



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Uso de un modelo hidrodinámico-hidrológico para el estudio de zonas de inundación con presencia de infraestructura de pozo de exploración

Dr. Israel E. Herrera D.^{*1}, Dr. Clemente Rodríguez C.², Dr. Carlos Couder C.³

¹ Universidad de Guanajuato
Depto. Ingeniería Agroindustrial
Campus Celaya-Salvatierra, México
eherrera@ugto.mx

² Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
S.L.P., México
clemente.rodriguez@uaslp.mx

³ Instituto Politécnico Nacional,
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Zacatenco
Ciudad de México, México
ccouder@hotmail.com



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Resumen

Se presenta la modelación numérica computacional de la hidrodinámica superficial e hidrológica de la zona de estudio donde se pretende construir infraestructura para la exploración de hidrocarburos en las márgenes del río Grijalva; para ello se muestra el análisis de la información meteorológica, determinando los valores de intensidad de precipitación, temperaturas, evaporación y el hidrograma correspondiente al año 2013; las zonas de inundación se obtuvieron con programas desarrollados en FORTRAN y MATLAB de las ecuaciones de Navier-Stokes-Reynolds para flujos a superficie libre y la intensidad de precipitación con la distribución de Gumbel con parámetros estimados mediante el método de Momentos Ponderados con Probabilidad (MPP), los cuales mediante una malla numérica de la topografía en conjunto con los valores meteorológicos como condiciones iniciales y forzantes, se determina la magnitud de la inundación del área de estudio, así como la obtención de gastos, velocidades y del funcionamiento hidráulico de las obras de mitigación propuestas para preservar el balance hidrológico del sistema.

Palabras Clave: Zonas de inundación, modelos hidrodinámicos, modelos hidrológicos, río Grijalva



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Abstract

Computational numerical modeling of surface and hydrological hydrodynamics of the study area which aims to build infrastructure for the exploration of hydrocarbons in the banks of the Grijalva River is presented , for this analysis of weather information is displayed , determining the intensity values precipitation , temperature , evaporation and for the year 2013 hydrograph , flood zones were obtained with programs developed in MATLAB and FORTRAN for the Navier - Stokes - Reynolds free surface flows and intensity of precipitation distribution Gumbel to estimates by the method of Moments with Weighted Probability (MWP), which by a numerical grid of the topography in conjunction with meteorological values as initial conditions and forcing terms , the magnitude of the flooding of the study area is determined and as obtaining flow rate, speed and hydraulic performance of the proposed mitigation works to preserve the water balance of the system.

Keywords: flood zones, hydrodynamic models, hydrological models, Grijalva River



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Introducción

La exploración de hidrocarburos en México es una de las principales labores de la industria de los energéticos, el contar con estudios que proporcionen información veraz y oportuna es primordial para una acertada toma de decisiones, ya que genera un panorama actualizado sobre aspectos técnicos y socioeconómicos que influyen y que coinciden en un mismo espacio-tiempo.

Una de las herramientas que están contribuyendo a los estudios previos hidrológicos, son los modelos numéricos computacionales aplicando la dinámica de fluidos (CFD) por sus siglas en inglés, el cual constituye una aproximación en el estudio de las ecuaciones de la dinámica de fluidos que son utilizadas para describir diferentes fenómenos físicos relacionados con el movimiento de los fluidos, como los producidos por los flujos compresibles e incompresibles.

El objetivo de este trabajo radica en acoplar un modelo hidrodinámico y un modelo hidrológico para determinar el funcionamiento hidrodinámico de la zona propuesta para colocación de pozos de exploración o explotación antes y después de colocada la infraestructura de proyecto; se tiene conocimiento previo que la zona se comporta como una llanura de inundación por sus características topográficas, hidráulicas y geo-hidrológicas, por lo que se plantea como objetivo secundario el analizar medidas de mitigación para no alterar sustancialmente el balance hidrodinámico de la zona seleccionada.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Metodología

La zona de estudio se encuentra en la margen izquierda del río Chilapa o Grijalva en el Estado de Tabasco (figura 1) donde está limitada por un polígono formado por canales en la parte inferior y superior así como del río Tabasquillo en el extremo izquierdo. Existe una obra civil, la cual está ubicada en la parte central de la planicie que forma el sistema y es el objetivo principal del estudio.

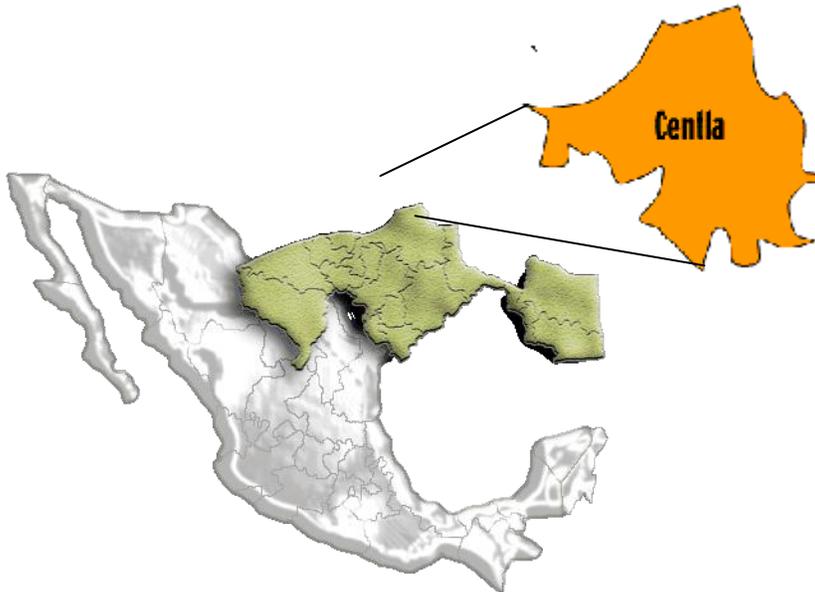


Figura 1. Localización de la zona de estudio

(Municipio de Centla, Edo. de Tabasco)

