblos, las principales ciudades portuarias, queda demostrado, además de la consolidación de su estructura urbana, por hechos puntuales como el del establecimiento del primer banco comercial extranjero, en Sánchez, el Royal Bank of Canadá, y no en la ciudad Capital.

La modernidad y la invasión del 1916

La arquitectura como disciplina y la consolidación urbana en Santo Domingo, comienza a desarrollarse a partir de 1916, a raíz de la primera invasión norteamericana al país.

Antes que los norteamericanos tomaran el control, los esfuerzos de desarrollar el país habían sido abortados por el asesinato del presidente Ramón Cáceres, en 1911, quien “comenzó con la construcción de un nuevo ramal de Moca a Santiago del Ferrocarril Central Dominicano, que unía a Santiago y Puerto Plata.

Instaló nuevas líneas telegráficas para mejorar las comunicaciones; reconstruyó los puertos y muelles más importantes y dispuso la construcción de nuevos faros en las costas. Reorganiza el correo y dedicó fondos a la creación de escuelas, subiendo el número de unas 200 que había en 1904, a 526 en 1910.”

Así mismo, en esa época se van definiendo estructuras urbanas que serían fundamentales para el futuro de la ciudad de Santo Domingo, como el Paseo Presidente Billini, que de acuerdo con Pablo Morel “propuso por primera vez un uso de suelo recreacional a gran escala de todo el litoral sur, dándole

a la ciudad un contacto directo con el mar, cuyo uso popular transformó por completo la tradición de usar el río como área de esparcimiento"

A partir del 1916 la fuerza interventora organiza una Oficina de Obras Públicas que realiza una serie de trabajos "que ya habían sido planeados en el gobierno de Cáceres pero que habían sido suspendidas en 1911", sobre todos una red de carreteras que facilitó la comunicación del país, entre ellas la carretera Duarte, realizada en 1918, que comunicó el cibao con la capital.

La danza de los millones

El periodo más productivo, tanto en términos económicos como en el urbano y arquitectónico, y que por lo tanto definen un sendero hacia la modernidad, coincide con la Primera Guerra Mundial, en 1918, que ocasiona la subida de los precios de los productos que exportaba el país, principalmente azúcar, café, cacao y tabaco.

Un repunte similar a la "Danza de los Millones" ocurre hacia 1927, año que marca "...la cúspide de la prosperidad nacional (...) ahora se levantan modernas construcciones y edificios comerciales de concreto reforzado, algunos de ellos de varios pisos, como el edificio Baquero, construido en 1927 en la calle El Conde."

En los talleres de la Oficina de Obras Públicas se forma un grupo de los futuros arquitectos dominicanos, que ayudarían a dar forma a una ciudad moderna: entre ellos se encuentran Mario Lluberes y Guillermo González Sánchez.

Tipologías y Asentamientos

En términos urbanos Gascue ha sido el modelo de la arquitectura de los finales del siglo XIX y los primeros años del XX; la idea de la Ciudad Jardín a lo antillano es producto del desarrollo de una burguesía urbana que comparte las delicias de la vida campestre con el comercio urbano, construyendo sus casas solariegas en las afueras de la ciudad amurallada y de la nueva expansión llamada Ciudad Nueva.

A partir de los años 20 se produce la transformación de la calle El Conde en una calle cosmopolita que aloja estructuras

tan importantes como el edificio Baquero o el edificio Diez, ambos de la autoría de Benigno Trueba, que la estructuran como "la" calle comercial de la ciudad.

Santo Domingo pasa en ese interregno de 30 años, de ser una ciudad de poco más de un km² a una ciudad de 10 km². Se le anexan Carlos y los ensanches sucesivos que definen la

ciudad moderna de Santo Domingo, aquella que azotara el ciclón de San Zenón.

No obstante, Santo Domingo seguía siendo un pueblo semi-rural que no se comparaba con

la sofisticación de San Pedro de Macorís, por ejemplo, donde una sociedad amante de las artes construyó un nicho de cultura en una sociedad de gavillas.

Los arquitectos

El primer arquitecto académico dominicano lo fue Juan Bautista del Toro Andújar, graduado en Francia, quien juntamente con Guillermo González regresa al país en 1930; sin embargo, antes de esa fecha trabajaron en las diferentes localidades del país, otros arquitectos extranjeros y constructores prácticos que constituyen lo que hemos llamado los precursores de la arquitectura moderna en la República Dominicana, formados en la Oficina de Obras Públicas que;

"...sirve de escuela para algunos jóvenes dominicanos que se inician en el oficio de ingenieros, dibujantes y diseñadores entre los cuales se encuentran: Juan Bautista Alfonseca Nino, diseñador del Club de la Juventud, en Santo Domingo, y de la Casa Ariza, en Puerto Plata; Mario Lluberes, autor de varias viviendas neo hispánicas en Gascue y posteriormente diseñador del Palacio de Justicia de Ciudad Nueva; los extranjeros Benigno Trueba, autor del diseño de los edificios Baquero y Diez en la calle El Conde; Romualdo García Veras, quien probablemente trabajó con Nechodoma, diseñador del Hotel Mercedes, en Santiago; Pedro de Castro, Alfredo Scaroina y Antonin Nechodoma."

Un precursor importante, por ser eminentemente municipalita, es Osvaldo Báez Machado, hijo del presidente Buena Ventura Báez, quien se educa en París, en donde se recibe como ingeniero arquitecto.



Imagen 1. Baluarte después del huracán San Zenón de 1930.



LA ERA DE TRUJILLO: MODERNIDAD Y DICTADURA (1930-1961)

A los diecisiete días de instalarse el gobierno de Rafael Leónidas Trujillo Molina, el 3 de septiembre de 1930, la ciudad de Santo Domingo fue destruida por los embates de los vientos del llamado ciclón de San Zenón.

Nadie pensó que aquel desastre se convertiría en la oportunidad para iniciar la consolidación de una de las tiranías más sangrientas de América y la clave para definir una inteligente estrategia de colonización del territorio nacional y de representación del poder.

En 1930 Santo Domingo era una ciudad bucólica de apenas 50,000 habitantes y una extensión de no más de tres kilómetros cuadrados. El impacto de San Zenón devastó la ciudad completa, cuyas edificaciones, en su mayoría, eran de madera y techos de cana y de planchas de zinc y dejó miles de muertos.

Las nuevas edificaciones iniciadas por el gobierno fueron de bloques y techo de cemento y así mismo se inició un vasto programa urbano. En los próximos seis años la ciudad se transforma de acuerdo con la imagen de Trujillo.

Ese proceso de transformación, en una primera fase, culmina con el cambio de nombre de la ciudad, que ahora se llamaba Ciudad Trujillo. En homenaje a ese cambio de nombre se erige el obelisco, en 1936-37, que marca conceptualmente lo que llamó el "Kilómetro Cero de la Dictadura Trujillista".

En el "Kilómetro Cero" se encuentra, además del obelisco, diseñado por Alfredo González, hermano y socio de

Guillermo González, construido por el Ing. Rafael Bonnelly e inaugurado en 1937; el parque Eugenio María de Hostos, originalmente parque Ramfis, diseñado por Guillermo González Sánchez, en 1936, ganador de un concurso de diseño del parque y construido por el Ing. Ramón Báez López-Penha (Moncito) y el antiguo Palacio del Partido Dominicano, diseñado por Henry Gazón Bona, en 1944, actual sede del Ministerio de Cultura.

A unos 500 metros hacia el este del obelisco se erige el llamado obelisco hembra, oficialmente llamado monumento Trujillo-Hull a la independencia financiera de 1942, diseñado por los catalanes Tomás Auñón y Joaquín Ortiz y a 500 metros al oeste se emplazaba el paradigmático Hotel Jaragua, obra maestra de Guillermo González, de 1942, demolido en 1985; todas edificaciones emblemáticas del régimen de Trujillo y emplazadas en estrecha articulación con la avenida George Washington, construida por Ramón Báez López-Penha, paseo marítimo que se constituyó en el principal escenario de la parafernalia de poder del trujillato.

Estas edificaciones, emplazadas en un kilómetro del Malecón, además, representan el mejor ejemplo de la estrategia de colonización del espacio que se implementó durante la dictadura trujillista, haciendo uso de esa capacidad de comunicación que posee la arquitectura y que ha sido utilizada, principalmente, por los regímenes de fuerza desde hace más de tres mil años.

Ramón Martínez, teórico y profesor universitario, planteaba que la dictadura trujillista, como parte de su estrategia de

dominación, construyó lo que él llamó un sofisticado “tubo semántico”, que se inició con el cambio de nombre de Santo Domingo por Ciudad Trujillo y continuó con poner el nombre del dictador o de un familiar a las calles y avenidas principales y también a las demarcaciones políticas y a los elementos geográficos.

Trujillo, además, en una práctica típica de los dictadores, llenó las plazas de las ciudades de todo el país con estatuas de su persona. La megalomanía de Trujillo llegó hasta cambiar el nombre del Pico Duarte, la montaña más alta de las Antillas, por el de Pico Trujillo.

En cuanto a los tipos diferentes de los edificios, encontramos una de las más sutiles manipulaciones del significado en arquitectura. Todas las edificaciones que representaban directamente un servicio del gobierno, y eso también lo señala Ramón Martínez, fueron llamadas “Palacios”: Palacio Nacional, Palacio de la Gobernación, Palacio de Justicia y así sucesivamente.

Pero, además, esos “palacios” estaban diseñados en un estilo que se puede llamar neoclásico fascista, que fue bien codificado por Henry Gazón Bona en su libro “La Arquitectura Dominicana en la Era de Trujillo”, de 1949, como un esquema de diseño de tres cuerpos con una marcada tendencia a la verticalidad acentuada en el cuerpo central más alto que los otros dos.

El antiguo Palacio del Partido Dominicano, actual sede del Ministerio de Cultura, rescatado de la lamentable intervención a que fue sometido, es un buen ejemplo de esta tipología.

Por otro lado, las edificaciones que albergaban instituciones relacionadas con aspectos técnicos, académicos y de salud, se diseñaron en un estilo moderno, una manera de expresar los compromisos del régimen con la tecnología, la educación y con la salud.

Si observamos el diseño de las escuelas construidas por el régimen y el campus de la Universidad de Santo Domingo, de 1947, como los edificios de la Facultad de Medicina y la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, estos últimos diseñados por José Antonio Caro, los hospitales diseñados

por los hermanos Pou Ricart y, sobre todo, la elegancia del Hotel Jaragua, de González, desafortunadamente demolido en 1985; nos podremos dar cuenta de la sutileza del manejo del significado de las edificaciones, como instrumento para caracterizar un régimen de fuerza (palacios del Partido Dominicano y de Justicia, por ejemplo) que además se interesa por la mejor educación (las facultades de Medicina e Ingeniería y Arquitectura de la UASD) y que se “abre”, democráticamente, al turismo internacional (Hotel Jaragua).

Otro espacio que viene a representar el régimen de Trujillo, es el de la Feria de la Paz y Confraternidad del Mundo Libre, inaugurada en 1955, con la cual se celebró el jubileo de la dictadura.

Resemantizada, con justicia, como el Centro de los Héroes de Constanza, Maimón y Estero Hondo, La Feria, como se le conoce coloquialmente, se construyó en el tiempo récord de ocho meses para conmemorar los 25 años del gobierno de Trujillo. Diseñada por un equipo de los mejores arquitectos de la época, encabezados por Guillermo González, reúne un grupo de edificios paradigmáticos de la arquitectura moderna de la República Dominicana, entre los que se destaca el Palacio del Consejo Administrativo del Ayuntamiento del Distrito Nacional.

La Feria responde a un esquema urbano monumental dominado por el eje norte sur que tenía las dos entradas principales al recinto: al sur, hacia el malecón, con el arco rebajado que tiene el mosaico mural de Vela Zanetti y la Plaza de las Naciones, popularmente conocida como “la bolita del mundo”, y al norte hacia la ciudad, donde estaba el coloso y la ligera losa que cruzaba la avenida central y que servía como portal, con la gran fuente ceremonial que articula el espacio del poder legislativo y el gobierno de la ciudad.

La Feria, en el límite oeste de la capital, se estableció como el nuevo centro urbano de Ciudad Trujillo, que competía, de alguna manera, con el Centro Histórico.

El kilómetro cero de la dictadura trujillista, esa franja costera que va desde el obelisco hembra hasta el Hotel Jaragua, agrupa edificios y espacios paradigmáticos y ejemplifica la estrategia de colonización territorial del régimen.



Imagen 3: Hotel Hamaca, Boca Chica.

LA DEMOCRACIA MEDIATIZADA Y LA GLOBALIZACIÓN (1961-2010)

En los últimos años la arquitectura dominicana ha respondido, como todas las arquitecturas, a las condiciones de la base social que la produce. En nuestro caso, una base social que, si bien ha logrado cierto desarrollo económico, no ha alcanzado el mismo desarrollo en el ámbito social.

1961-1970

La primera década de este periodo fue de grandes conflictos, que no permitieron que se desarrollaran muchos proyectos de construcción; sin embargo, aparecen los primeros esfuerzos de la modernización de la gestión urbana con la presencia en el Consejo Municipal de un grupo de jóvenes formados en el exterior. Eugenio Pérez Montás, Guillermo Santoni y Orlando Haza, entre otros, comienzan esta importante labor.

1970-1980

La primera década de los gobiernos mediatizados, media dictadura/media democracia, de Joaquín Balaguer, y donde se realiza un grupo de obras de arquitectura importantes, como los primeros edificios en altura de Santo Domingo, el edificio de oficinas públicas Juan Pablo Duarte, identificado por el imaginario popular como "El Huacal", y el edificio conocido como "Expo Libro", de Amable Frómeta; el conjunto de la Plaza de la Cultura, con el Teatro Nacional, de Teófilo Carbonell, el Museo del Hombre y la Biblioteca Nacional, de la oficina de Caro Álvarez, el Museo de Arte Moderno, de Miniño, y el Museo de Historia Natural, de Miguel Vila et al.; además de la Superintendencia de Bancos y el BNV, de Edgardo Vega.

En los '70 y '80 se desarrolla la obra de Cuqui Batista, en Santiago. El edificio Metropolitano, el Partido Reformista en Santiago, su casa, y el edificio Mera, Muñoz & Fondeur, entre otras, son obras emblemáticas y poco conocidas, que expresan la particular y creativa visión del moderno, propia del arquitecto cibaño, que ha hecho escuela en la ciudad corazón.

1980-1989

Los primeros años de la década de los 80 son años en los cuales la participación del Estado se caracteriza por el repliegue en la iniciativa de la construcción y el inicio de la escalada de la presencia del sector privado en la ciudad.

El edificio de la CDA, de Fernando Ottenwalder y William-Pichi- Vega, es una de las realizaciones memorables de los '80, yo mismo lo he incluido entre mi selección de los 10 mejores edificios del pasado siglo; resuelto en un elegante lenguaje neorracional y con un manejo del espacio marcado por un giro de la estructura con respecto a la envolvente, se logra un edificio que respondía a su emplazamiento de

una manera muy urbana, lamentablemente la intervención a que fue sometido para adecuarlo a una institución financiera mutiló la conexión del edificio con el espacio urbano.

En el ámbito privado se continua el proceso de desarrollo de la imagen institucional, iniciado en los 70 con la construcción de una serie de edificios para instituciones financieras. En 1980 Plácido Piña y Harry Carbonell producen el edificio original del BHD, en un limpio lenguaje neorracional con referencias a Richard Meier; Rafael Martínez diseña para Pujadas, Armenteros & Asociados el edificio del desaparecido Banco del Comercio, negando su condición de esquina y Fred Goico produce los edificios del City Bank y el también desaparecido Banco Hipotecario Financiero.

Uno de los edificios más comentados de los '80 fue el Pabellón Recreativo del exclusivo Santo Domingo Country Club, obra de Piña y Carbonell, donde hacen fe al postmodernismo en una edificación pletórica de referencias a Michael Graves y Charles Moore y de alusiones humorísticas muy a lo Venturi.

Se inicia además un proceso de desarrollo habitacional en altura en la zona, que después sería conocida como "Polígono Central", con una serie de diseños de un empalagoso eclecticismo trashumante y desculturizado que llevó a Emilio Brea a acuñar el término de "Nitinismo" para calificarlos, haciendo referencia a una popular repostería de Santo Domingo.

Aparecen, sin embargo, algunos edificios interesantes, como el súper articulado edificio de Seguros Pepín, de José Mella y Leopoldo Franco, una muestra de lo que Venturi llamaría edificio "bello y monumental", al desarrollar su teoría del tinglado decorado, o los edificios de Marcelo Albuquerque y Cristóbal Valdez, de Plaza Galván, y posteriormente Monte Mirador, solucionados en un postmodernismo con oficio.

Otra edificación importante de ese momento es el edificio Palic, de Rafael Calventi, decano de los arquitectos dominicanos, resuelto en un lenguaje horizontal wrigthiano que desperdició la oportunidad de ser más urbano al colocar los estacionamientos al frente del edificio. En la misma década. Calventi diseña, además, en 1986, el abstracto Monumento a la Restauración, cuyo remoto y absurdo emplazamiento lo ha mantenido como un edificio poco visitado.



Imagen 4. Edificio Copello.

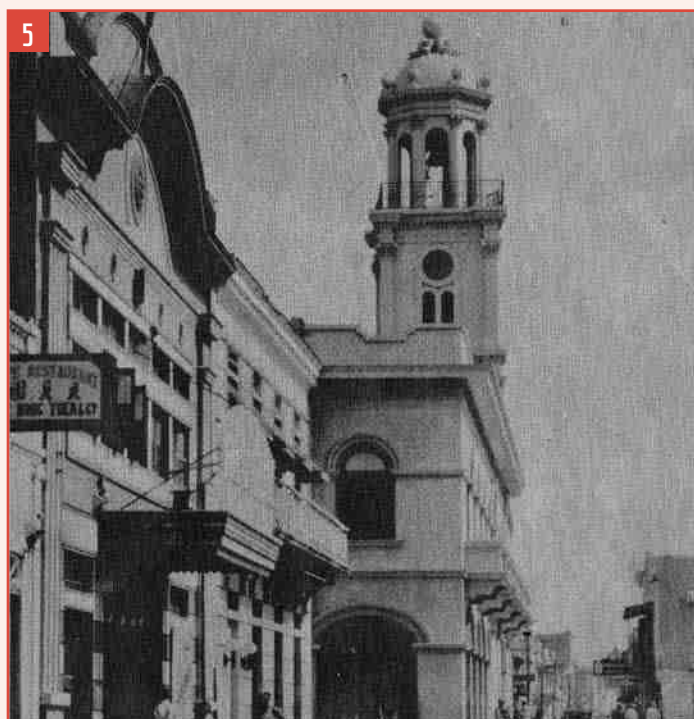


Imagen 5. Consistorial 1936.

Los '80 son, además, la década de las publicaciones de arquitectura que la inicia el Grupo Nuevarquitectura, con la publicación semanal en el Nuevo Diario de Hoja de Arquitectura, en 1982, que se publica ininterrumpidamente durante dos años, de 1982 a 1984, con 122 publicaciones, de las cuales las primeras 100 fueron recogidas en una edición especial por la Universidad Central del Este, en el libro "100 Hojas de Arquitectura", prologado por Plácido Piña. Nuevarquitectura publica también la revista Arquivox, predecesora de las revistas Arquitexto y AAA.

En 1986, Rafael Calventi, con las fotos de Onorio Montás y un ensayo de Gustavo Moré, publica "Arquitectura Contemporánea en República Dominicana."

En 1985 se demuele el magnífico Hotel Jaragua, de Guillermo González, para hacer espacio a una propuesta comercial de un hotel de catálogo, preludiando una actitud que se repetiría con obras importantes de la ciudad, y no únicamente de parte del Estado.

1990-1999

Los '90 es la década de las crisis políticas, económicas y urbanas. Se terminan las obras con miras a la celebración del V Centenario, durante la última presidencia del déspota ilustrado. El Faro a Colón, la Av. Quinto Centenario y la Av. México, ejemplarizan ese momento, que preludia la era de gobiernos neoliberales que se casan con las soluciones viales, deus ex machina del planeamiento urbano, restándole espacio público a la ciudad y depreciando las propiedades que se encuentran en su entorno.

Se realizan algunas iniciativas que tratan de dar respuesta a los sectores marginales, la más relevante es la del abandonado proyecto RESURE, durante la dirección de la ingeniera Mercedes Sabater de Macarrulla, en el Consejo Nacional de Asuntos Urbanos (CONAU) con apoyo del Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD).

El proyecto de arquitectura más importante promocionado por el Estado a finales de los años 90, lo constituye sin dudas el edificio de la Suprema Corte de Justicia, ganado por concurso por Gustavo Moré y Juan Caro, en 1998, e inaugurado en el 2005. Es un edificio que se articula en dos cuerpos por un patio interior para responder a la escala original del sitio que la determinara el incendiado edificio de la secretaria de Agricultura, diseñado en 1955 por Guillermo González, para la feria de la paz y confraternidad del Mundo Libre; el edificio de Moré y Caro responde a un lenguaje contemporáneo donde se explora el espacio como elemento de articulación, no obstante, y a pesar del esfuerzo de los diseñadores de responder a la escala del sitio, el edificio resulta apabullante por sus dimensiones, producto de un lote que apenas contuvo el abultado programa presentado por la institución de justicia.

La actividad privada se incrementa y continúan los apartamentos eclécticos que pueblan como hongos malignos algunos sectores de nuestras ciudades, donde se aloja una nueva burguesía neoliberal de políticos, narcos, banqueros y militares, caracterizada por una carencia cultural expresada en estos edificios.

Algunas casas aisladas representan puntos luminosos en este panorama, las casas de Oscar Imbert, en Punta Cana, incluyendo la suya propia, es una exquisita muestra de una sensibilidad moderna que se apoya en el conocimiento de técnicas vernáculas para festejar lo lúdico.

Los '90 es la década de los grandes y pequeños centros comerciales. El polígono central aloja una serie de pequeñas plazas comerciales abiertas donde se explota un lenguaje neohispánico muy ramplón y se desperdicia la oportunidad de hacer ciudad.

Los grandes centros comerciales también se ubican en el polígono central o en sus límites y presentan cada uno una propuesta de arquitectura diferente. Plaza Central, Unicentro Plaza, diseñado por la oficina de Martínez Burgos, la Americana, Plaza Lama, diseñados por Pedro José Borrell, y el Multicentro de la Churchill, de Jeannette Sanoja y Sina del Rosario, son cinco respuestas diferentes a la interpretación local del mall norteamericano, donde solamente el Multicentro responde de una manera adecuada a la ciudad, ofertándole un espacio público que articula el edificio a la actividad urbana cuando los demás colocan, el automóvil como protagonista.

En el sector privado sobresale la actividad constructiva del arquitecto Pedro José Borrell, que da forma a la imagen corporativa de algunas instituciones financieras y comerciales más importantes del país, sus diseños para el Banco Popular, la Cervecería Nacional, el Grupo E. León Jiménez, la Americana o Plaza Lama, unos mejores que otros, aportan un nuevo perfil a sectores de Santo Domingo y Santiago.

2000-2005

El advenimiento del nuevo milenio trajo, como era de esperar, nuevas expectativas que se han ido modelando de manera diferente. La administración socialdemócrata detuvo el impulso de la actividad económica, los proyectos estatales se detuvieron y la actividad constructiva cae de nuevo sobre el sector privado, el cual a la postre presentó los mismos niveles de corrupción que el sector político.

Debo mencionar la arquitectura de los jóvenes arquitectos emergentes, ganados por la visión neoliberal, como señalo al inicio de este trabajo.

Alex Vega, Rafael Eduardo Selman, Antonio Segundo Imbert, Salvador-Chilito- Pérez, Daniel Pons, Roberto Rijo, han realizado sus propuestas desde esa visión "empresarial" que trata de vender el "american way of life" y sus diseños frescos y contemporáneos, han contribuido de algún modo a modelar el perfil de una ciudad que se nos pierde y se convierten en la contraparte positiva de los diseños banales que aparecen por todas partes.

CONCLUSIÓN

Vista así en una rápida panorámica, mi sentir es que la arquitectura dominicana en los últimos años ha madurado profesionalmente, pero ha perdido el ethos de modelar una arquitectura para una ciudad del caribe.

REFERENCIAS

- 1 Frank Moya Pons. Manual de Historia Dominicana. Academia Dominicana de la Historia. Vol. XLIV, Santo Domingo 1977.
- 2 Pablo Morel. Ciudad Nueva: Una Alternativa de Intervención. XV Seminario Nacional de Restauración de Monumentos. Santo Domingo. Agosto de 1994.
- 3 Frank Moya Pons. Ibídem.
- 4 Frank Moya Pons. Ibídem.
- 5 Gustavo Luis More Guaschino. Notas sobre Forma e Identidad en la Arquitectura de "La era de Trujillo". Revista Arquivox. Año I, Núm. 1 junio —agosto de 1984.

SOBRE EL AUTOR:

Omar Rancier: Arquitecto, ensayista y crítico de arquitectura. Coordinador de las Bienales de Arquitectura de Santo Domingo y fundador del Grupo Nuevaarquitectura.

Decano de la Facultad de Arquitectura y Artes de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña y Encargado del Departamento de Formulación de Políticas y Planes de Ordenamiento Territorial de la Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

Correo: orancier@gmail.com



Foto: Entrada de Catedral de Haití destruida por el terremoto de 2010.

TERREMOTOS, AISLAMIENTO SÍSMICO Y PREDICCIÓN PARA ALERTAS.

Por: Ing. Geólogo Osiris de León

RESUMEN

Desde la antigüedad los terremotos han sido los fenómenos naturales más temidos por la sociedad porque destruyen ciudades, como el caso del terremoto que en 2010 destruyó a Puerto Príncipe y fue considerado como el más mortífero terremoto ocurrido en América, donde el colapso de 400 mil edificaciones mató 316 mil personas, produjo 350 mil heridos y dejó a 1.5 millones de ciudadanos sin hogar, porque en cada destrucción sísmica los grandes daños siempre se concentran

en zonas de suelos flexibles donde las ondas sísmicas de corte viajan muy lentamente y para mantener el balance de energía generan amplificación y grandes esfuerzos cortantes que destruyen las estructuras, mientras las edificaciones levantadas sobre rocas rígidas permanecen intactas después de grandes terremotos.

Sin embargo, experiencias usando aislamiento sísmico demuestran que las aceleraciones sísmicas en las estruc-

turas, y los desplazamientos laterales, se reducen hasta un 80 %, lo que se traduce en protección de vidas y propiedades, faltando ahora instalar micromagnetómetros que detecten perturbaciones electromagnéticas, y medir el contenido total de electrones presentes en la ionosfera resultantes del retraso en las señales electromagnéticas registradas en el sistema global de navegación por satélites (GNSS), como claves para predecir terremotos con horas de anticipación.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad los terremotos han sido los fenómenos naturales más temidos por toda la sociedad, al extremo de que en el libro del Apocalipsis, el cual es el último libro de la Biblia, y que pudo ser escrito por Juan, posiblemente en el año 90 después de Cristo, en varios capítulos se habla de que habrá un gran terremoto que destruirá a una gran parte de la ciudad, pues ya para ese entonces los terremotos, por su sorpresiva llegada y por su gran capacidad destructiva, constituían la amenaza más

temida en todo el perímetro del mar Mediterráneo, donde la placa tectónica de África colisiona con la placa tectónica de Eurasia y donde la placa tectónica arábiga colisiona con la placa tectónica de Anatolia y la empuja occidentalmente hacia las islas griegas, por lo que para esa época se entendía que si se producía un Apocalipsis en contra del imperio romano, imperio que perseguía y maltrataba a los cristianos, ese Apocalipsis sería causado por un gran terremoto que destruiría todo asentamiento humano romano.

RIESGO SÍSMICO REGIONAL

Hoy día nadie discute el alto riesgo sísmico de toda la franja occidental americana bañada por las aguas del océano Pacífico, franja que periódicamente sufre los severos impactos de grandes y devastadores terremotos como los ocurridos en Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala, México, Estados Unidos y Canadá, incluido el vecino estado americano de Alaska, y donde se han ubicado los epicentros de algunos de los más fuertes terremotos registrados instrumentalmente, con magnitud cercana o superior a 9.0 Mw, como el de 9.5 Mw en Valdivia, Chile (1960); el de 9.2

Mw en Anchorage, Alaska (1964); el de 9.0 Mw en Arica, Chile (1868); el de 8.8 Mw en Concepción, Chile (2010); el de 8.8 Mw en Esmeraldas, Ecuador (1906); y el de 8.7 Mw en Valparaíso, Chile (1730), aunque ninguno de esos terremotos de gran magnitud produjo tantas muertes como el catastrófico terremoto de magnitud 7.0 Mw ocurrido en nuestra isla Hispaniola en fecha 12 de enero de 2010, considerado como el más mortífero terremoto ocurrido en América, ya que mató 316 mil personas en Puerto Príncipe, produjo 350 mil heridos y mutilados, y dejó a 1.5 millones de ciudadanos sin hogar, pues el sismo destruyó 400 mil edificaciones, incluyendo 5

en Nagua, República Dominicana, en el año 1946, el cual liberaría una energía 32 veces superior, ya que la escala sísmica es logarítmica y cada unidad mayor multiplica 32 veces la energía liberada.



Imagen 1. Principales fallas sísmicas de La Isla Hispaniola y principales terremotos ocurridos desde 1562. (R. Osiris de León, 2016).

SUELOS DE MALA RESPUESTA SÍSMICA

El hecho de que los inventarios de estructuras dañadas por sismos, tanto en la isla Hispaniola, como en otras partes del continente americano y del mundo, nos confirmen que los grandes daños siempre se concentran en zonas caracterizadas por la presencia de suelos flexibles (arenosos, limosos, arcillosos, margosos, y aluviales) que amplifican las fuerzas sísmicas, ejercen grandes esfuerzos cortantes sobre las estructuras y terminan por destruir todos aquellos elementos estructurales verticales que fueron diseñados y contruidos sin considerar que tendrían que soportar fuerzas sísmicas cortantes amplificadas, ha llevado al planteamiento de nuevos criterios constructivos y al desarrollo de nuevos sistemas que permitan que las estructuras sensibles, contruidas

sobre suelos flexibles, sean diseñadas y construidas considerando el máximo terremoto esperado para la zona de emplazamiento, considerando el tipo de suelo y sus peores condiciones, considerando la mínima velocidad de propagación de las ondas sísmicas de corte (V_s) y la máxima aceleración que se podría producir en el suelo y en los diferentes niveles superiores de la estructura, y considerando no solamente la interacción entre el suelo y la estructura, sino el mejor sistema de aislamiento sísmico entre el suelo y la estructura.

Y es que uno de nuestros viejos problemas de ingeniería es que diseñamos y construimos sin considerar las malas respuestas sísmicas de los suelos flexibles. y construimos cualquier tipo

de estructura sensible sobre suelos flexibles, bajo los mismos criterios con los que construimos sobre rocas rígidas, priorizando que el suelo, o la roca, tenga capacidad para soportar la carga permanente de la estructura (carga muerta), con mínimo asentamiento elástico, pero olvidando que sobre las rocas rígidas prácticamente no hay graves daños sísmicos, porque a través de ellas, las ondas sísmicas de corte (V_s), que transportan el 70% de la energía elástica acumulada por las deformaciones de las rocas, viajan muy rápidamente y toda su energía elástica es consumida en alta velocidad, y no queda energía para amplificación, mientras que en los suelos flexibles las ondas sísmicas de corte viajan muy lentamente y la energía que antes se consumía en alta velocidad,

ahora se consume en amplificación que multiplica las fuerzas sísmicas cortantes que empujan lateralmente hasta romper las estructuras, siendo esa la razón de los graves daños y colapsos de estructuras que aparentaban ser robustas pero que se tornaron frágiles durante un sismo porque fueron levantadas sobre suelos flexibles sin utilizar criterios de sismorresistencia y sin utilizar aislamiento sísmico basal.

Como demostración de lo anterior podemos mostrar que la ciudad de Santo Domingo, la cual está levantada sobre una plataforma de roca caliza coralina rígida, de buena calidad, se mantienen de pie, sin ningún tipo de daños, después de haber sufrido las fuertes sacudidas sísmicas de ocho grandes terremotos, incluidos

terremotos de magnitud 8.1, magnitud 7.6, magnitud 7.5 y varios de magnitud 7.0., gracias a que las ondas sísmicas de corte (Vs) allí viajan rápidamente a velocidades superiores a 1,000 metros por segundo, por lo que toda su energía elástica se consume en velocidad, y no en amplificación, y por tal razón esas edificaciones construidas por Nicolas de Ovando a partir de 1504, como la Catedral primada de América, el Alcázar de Colón, la iglesia Regina Angelorum, la Iglesia de Las Mercedes, las edificaciones de la calle de Las Damas, etc, las cuáles son de simple mampostería de bloques calizos unidos por argamasa de cal, arena y agua de mar, sin acero de refuerzo, y sin hormigón de alta resistencia, hoy siguen de pie, mientras las edificaciones coloniales construidas durante

la misma época en Santiago de los Caballeros y en La Vega fueron destruidas por el terremoto del 2 de diciembre de 1562, el cual pudo ser de magnitud cercana a 7.5 Mw, fruto de que en los suelos blandos de las ciudades de Santiago de los Caballeros y de La Vega, al igual que en los suelos blandos de la ciudad de Puerto Príncipe, las ondas sísmicas de corte viajan a velocidades inferiores a 100 metros por segundo y se amplifican; recordando que la Biblia dice en los versículos 24 al 27 del capítulo 7 del Evangelio de Mateo que "el hombre prudente construye su casa sobre la roca y el hombre insensato construye su casa sobre la arena", siendo esa la primera cátedra de ingeniería sismorresistente, y fue escrita 2,000 años atrás.

DE LA INGENIERÍA SISMOGEOTÉCNICA A LA INGENIERÍA SISMORRESISTENTE

Sin embargo, para tranquilidad parcial de la sociedad, debemos reconocer que gracias a los avances científicos y tecnológicos de la ingeniería sismo-geotécnica de hoy, cada día tenemos más y mejores equipos para hacer mediciones de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas de corte (Vs), y cada día tenemos más y mejores softwares para procesar los datos que obtenemos en las mediciones de campo y para construir tomografías sísmicas subsuperficiales que identifiquen los cambios laterales y verticales en las rocas y suelos, y los niveles de consistencia y rigidez de esas rocas y suelos, consistencia que a su vez está directamente relacionada con las respuestas sísmicas de esas rocas y suelos, especialmente los suelos flexibles ubicados inmediatamente debajo de las fundaciones, pues a menor velocidad de propagación de las ondas sísmicas de corte hay mayor amplificación de las ondas sísmicas, lo que a su vez produce mayor vibración sísmica en la zona de interacción entre el suelo y las fundaciones de la estructura, y es ahí cuando se produce el indeseado efecto de sitio que tanto daño hace en las estructuras débiles, y tantas muertes produce, como ocurrió en Ciudad de México en 1987 y en Puerto Príncipe en el 2010, siendo deber de todos nosotros conocer cada día más sobre las respuestas sísmicas de los suelos, para entonces orientar a las autoridades y a los ciudadanos, y disponer de mapas detallados de microzonificación sísmica construidos con

válidos factores de amplificación sísmica, de forma tal que los diseños estructurales sean realizados en base a válidos espectros de respuesta sísmica que garanticen excelentes respuestas sísmicas de las estructuras levantadas sobre suelos flexibles, y con ello reducir la vulnerabilidad sísmica de nuestra sociedad.

Y es que los colapsos sísmicos de muchas estructuras, tanto en nuestra isla como en diferentes partes del mundo, incluyendo Haití, México, Ecuador, Italia, Nepal, China, etc, han contribuido a fomentar una nueva filosofía de aislamiento sísmico, a los fines de que las estructuras sensibles como hospitales, escuelas, iglesias, estadios, y edificaciones patrimoniales no sufran ningún tipo de daños al momento de un fuerte terremoto, principalmente los hospitales, pues se supone que los hospitales deben ser búnkeres a prueba de terremotos, ya que es inaceptable que el lugar destinado a recibir a los ciudadanos que han resultado heridos durante un gran terremoto, también sea destruido por el mismo terremoto, lo cual no tiene ningún sentido para ninguna sociedad, y por ello la sociedad de hoy exige a la ingeniería de hoy que los nuevos hospitales sean sismorresistentes bajo el peor de los escenarios sísmicos posibles, a los fines de que el hospital se mantenga brindando servicios hospitalarios de emergencia, de internamiento, y de cirugías, durante el terremoto y después del terremoto.

USO DE AISLADORES SÍSMICOS ELASTOMÉRICOS.

Los aisladores sísmicos elastoméricos son piezas elásticas construidas de acero y caucho que se colocan entre la losa de cimentación y las columnas, a los fines de permitir que la aceleración sísmica experimentada por un suelo flexible al momento de un fuerte terremoto se reduzca al 30% en los niveles superiores de la estructura donde han sido instalados, en lugar de multiplicarse hasta un 300% como usualmente ocurre en los niveles superiores de las estructuras construidas sobre suelos flexibles, con lo cual desaparecen los grandes desplazamientos laterales que usualmente se producen en la parte superior de una estructura construida sobre suelos flexibles, ya que los aisladores sísmicos elastoméricos permiten que toda la estructura se desplace lateralmente, hasta 0.90m, de manera uniforme, con lo cual las fuerzas cortantes se reducen a su mínima expresión y la estructura no sufre ningún tipo de daños, y gracias a ello se mantiene en servicio normal, especialmente cuando se trata de un hospital, pero también cuando se trata de estructuras portuarias, depósitos de almacenamiento de combustibles líquidos y gaseosos, puentes, edificios habitacionales y monumentos patrimoniales.

Por ello, en junio de este año 2019, centenares de profesionales de diferentes partes del mundo, dedicados a la ingeniería sismo-geotécnica, nos reunimos en la histórica ciudad imperial de Roma, para participar en la "7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering", y discutir los más recientes avances en caracterización y clasificación sísmica de los suelos mediante mediciones

de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas de corte (V_s), enfatizar la importancia de los programas de microzonificación sísmica que han de servir de base a un correcto ordenamiento territorial que disminuya la vulnerabilidad sísmica urbana, analizar los terriblemente dañinos efectos de sitio que se producen cuando las ondas sísmicas de corte se amplifican al atravesar suelos flexibles al momento de un terremoto de mediana o de gran magnitud, discutir la importancia de medir in situ el período de vibración del suelo y los factores de amplificación sísmica que debemos utilizar para construir un válido espectro de respuesta sísmica, demostrar la importancia y la urgencia de la revisión y actualización de los códigos sísmicos hasta ahora utilizados en diferentes partes del mundo para diseños de estructuras sismorresistentes, y mostrar la conveniencia y la pertinencia del uso de aisladores sísmicos para proteger las estructuras sensibles.

En ese evento científico de clase mundial, y en nuestra condición de Asesor Científico del Poder Ejecutivo en Geociencias, Sismicidad y Prevención de Desastres, nos tocó disertar sobre "Shear wave measurements and seismic site classification in Hispaniola island" (Mediciones de ondas sísmicas de corte y clasificación sísmica de sitio en la isla Hispaniola), y donde para el artículo técnico acompañante de la disertación tuvimos el honor de contar, como co-autores, con los doctores en ingeniería sismogeotécnica Armando Simonelli, Augusto Penna y Dileta Aliperti, quienes son



Imagen 2. Vista de uno de los aisladores sísmicos ya instalados en el nuevo hospital de San Fco de Macorís.



Imagen 3. Vista Aérea de Catedral de Haití destruida por el terremoto 2010.

profesores de la universidad de Sannio, Italia, y han puesto sus experiencias en ingeniería sismogeotécnica al servicio de las universidades dominicanas para formar a nuevos profesionales que han de tener a su cargo el futuro ejercicio de la ingeniería sismogeotécnica que contribuirá a reducir la vulnerabilidad sísmica de nuestra sociedad.

De igual modo, a finales del mes de agosto de 2019 estuvimos en la ciudad de Lima, Perú, como parte de una delegación oficial de la Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructuras y Edificaciones (ONESVIE) que asistía a la formalización de un convenio de cooperación científica con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), institución que para el mismo período de tiempo había convocado a expertos japoneses, alemanes, chilenos, peruanos y dominicanos, a un Simposio Internacional de Ingeniería Sísmica, a los fines de discutir, con la mayor amplitud posible, los riesgos sísmicos de una franja andina que periódicamente sufre los severos impactos de grandes terremotos como los ocurridos en Chile, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, las grandes aceleraciones sísmicas que se producen en los suelos flexibles fruto de las bajas velocidades de propagación de las ondas sísmicas de corte (V_s), la necesidad y obligatoriedad de actualizar nuestros códigos de construcción en lo referente a la sismorresistencia, y los modernos usos de aisladores sísmicos elastoméricos para reducir aceleraciones y desplazamientos en las estructuras sensibles, principalmente en las estructuras hospitalarias.

En ese evento fue sumamente interesante escuchar a expertos japoneses, alemanes, peruanos, y chilenos, compartir los conocimientos y experiencias que han obtenido durante

décadas de investigaciones científicas en materia de sismicidad y reducción de las vulnerabilidades sísmicas de sus estructuras, pues Japón, Chile y Perú, son tres de las naciones más amenazadas y más golpeadas por la alta sismicidad que se genera alrededor del cinturón de fuego que bordea al océano Pacífico, evento donde los japoneses reconocieron que después del terrible terremoto ocurrido en Kobe, en enero de 1995, tuvieron que multiplicar por 3 el uso de aisladores sísmicos para proteger edificaciones esenciales, y donde los chilenos también reconocieron que después del gran terremoto ocurrido en Concepción, en febrero de 2010, las estructuras sensibles sísmicamente aisladas se multiplicaron por 3, principalmente los hospitales.

Pero lo más importante de este simposio fue ver cómo los peruanos y los chilenos hoy se sienten orgullosos de que en sus códigos de construcción sismorresistente las estructuras hospitalarias están obligadas a llevar aislamiento sísmico basal para reducir las aceleraciones sísmicas en los diferentes niveles de cada hospital, porque, además de evitar el colapso estructural, garantiza la inalterada continuidad de todos los servicios médicos, pues, tal y como hemos expuesto en múltiples ocasiones, todos los hospitales deben ser obligatoriamente sismorresistentes, porque el día del terremoto los hospitales son los receptores de los heridos que se producen a nivel regional, y es muy traumático y frustrante para cualquier conglomerado humano llegar con muchos heridos a un hospital y encontrarlo colapsado fruto de las fuertes sacudidas de suelo generadas por el terremoto, siendo ese el momento donde la gente, fruto de esas momentáneas frustraciones, no quiere ningún tipo de explicaciones.

Las experiencias de japoneses, chilenos, peruanos, y californianos, con el uso de aislamiento sísmico basal, y el monitoreo estructural mediante la instalación de acelerómetros y acelerógrafos en diferentes niveles de las estructuras, demuestran que tanto las aceleraciones sísmicas que entran a las estructuras en el momento del terremoto, como los desplazamientos laterales en cada piso, se reducen hasta en un 70% y 80% en relación a las mismas estructuras carentes de aislamiento sísmico basal, lo que se traduce en protección de vidas y de propiedades, y se traduce en tranquilidad para quienes temen a la sismicidad y para quienes han invertido los ahorros de gran parte de su vida en una vivienda de su propiedad.

Esta nueva filosofía internacional en materia de aislamiento sísmico hospitalario ya ha sido asumida en la República Dominicana por la Oficina de Ingenieros Supervisores de Obras del Estado (OISOE) y está siendo aplicada en las nuevas estructuras hospitalarias, principalmente las que quedarán emplazadas sobre suelos flexibles, comenzando por utilizarlos en los nuevos hospitales de San Francisco de Macorís, Nisibón, La Romana y Dajabón, lo que marca un

antes y un después en la sismorresistencia de las estructuras hospitalarias dominicanas, ya que en lo adelante estos criterios deberán formar parte de los nuevos estándares en materia de construcción de hospitales públicos y privados.

De ahí que por el alto riesgo sísmico que caracteriza a nuestra isla Hispaniola, por nuestro negativo historial sísmico que incluye un terremoto de magnitud 8.1 con una réplica de magnitud 7.6, por la negativa experiencia de las destrucciones sísmicas de las ciudades coloniales de Santiago de los Caballeros y de La Vega, y por la traumática experiencia vivida en enero de 2010 por la ciudadanía de Puerto Príncipe, las principales estructuras hospitalarias, públicas y privadas, las principales estructuras de la administración pública, las principales estructuras bancarias, los principales puentes, y las principales estructuras para almacenamiento de combustibles líquidos y gaseosos, construidas sobre suelos flexibles, deben entrar ya en el proceso de comenzar a considerar el uso del aislamiento sísmico basal como forma de protegernos antes de que llegue el próximo gran terremoto, pues todavía estamos a tiempo de comenzar a reducir nuestras grandes vulnerabilidades sísmicas.



Imagen 4. Viviendas pobres intactas, levantadas sobre roca caliza en el eje de la falla del sismo de Haití, al suroeste de Petion Ville.

SISTEMAS DE PREDICCIÓN Y ALERTA DE TERREMOTOS.

El mayor desafío que ha tenido la sismología, y la comunidad científica que estudia la sismicidad, ha sido el de buscar y encontrar un mecanismo predictivo que le permita a la sociedad conocer, con horas de anticipación, el lugar epicentral donde se ha de producir un próximo gran terremoto, la magnitud de ese gran terremoto, y la profundidad hipocentral de ese gran terremoto, a los fines

de salvar las vidas de los ciudadanos que habiten en esa región, y el día que se logre ese mecanismo de predicción se habrá dado el gran salto que habrá de producir la mayor tranquilidad para la sociedad, similar al descubrimiento de la penicilina por parte de Alexander Fleming, y similar a la incansable búsqueda de la cura contra el cancer, aunque, a decir verdad, a nivel global la búsqueda de mecanismos

predictivos que permitan a la sociedad conocer cuándo y dónde se ha de producir un próximo gran terremoto nunca ha recibido el apoyo económico que se requiere de los gobiernos y de las empresas que se dedican a la investigación científica.

Por ello, en fecha 28 de marzo de 2012 publicamos un artículo en el periódico El Día, titulado "Electromagnetismo y predicción de terremotos", en el cual decíamos que si queremos predecir los terremotos debemos tratar de disponer de sensores de ondas electromagnéticas de baja frecuencia, o micromagnetómetros, que tengan el mismo nivel de sensibilidad que tienen los cerebros de los animales que advierten la inminente ocurrencia de un sismo, porque los asimétricos cristales de cuarzo (SiO_2) constituyentes de la corteza terrestre sufren un efecto de polarización eléctrica cuando son sometidos a una fuerte acción mecánica de compresión, generando un flujo de electrones que concentra una carga eléctrica negativa en uno de los extremos del eje polar, y otra carga eléctrica positiva en el otro extremo polar, en un efecto denominado piezoelectricidad, y como el cuarzo es el mineral más abundante en la corteza terrestre, eso hace que las altas presiones generadas por los fuertes empujes que se producen a lo largo de los bordes de contacto entre las placas tectónicas produzcan múltiples efectos piezoeléctricos, y estas micro descargas eléctricas ionizan la atmósfera y producen destellos luminiscentes, similares a relámpagos, en los momentos previos a un gran terremoto.

En ese artículo añadíamos que esas pequeñas cargas eléctricas producidas por el efecto piezoeléctrico del cuarzo cristalino sometido a fuerte compresión en los bordes de las placas tectónicas, generan a su vez un micro campo electromagnético local, el cual perturba localmente el campo electromagnético natural del planeta Tierra y esa micro perturbación es detectada y traducida por el "magnetómetro" natural del cerebro de muchos animales que por evolución son capaces de hacer una correcta interpretación de la tragedia que se avecina, la cual les perturba e inquieta.

Y terminábamos ese artículo diciendo que el diseño, construcción e instalación de micro magnetómetros que operen de igual forma a los "magnetómetros" naturales de los animales evolucionados es una clave para predecir terremotos con varias horas de anticipación, lo cual representaría un gigantesco paso de avance para una sociedad moderna que siente pánico extremo cada vez que una sacudida sísmica estremece los cimientos de nuestras edificaciones y les hace colapsar, y que esta nueva tecnología podría estar disponible en los próximos años, siempre que los estudios sobre los terremotos, y maremotos asociados, sean vistos como parte de las políticas de desarrollo de cada país con riesgo sísmico, y como parte de las políticas de prevención y mitigación de desastres.

Posteriormente, en fecha 28 de marzo de 2018, es decir, 6 años después de publicado nuestro artículo, un grupo de científicos chilenos liderados por el profesor Enrique Cordaro, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, publicaron haber desarrollado una metodología que detecta y mide anomalías en el campo magnético de la Tierra, las cuales podrían predecir terremotos con 30 días de anticipación, porque en los lugares donde se produjeron grandes terremotos hubo bajas de emisión del campo magnético con 30 días de antelación.

Los científicos chilenos explicaron que tomaron como ejemplos los terremotos de Indonesia (2004), Chile (2010) y Japón (2011), donde se observaba que antes de producirse

cada gran terremoto se caía el campo magnético y luego de pasado un tiempo efectivamente se producía el gran terremoto, ya que el campo magnético de la Tierra no es un espacio físico, sino un conjunto de ondas electromagnéticas que están en constante relación de frecuencia e intensidad.

"un movimiento sísmico de 8 metros en la corteza terrestre se traduce en una vibración de 80 kilómetros de la ionosfera, lo que permite detectar, con 60 a 90 minutos de anterioridad, un terremoto y un posible posterior maremoto".

Los avances del grupo chileno de investigación han llamado a la atención de la comunidad científica internacional, ya que el informe, titulado "Tasa de variación latitudinal de la rigidez del corte geomagnético en el margen convergente activo de Chile", fue publicado por la revista científica europea Annales Geophysicae, como una novedosa aproximación para lograr predecir grandes terremotos en el mundo, y sus resultados son coincidentes con nuestros planteamientos publicados en la prensa del 28 de marzo del año 2012 y publicados también en una edición especial de la revista Verdor, de la Academia de Ciencias de la República Dominicana, la cual fue una edición dedicada a los terremotos.

Sin embargo, debemos citar que ya en el año 2010 Liu Jann-yeng y Yen Horng-yuan, profesores investigadores del departamento de geociencias de la Universidad de Zhongli, Taiwán, habían publicado en la revista científica "Journal of Geophysical Research", que existe una conexión entre las vibraciones de la ionosfera y los posteriores terremotos y maremotos, ya que, según sus observaciones y mediciones, "un movimiento sísmico de 8 metros en la corteza terrestre se traduce en una vibración de 80 kilómetros de la ionosfera, lo que permite detectar, con 60 a 90 minutos de anterioridad, un terremoto y un posible posterior maremoto".

Estos resultados se enmarcan en la relación directa que existe, y que es medible, entre los lentos procesos de roturas sísmicas de las rocas silíceas que integran la corteza terrestre (litosfera), roturas que generan las vibraciones sísmicas que denominamos terremotos, las perturbaciones electromagnéticas que esas roturas generan en el campo electromagnético natural de la Tierra, y la incidencia de esas perturbaciones en los niveles medibles de ionización en la

ionosfera, lo que implica que las mediciones de la permanente relación física entre el campo electromagnético alrededor de la litosfera y el conteo de la concentración de iones en el aire de la ionosfera nos permitiría adelantarnos al menos una hora a un gran terremoto.

Y es que la ionosfera es la capa de la atmósfera que está compuesta por capas de aire ionizado (cargado con iones positivos y negativos), la cual se extiende desde una altura de 80 kilómetros sobre la superficie terrestre hasta una altura de 640 kilómetros, y es allí donde se producen esas vibraciones como reflejos de los procesos de roturas sísmicas ocurridos sobre la corteza terrestre, lo cual es conocido desde el gran terremoto de Anchorage, Alaska, ocurrido en marzo de 1964, donde quedó evidenciada una correlación entre los sismogramas registrados en las estaciones sísmicas y las variaciones en los ionogramas registrados a diferentes alturas de las capas ionosféricas en función de variaciones de la frecuencia de las ondas reflejadas que fueron observadas desde tierra mediante ionosondas y radares, y las que son medidas en el mismo aire mediante los satélites, lo que comenzó a sugerir que al detectar el momento, lugar y magnitud de la vibración en la ionosfera, se puede determinar la ubicación y magnitud de un terremoto.

El criterio de utilizar este fenómeno como precursor de terremotos tomó mayor fuerza cuando en Japón se realizó un detallado estudio sobre los efectos que en la ionosfera había producido el tsunami generado en junio de 2001 por un gran terremoto ocurrido en Perú, y donde el análisis del contenido total de electrones presentes en la ionosfera (TEC) puso de manifiesto la ocurrencia de una anomalía que se correspondía claramente con el tsunami ocurrido, midiéndose luego los mismos efectos anómalos durante el mortal tsunami ocurrido en todo el Sudeste asiático como consecuencia del gran terremoto de Sumatra, de fecha 26 de diciembre de 2004, y luego con el tsunami ocurrido en Chile inmediatamente después del gran terremoto ocurrido en Concepción en Febrero de 2010.

Por ello, hoy día, los datos obtenidos mediante el análisis del contenido total de electrones presentes en la ionosfera (TEC) como resultado del retraso en las señales electromagnéticas registradas en el sistema global de navegación por satélites (GNSS) nos permiten detectar, a nivel global, y con un alto nivel de confiabilidad, cambios bruscos en la ionosfera que pueden ser asociados con grandes terremotos y con tsunamis que también alteran la ionosfera.

CONCLUSIÓN

Ahora, cuando la sociedad comienza a entender que las causas de los grandes desastres sísmicos radican en las malas respuestas sísmicas de suelos flexibles donde las ondas sísmicas de corte (Vs) viajan muy lentamente, y a entender que para reducir las vulnerabilidades sísmicas en nuestras estructuras sensibles es necesario utilizar aislamiento sísmico basal, y ahora que se está demostrando científicamente que, tal y como lo planteamos en el año 2012, los procesos de roturas sísmicas de la corteza terrestre producen fricciones en los silicatos que a su vez generan descargas piezoeléctricas que inducen alteraciones locales en el campo electromagnético de la Tierra, y que esas alteraciones geomagnéticas pueden ser medidas con micromagnetómetros para conocer los

lugares de la corteza terrestre que están siendo sometidos a fuertes presiones litostáticas que al superar las resistencias máximas de la rocas producen las subsecuentes roturas regionales que liberan ondas sísmicas, y justo ahora cuando el análisis del contenido total de electrones (TEC) presentes en la ionosfera nos indica la inminencia de un gran terremoto, o la ocurrencia de un maremoto, es el momento de hacer las inversiones necesarias para el aislamiento sísmico obligatorio de las estructuras sensibles, y para la instalación de equipos para el monitoreo del campo electromagnético local de la Tierra y para la medición permanentemente del contenido total de electrones presentes en la ionosfera, a los fines de poder alertar, de manera temprana, a toda la sociedad, de la inminente ocurrencia de un próximo gran terremoto.

SOBRE EL AUTOR:

Osiris de León

Ingeniero geólogo, miembro de número de la Academia de Ciencias, y Asesor Científico del Poder Ejecutivo en Geociencias, Sismicidad y Prevención de Desastres.

Correo: osirisdeleon@gmail.com



INAPA Instituto Nacional
de Aguas Potables
y Alcantarillados

Seguimos trabajando para ti

**De la mano con la cultura y el desarrollo de
los profesionales y sus instituciones**



Ilustración: Wilson Morfe

VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL CUENCO DISIPADOR DEL VERTEDERO DE LA PRESA DE CHACUEY MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS -CFD

Por: Ing. Manuel Suero Cabral

RESUMEN

Se pretende mostrar la verificación hidráulica de la Rehabilitación del Cuenco Disipador del Vertedero de la Presa de Chacuey, ubicada en las Matas de Santa Cruz, provincia Montecristi, que fue implementada para cambiar su comportamiento hidráulico logrando que la disipación de la energía del flujo se realice a lo interno de la estructura disipadora y reducir el riesgo estructural y el daño aguas abajo.

El cuenco original era del tipo USBR II, el cual fue transformado mediante la demolición de los bloques en la rápida y el umbral a la salida, en un cuenco Tipo USBR III, con la construcción de nuevos bloques en la rápida, la inclusión de bloques intermedios y un nuevo umbral a la salida.

Auxiliado del AutoCAD se han construido dos modelos tridimensionales de la estructura del vertedero completo, uno con la configuración Original y el otro con la rehabilitación del Cuenco Disipador. Mediante el uso de un Modelo Matemático, FLOW-3D, que usa técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional –CFD (por sus siglas en ingles), se han realizado simulaciones para evaluar el comportamiento mediante el modelado tridimensional del flujo para ambas condiciones de la estructura.

Palabras Clave: Cuenco Disipador, Disipación de Energía, Turbulencia, Dinámica de Fluidos Computacional -CFD.

INTRODUCCIÓN

La Presa de Chacuey está localizada en el municipio de Las Matas de Santa Cruz, provincia de Montecristi, en la Línea Noroeste. Junto con la Presa de Maguaca constituyen las dos obras hidráulicas más importantes de la zona.

En las diversas revisiones del diseño del proyecto con relación a la configuración original, el tema del vertedero siempre estuvo presente. En el proyecto de rehabilitación del 1995 se levantaron los muros laterales y se amplió la longitud del Cuenco Disipador para ajustarlo al recrecido de la presa y a la revaloración hidrológica del caudal de Diseño de 740 m³/s. En estudios posteriores se determinó que la longitud adicionada al cuenco no fue suficiente y se decidió por cambiar su configuración a una que resultase más efectiva en cuanto a la capacidad de disipación de energía.

ANTECEDENTES

Esta presa ha sido intervenida varias veces desde 1979, debido a problemas relacionados con la fundación y defectos de construcción.

En 1988 fue sometido un estudio y ejecución de rehabilitación que consistió en el recrecimiento del muro de presa para llevar la corona desde la cota 62.87 msnm a la 64.67 msnm, solucionar problemas de filtración, construcción de una torre de toma para riego, desagüe de fondo, caseta de válvulas y la modificación del vertedero

para ajustarlo a las condiciones del recrecido, estas obras finalizaron en el 1995. En 2003 fue revisada dentro del marco del proyecto de vulnerabilidad de grandes presas realizado por la empresa inglesa HalCrow, en el que se determinó que el funcionamiento del cuenco disipador del vertedero no obedecía a los estándares de diseño, debido a que el resalto hidráulico no se formaba dentro de la estructura y por tanto la disipación de la energía del flujo se realizaba aguas abajo del cuenco por erosión del cauce.

Luego en el 2011, fue contratada la empresa TYPESA para ejecutar el proyecto de diseño y supervisión de la rehabilitación tanto de las filtraciones en la presa como de los trabajos en el vertedero, en el que se diseñó la modificación del cuenco disipador ajustando sus características a la tipología del cuenco USBR-III, basado en las recomendaciones de los manuales técnicos de la Oficina de Reclamaciones de los Estados Unidos (U.S. Bureau of Reclamations).

1 **TABLA NO.-1 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA PRESA CHACUEY**

Cuenca Hidrográfica	Yaque del Norte
Río	Chacüey
Área de Cuenca	106.00 Ha
Tipo de Presa	Materiales Sueltos
Altura de la Presa	34.00 m.
Elevación Corona de la Presa	64.67 msnm
Longitud Corona de la Presa	165.0 m.
Elevación Cresta del Vertedor	55.30 msnm
Tipo de Vertedor	Cresta libre
Capacidad Vertedor	740 m ³ /s
Nivel Operación Normal	54.63msnm
Área del Embalse al Nivel Normal	2.70 km ²
Capacidad de Almacenamiento Total	13.70 Hm ³

Imagen 1. Características técnicas de la presa

CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO

El vertedero está compuesto al inicio por un Azud tipo Creager con cota en la 55.30msnm, una rápida con tres cambios de pendiente y un cuenco disipador cuya losa (solera) se encuentra a la cota 31.00msnm, la diferencia de carga a vencer es de 23.00m. La configuración original consistía en un cuenco disipador tipo USBR II, con 11 bloques al final de la rápida y un umbral al final con 5 dientes, como se muestra en la Figura 2. El vertedero inicia con un ancho de 30.90m y luego se reduce mediante una transición con longitud de 41.19m a un ancho constante de 15.00m hasta el final, como puede verse en la imagen 2.

Los muros cajeros tienen alturas variables en función del cambio de pendiente que sugiere una disminución del tirante en el canal. La rápida tiene una longitud total de 126.00m con tres cambios de pendientes $S_1=9.85\%$, $S_2=22.73\%$ y $S_3=37.04\%$. La longitud total del cuenco disipador es de 42.74m y la altura de los muros cajeros en el cuenco es de 11.00m. Los muros laterales están reforzados por contrafuertes laterales que controlan las deformaciones producidas por la sollicitación hidrostática y reducen las vibraciones producidas por la turbulencia generada por la disipación de la energía del flujo.



Imagen 2. Vista Frontal del Cuenco Disipador de la Presa de Chacuey.

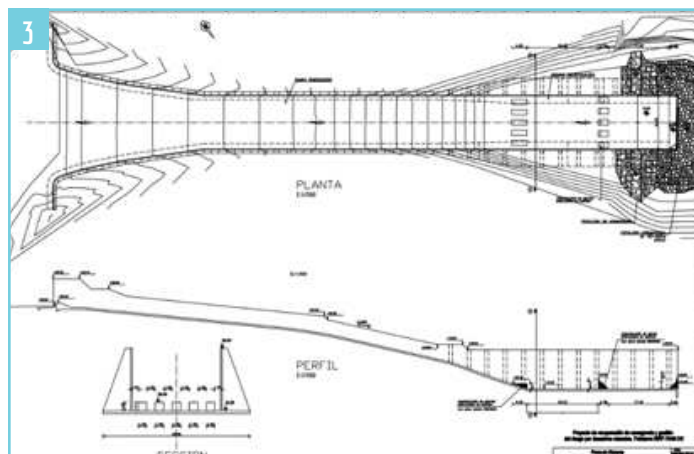
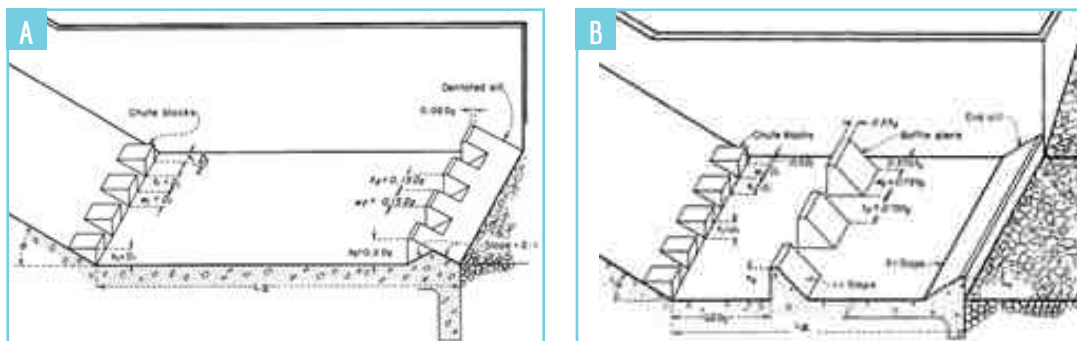


Imagen 3. Plano Vertedero de Chacuey con Cuenco Disipador Modificado.

Cuenco Disipador Tipo II, fue desarrollado por la Oficina de Reclamaciones de los Estados Unidos (USBR, 1987) basado en estudios de modelos y evaluación de cuencos existentes. Este Cuenco emplea bloques en la rápida y un umbral final dentado como se muestra en la figura 2a. No se usan bloques intermedios por que la gran velocidad de entrada produciría cavitación. El diseño recomendado de este tipo se limita a las siguientes condiciones:

- El caudal máximo unitario debe ser de 46.45 m³/s por metro de ancho de cuenco.
- El número de Froude, que ingresa al cuenco, debe estar entre 4 y 14.
- La elevación del agua en la cola (a la salida) debería ser un 10% mayor que la elevación total de la profundidad del tirante conjugado.



Cuenco Disipador Tipo III (USBR, 1987). Los disipadores de energía de impacto se forman colocando un objeto directamente en el camino del flujo de alta velocidad. La intención de esta configuración es utilizar la fuerza de arrastre y la turbulencia inducida para disipar energía no deseada, emplea bloques al pie de la rápida, bloques deflectores intermedios y un umbral final como se muestra en la figura 2b. El diseño recomendado de este tipo se limita a las siguientes condiciones:

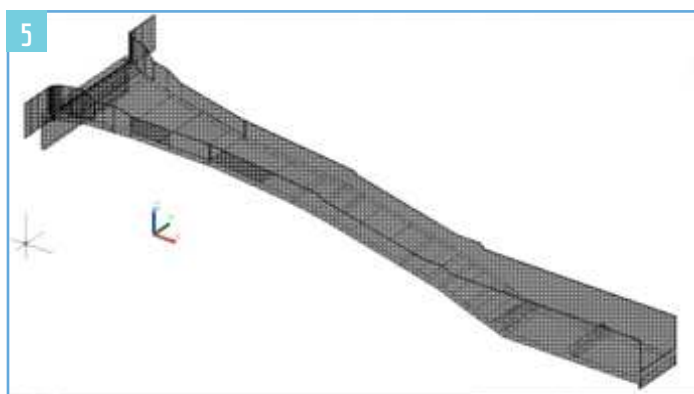
- El caudal máximo unitario debe ser de 18,60 m³/s/m.
- Las velocidades, al ingresar al cuenco, deben ser menores a 18.30 m/s.
- El número de Froude, que ingresa al cuenco, debe estar entre 4.5 y 17.
- La elevación del agua en la descarga debe ser igual o mayor que la elevación total de la profundidad del tirante conjugado.

Las paredes laterales en la cara interna del cuenco deben ser verticales en lugar de trapezoidales para garantizar el correcto funcionamiento del salto hidráulico.

MODELO EN AUTOCAD 3D

Basado en los planos de diseño tanto de la versión original así como del proyecto de rehabilitación, se ha construido un modelo en 3D del vertedero para ambos casos. Una vez creado el modelo en 3D, usando las técnicas de dibujo asistido por computadora, es exportado y convertido en un formato STL (STereo Lithography), para luego ser importado en el modelo matemático, y servir como objeto sobre el cual el flujo se desliza interactuando con la forma y rugosidad asignada, generando el comportamiento que se busca evaluar.

La imagen 5 muestra, en vista en Rayos X, el modelo 3D de condiciones del vertedero Rehabilitado.



CAPACIDAD COMPUTACIONAL EMPLEADA

El equipo empleado para el cálculo matemático en el modelo de simulación hidráulica, Flow 3D, se realizó en un computador HP-Elitebook Workstation, con un procesador Intel(R) Core(TM) i7- 384QM CPU @ 2.80GHz, con 8.00 GB de memoria RAM y un sistema operativo Windows 7 de 64 bits.

MODELO NUMÉRICO

Descripción del Modelo Numérico Flow 3D; El modelo numérico 3D se basa en el uso común de las Ecuaciones de Reynolds promedio de Navier-Stokes (RANS). Para resolver las Ecuaciones RANS se usó el código de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), comercialmente disponible, Flow-3D. Este calcula superficies libres con la técnica del Volumen de fluido (VOF) y también incorpora una técnica especial, conocida como (FAVOR, definido como el método de Representación Fraccional de Obstáculos de área/volumen, es una técnica de porosidad utilizada por Flow-3D para definir regiones geométricas complejas.

La porosidad de la malla es cero dentro de las celdas completamente llenas de un obstáculo sólido y uno para celdas de la malla que no tienen ningún obstáculo sólido. Las celdas de malla parcialmente rellenas con un obstáculo sólido tienen una porosidad de rejilla entre Cero y Uno, basado en el porcentaje de volumen que es sólido. Esta metodología fue empleada para calcular el nivel de la

superficie del agua en el modelo numérico 3D. Para discretizar las ecuaciones RANS.

La implementación del modelo numérico se realiza en cuatro pasos fundamentales: importación de la geometría 3D creada en AutoCAD, creación del mallado, establecimiento de las condiciones de contorno, definición del volumen del fluido y las condiciones Iniciales. A continuación se detallan cada uno de los pasos.

Geometría del modelo:

La geometría del vertedero y su cuenco disipador fue modelada mediante un software de dibujo asistido por computador CAD, mediante el cual se realiza la creación de Sólidos 3D. Luego, el modelo tridimensional de la geometría es guardado y exportado en formato .stl (Stereo lithography). El archivo creado en el paso anterior es importado al modelo numérico FLOW-3D.

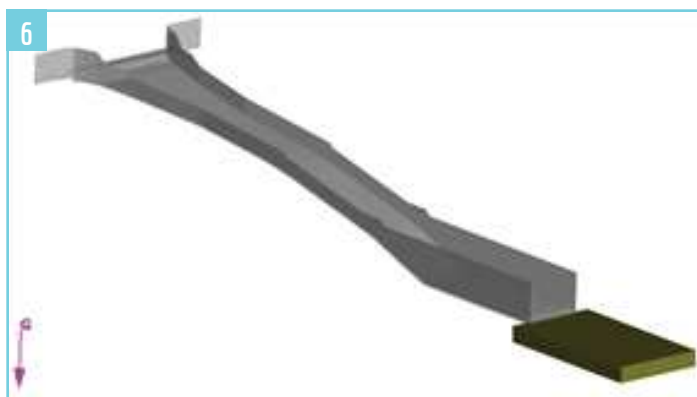


Imagen 6. Modelo 3D Renderizado.

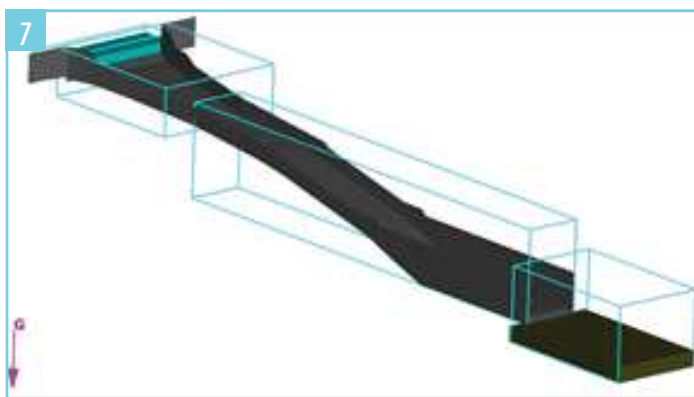


Imagen 7. Bloques del dominio de simulación.

Mallado

El bloque-1 aguas arriba de la estructura hidráulica (malla 1) representa el volumen de fluido (embalse), el Bloque-2 representa la Transición Vertedor-Rápida, Bloque-3 constituye los Tramos de Rápida más Cuenco Disipador y el Bloque-4 es una representación del Área de Impacto fuera del Cuenco Disipador, como se muestra en la Figura 5.

Cuatro mallas numéricas de elementos hexaédricos fueron construidas con elementos cúbicos uniformes que se muestran abajo en la Figura 6, que se utilizaron para permitir simular correctamente el flujo de fluido desde el depósito (embalse) hasta el área de impacto fuera del cuenco. Todas las mallas fueron construidas con celdas de 0.50m en las tres

dimensiones. Para la malla 1, se generó un volumen de 113,900 celdas, la malla 2 con un volumen de 2, 608,848 celdas, malla 3 con 3, 524,976 celdas y por último la malla 4 con un volumen de 1, 409,555 celdas. Con un mallado más fino se obtiene mayor precisión, pero los requerimientos del sistema computacional son mucho mayores y el tiempo de simulación sería mucho largo.

Como puede observarse en la Figura 8, la malla envuelve toda la estructura para lograr que el objeto interactúe completamente con el fluido.

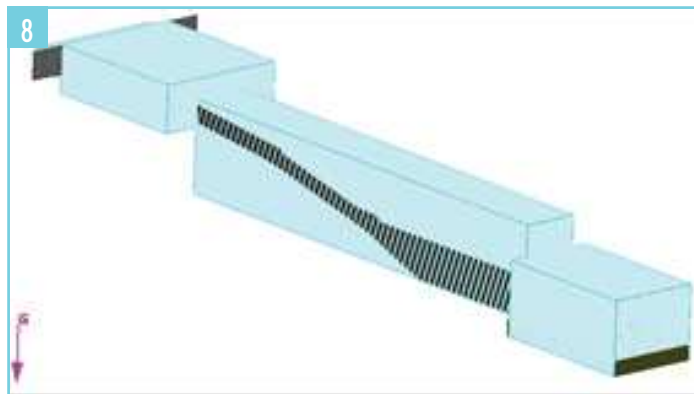


Imagen 8. Bloques definición de mallado.

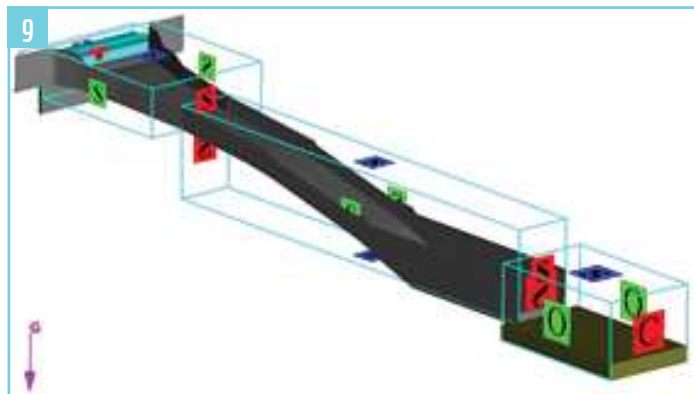


Imagen 9. Condiciones de contorno de dominio.

Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno del modelo numérico 3D se muestran en la Figura 7. Se estableció una Condición de Entrada del flujo designada como Volumen "Vfr" (volumen fluid rate), en el que se ha asignado un valor para el Caudal de Diseño de 430 m³/s (58% de la CMP) y estableciendo una carga hidráulica correspondiente al Nivel Máximo de Operación (59.14msnm), y una Condición de Salida en el bloque 4, designada con la letra "C" (continuative) en la cara Xmax del bloque, pero en las caras Ymin y Ymax se asigna la condición de "O" (outflow), indicando que el flujo al salir del confinamiento del cuenco es libre de moverse hacia zona abierta. Además, el código CFD proporciona la opción de definir una condición de límite de Simetría "S", que significa que todos los flujos hacia el límite son iguales a cero, la cual ha sido asignada a todas las demás paredes de los bloques.

Condiciones iniciales:

En la asignación de las condiciones multifísicas se aplica un valor de la Gravedad de $g = -9.81 \text{ m/s}^2$, y para las propiedades del Líquido, en este caso agua, se establece un Peso Específico de 1,000 kg/m³ a una Temperatura de 20°C. Se establece además, la condición de Presión Hidrostática, que en este caso se coloca el nivel del embalse en la Elev. 58.87 msnm que corresponde a una carga hidráulica sobre el vertedero de 3.60 m, para el caudal de 430.00 m³/s, usado para el diseño de la rehabilitación. Por último, se selecciona el Modelo de Turbulencia RGN/k- ϵ , el cual es un modelo robusto que relaciona la existencia de la Energía Cinética kT y la disipación de la misma Energía ϵT , proporcionando una razonable aproximación para fluidos con evidente presencia de turbulencia en el flujo.

La geometría se completó con la creación del bloque (4) ubicado después del cuenco disipador, para simular el efecto de degradación del cauce al disipar el impacto del fluido y para poder medir dicho efecto en ambos modelos. Se construyó este bloque, empleando las herramientas disponibles por el programa Flow-3D hábiles para tales fines, y se le asigno propiedades de Suelo para un tipo de material con densidad de 1,600 kg/m³, coeficiente de fricción de 32° y un número crítico de Shields de 0.05 para la medición de la socavación.

El Numero Critico de Shields para la caracterización del suelo sobre el cual impactara el chorro a la salida del cuenco disipador se determinan usando la Figura 8 mostrada a continuación.

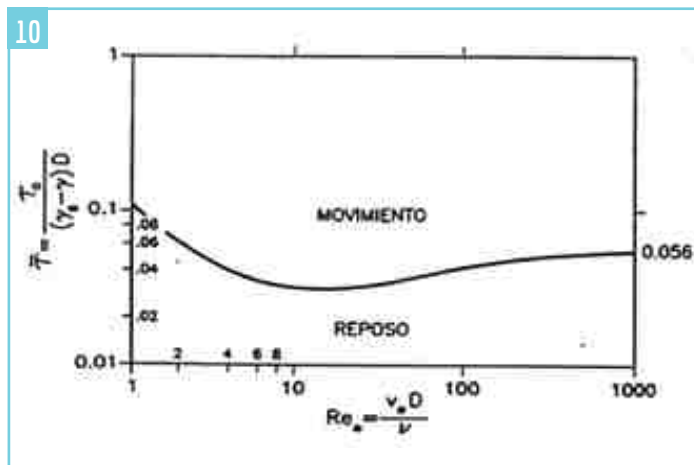


Imagen 10. Gráfico de Shields para caracterización de erosión de suelo. Soulsby, 1997.

SIMULACIONES

Se realizaron dos simulaciones, una para cada caso. Una vez definidos los aspectos de la configuración geométrica para el modelo y las condiciones multifísicas correspondientes, se asignó un tiempo de simulación de 25 segundos, como puede verse en la Figura 9, el cual debió ser lo suficientemente largo para permitir que todo el proceso de cálculo se realice en toda la estructura del vertedero, más el área de impacto fuera del cuenco.

Cada simulación consumió un tiempo de procesamiento de cómputo de 21 horas, 18 minutos y 60 seg, este tiempo se reduce usando un computador con una configuración

de hardware más potente. Se usó en cada caso, el mismo mallado y condiciones de borde, solo se sustituyó el modelo 3D, mediante la importación del archivo en formato .STL creado en AutoCAD, primero para simular el comportamiento del vertedero original y luego para la condición rehabilitada.

El proceso de la simulación se da en tres pasos, primero el pre-chequeo salva la configuración en la ruta de almacenamiento de datos, segundo pre-proceso en el que se verifica que los parámetros geométricos y de mallado estén correctos y la Corrida (Run), la misma se realizó usando los ocho procesadores paralelos disponibles en la máquina.

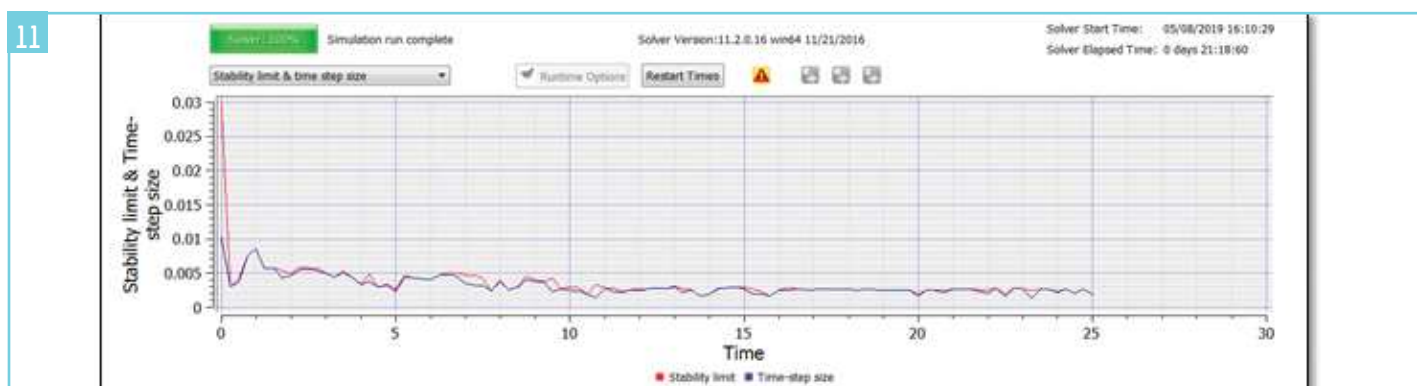


Imagen 11. Se muestra la estabilidad del proceso de la simulación en cada paso del tiempo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en el Cambio de velocidad del flujo y el Patrón Erosivo dejado aguas abajo del cuenco disipador se puede establecer la efectividad de cada una de las condiciones evaluadas en el estudio.

La condición conocida como "Original", cuya premisa a ser demostrada es que su efectividad de disipación de energía no obedece a los criterios del cuenco disipador USBR Tipo II, como han evidenciado en los estudios realizados para su rehabilitación, debido a que el resalto hidráulico no se forma dentro del cuenco disipador, lo que implica que la energía acumulada en el flujo debe ser disipada fuera del cuenco como puede verse en la Figura 12 y aguas abajo de la estructura, provocando daños por erosión.

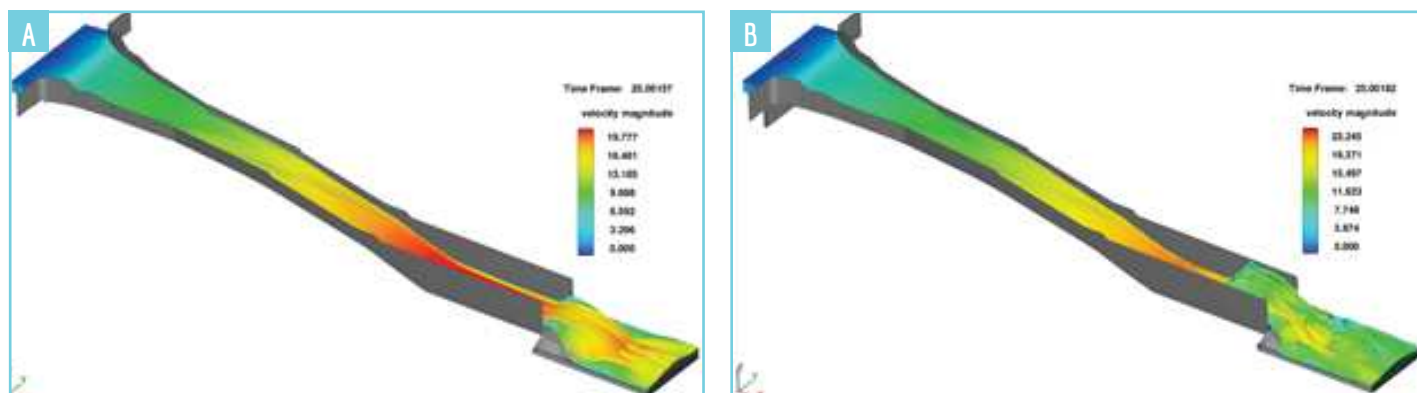


Imagen 12. Resultados en el tiempo completo de simulación A) Estructura Original B) Estructura Rehabilitada.

En ambos casos el comportamiento del vertedero y la rápida es idéntico. Las variaciones y diferencias se presentan al aproximarse al cuenco. El cambio en las dimensiones de los bloques al final de la rápida, en el modelo rehabilitado, ejerce influencia en el patrón de comportamiento variando la velocidad del flujo antes de entrar al cuenco, como claramente puede verse en la Figura 12. La escala de valores está asociada a la escala de colores que muestra el comportamiento del fluido; la misma va desde el azul como el valor de menor velocidad hasta el rojo como el mayor valor.

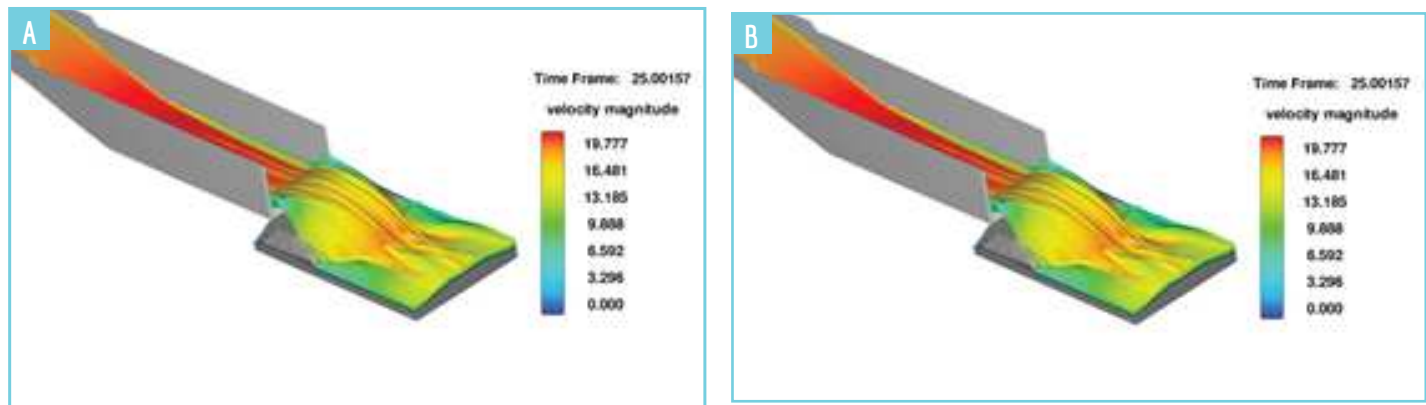


Imagen 13. Comportamiento del cuenco disipado A) Original B) Rehabilitado.

La Figura 13 muestra que para el cuenco Original el ingreso de velocidades en el orden de los 19.00 m/s a 20.00 m/s, la disipación producida reduce estas velocidades a un rango entre 13.00m/s y 18.00 m/s a la salida, las cuales son altamente erosionables.

Para el caso del cuenco rehabilitado la turbulencia producida por el impacto del flujo sobre los bloques de la rápida y los bloques intermedios, elevan el flujo que colapsa con el chorro producido por el umbral al final del cuenco cayendo fuera de la estructura. Esta turbulencia podría llegar a producir cavitación por la alta velocidad con que impacta en los bloques. La disipación no se logra por completo debido a que las velocidades en la salida se mantienen en el orden de 8.00 m/s a 14.00 m/s.

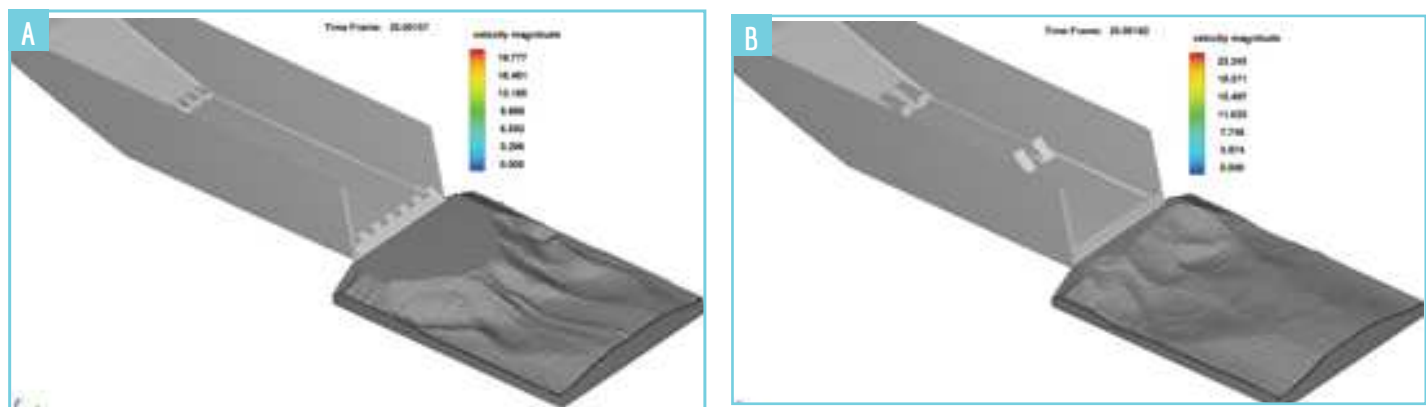


Imagen 14. Patrón de erosión dejado por el impacto del flujo aguas abajo. A) Estructura original B) Estructura rehabilitada.

En la Figura 14 se ha sacado el fluido para poder ver el patrón erosivo dejado aguas abajo de la estructura, en el modelo Original, es bastante profundo y podría ser regresiva produciendo remolinos en todo el entorno, socavando las bases y poniendo en peligro la obra. Este comportamiento es evidencia de la alta velocidad que conserva el flujo a la salida.

En el caso del cuenco Rehabilitado, el patrón erosivo es menos profundo como evidencia de la disipación dentro del Cuenco, pero debido a la velocidad que conserva el flujo la erosión cercana a la estructura no deja de tener un Alto Riesgo.

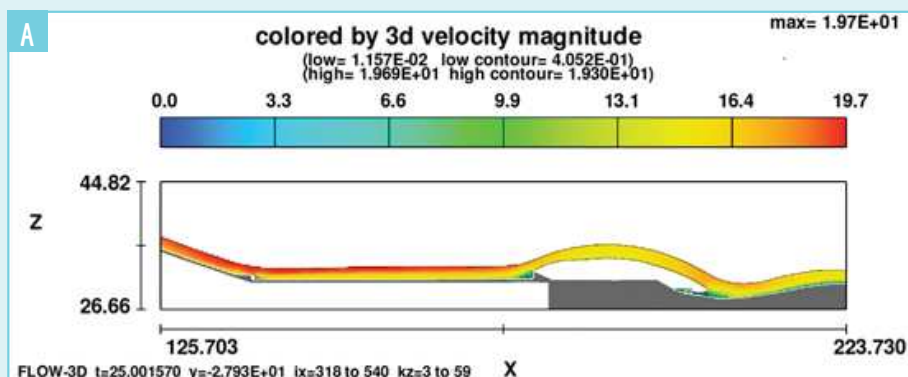
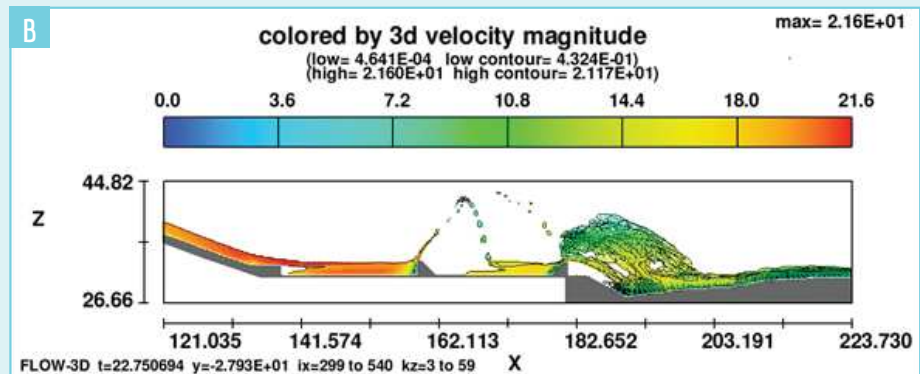


Figura 15. Sección mostrando Erosión Aguas Abajo del Cuenco Disipador para: a) Condición Original, y b) Condición Rehabilitada.



Como puede observarse en la figura 15A la velocidad en el cuenco no se disipa y se mantiene en el orden de los 19.70 m/seg hasta el final y transfiere la energía no disipada al cauce aguas abajo creando socavación que puede ser regresiva hacia la estructura poniéndola en gran peligro, ver Figura 14. Aguas bajo de la estructura, si la velocidad no se reduce, se estarán produciendo daños importantes a todo lo largo del cauce.

En la Figura 15B se muestra el comportamiento del cuenco disipador Rehabilitado. Como puede verse al igual que en el modelo Original, mostrado anteriormente, el flujo entra al cuenco con velocidad alta, pero un 50% impacta con los

bloques intermedios y el resto continúa e impacta con el umbral a la salida. Los bloques intermedios crean turbulencia mediante la cual se reduce la energía del flujo, luego el umbral de salida eleva el flujo y se mezcla incrementando la turbulencia y disminuyendo la velocidad de salida.

La erosión aguas abajo de la estructura es mucho menor que el caso del cuenco Tipo II, sin embargo, la velocidad de salida no es la deseada. Según se observa el flujo continúa con una velocidad de alrededor de 7.00 m/seg, lo ideal sería que se consiguiera una atenuación de alrededor de 2.00 a 3.00 m/seg.

CONCLUSIONES

Luego de realizar un análisis exhaustivo de los resultados comparativos entre el modelo que representa las condiciones de la estructura que estaba funcionando hasta el 2015, cuando fue rehabilitada, y la intervención hecha para ajustarla a condiciones de trabajo aceptables.

Hasta este momento no ha operado al nivel que se está ensayando, por tanto no se ha podido verificar su comportamiento real ante un evento y contactar algunas de las observaciones aquí presentadas.

De todo lo revisado se pueden presentar los siguientes hallazgos: Se comprueba que el dimensionamiento del cuenco disipador tipo USBR II no era correcto, debido a las altas velocidades conservadas en el flujo la erosión producida a la salida del cuenco disipador original ponía en peligro la estructura.

Los cambios realizados para ajustar el cuenco disipador al tipo USBR III son aceptables al reducir las velocidades mediante la creación de turbulencia y pérdida de energía en el flujo.

La cantidad de reducción de energía no es lo idealmente esperado en el proyecto de rehabilitación debido a que se produce erosión muy cerca de la estructura, el chorro de impacto debió quedar contenido dentro del cuenco disipador y de esa manera la velocidad de salida sería de menor magnitud.

Variando lo sugerido para el diseño del cuenco tipo III, es probable que si los bloques intermedios estuvieran desplazados más hacia aguas arriba, dentro del cuenco, la trayectoria del

chorro finalizaría dentro de la estructura, mezclándose con el flujo que sigue sin impactar, rompiendo con la energía de este y saliendo con velocidad aceptable.

La magnitud de la turbulencia generada en el proyecto de rehabilitación podría producir cavitación en los bloques de intermedios.

Debido a que solo se ha modelado un 58% del caudal de diseño, la erosión presentada en el proyecto de rehabilitación

aumentaría de forma peligrosa al incrementarse el caudal.

La solución al problema sería prolongar la estructura para contener toda la turbulencia dentro del cuenco y lograr que la velocidad se reduzca a un valor cuya erosión sea aceptable.

Se observa, además, que para caudales mayores a los ensayados los muros en el cuenco resultarían muy bajos con la posibilidad de ser sobrepasados.

Se reconoce las ventajas de los modelos numéricos de Dinámica de Fluidos CFD en el análisis y revisión de los diseños de obras hidráulicas, tanto en el proceso de estudio como en la revisión de estructuras existentes, para lograr el mejor desempeño de las mismas.

El empleo de estos modelos matemáticos podría convertirse, en el futuro, en una herramienta común en el diseño de las obras hidráulicas de importancia.

REFERENCIAS

1. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Grandes Presas, HalCrow, 2003.
2. Informe final de diseño. Proyecto de recuperación de emergencia y gestión del riesgo por desastres naturales. Presas de Tavera, Jigüey, Maguaca y Chacuey. Fase 5. Chacuey, TYPASA-MENDAR-ENGECORPS, Junio 2013
3. Flow Science, I. (2014). FLOW-3D User Manual Release 11.0.3 (2014th Ed.).
4. Peterka, A.J., (1984). Hydraulic design of stilling basin and energy dissipators. 8. ed., Denver, Colorado: United States Government Printing Office.
5. USBR, Folsom Dam Joint Federal Project, Existing spillway modeling, Discharge Capacity Studies, California, USA, 2009.
6. Raphael Damiron, CFD Modelling of Dam Spillway Aerator. Master Thesis TVVR 15/2014, Division of Water Resources Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Lund University.
7. F. Salmasi, Determination the Invert Level of a Stilling Basin to Control Hydraulic Jump, June, 2012. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
8. H.L. Tiwari, A. Goel, Effect of End Sill in the Performance of Stilling Basin Models. Department of Civil Engg Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India, 2014.
9. Higgs, J.A. (1996). Type II and III stilling basin modifications computational fluid dynamic model study, Water Resources Research Laboratory, Bureau of Reclamation, The Stilling Basin Abrasion Damage Prevention Enterprise Project.
10. D. Valero, D.B. Bung, B.M. Crookston, and J. Matos, Numerical Investigation of USBR Type III Stilling Basin Performance Downstream of Smooth and Stepped Spillways. June 2016.
11. Maatooq, Jaafar and Taleb, Enass, "The Effects of Baffle Blocks Locations and Blockage Ratio on the Sequent Depth and Velocity Distribution of Forced Hydraulic Jump" (2018). International Symposium on Hydraulic Structures.
12. Babaali, H.; Shamsai, A.; Vosoughifar, H. Computational Modeling of Hydraulic Jump in Stilling Basin with Convergence Wall Using CFD Cods. Arab. J. Sci. Eng., 40, 381–395 (2015).
13. C.B. Cook, M.C. Richmond, J.A. Serkowski, The Dalles Dam, Columbia River: Spillway Improvement CFD Study, June 2006.
14. K. Büyüktaş, A. Tezcan, İ. Sajid, S. Büyükkök, Analysis of the Flow Characteristics of Energy Dissipating Structures in Dam Spillways by CFD Method. Akdeniz University, Antalya, Turkey.
15. H. Babaali, N. Soori, S. Soori, A. Mojtahedi, A. Hamed, Static Pressure Estimation on Converging USBR II Stilling Basin: Numerical Approach. August, 2018.

SOBRE EL AUTOR:

Ing. Manuel Suero Cabral.

Ingeniero civil, Universidad Dominicana O&M.

Encargado de la División de Seguridad de Presas en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos INDRHI. Santo Domingo, D.N.

Correo: Ing.manuelsuero@gmail.com

CONOCE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE CARRETERAS EN REPÚBLICA DOMINICANA.

¡Un libro que todo ingeniero debe leer!

**FUNDAMENTOS BASICOS Y GUIA EN
LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.**



**CONCEPTOS PRACTICOS
PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**

Ing. José Espinosa Feliz

Adquíralo en las librerías:

INTEC

UNILIBRO

LA ESCALERA

HERMANOS SOLANOS

O con el autor

Al teléfono 809-481-8794

Correo josedespinosa@gmail.com