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

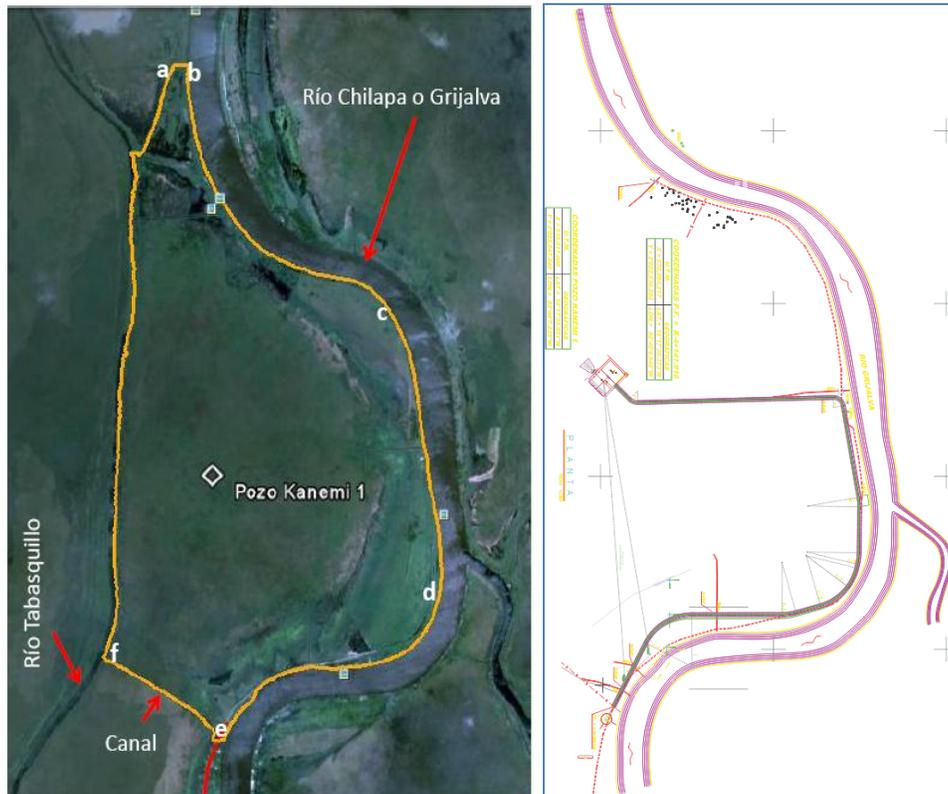


Figura 2. Localización y delimitación de la zona de estudio (izq.) y trazo de infraestructura dentro del sistema ambiental (der.)

El trazo del camino propuesto hacia las instalaciones proyectadas del pozo se presenta en la figura (2 der.), el camino al ser nuevo en el sistema ambiental, contempla el uso de pasos de agua o alcantarillas para permitir el flujo hidrológico del sistema sin que éste presente alteraciones sustanciales a su estado original. La ubicación y dimensionamiento de estos se determinan en función de las magnitudes de velocidades calculadas y de los gastos provenientes de los resultados de la simulación y deben de garantizar que el flujo hidrológico no se



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

encuentre interrumpido y siga su cauce natural con la finalidad de dar cumplimiento a la NOM-022.

Desde el punto de vista hidráulico, se considera que la morfología general de la zona es sensiblemente constante en el tiempo.

El modelo hidrodinámico empleado resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes a superficie libre, en coordenadas cartesianas; con la hipótesis de presión hidrostática y considerando los postulados de Reynolds son (Broomans, 2003)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \text{div} \left(\nu_e \overrightarrow{\text{grad}}(u) \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \text{div} \left(\nu_e \overrightarrow{\text{grad}}(v) \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-z_f}^{\eta} u \, dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-z_f}^{\eta} v \, dz \right)$$

Donde ν_e es el coeficiente de viscosidad efectiva, obteniéndose mediante la suma del coeficiente de viscosidad turbulenta y molecular $\nu_e = \nu_t + \nu_m$ Stansby (2003) propone el siguiente modelo para resolver la viscosidad turbulenta:

$$\nu_t = \left\{ \ell_h^4 \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] + \ell_v^4 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (2)$$

donde la longitud vertical se define por: $\ell_v = \kappa(z - z_b)$ for $(z - z_b)/\delta < \lambda/\kappa$ y $\ell_v = \lambda\delta$ para, $\lambda/\kappa < (z - z_b)/\delta < 1$ κ es la constante de von Karman con valor típico de 0.41, $(z - z_b)$ es la distancia desde el fondo, δ es el espesor de la capa límite y λ es una constante con valor de 0.09. Las condiciones de frontera para la superficie libre y de fondo se representan por:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

$$\tau_x^{fondo} = \nu_s \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{fondo} = \frac{g\sqrt{u^2+v^2}}{Cz^2} (u)$$

$$\tau_y^{fondo} = \nu_s \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_{fondo} = \frac{g\sqrt{u^2+v^2}}{Cz^2} (v)$$

(3)

donde Cz es el coeficiente de fricción de Chezy. Las componentes de la velocidad toman los valores de la capa adyacente a la interfase agua-sedimento.

$$\tau_x^{sup} = \nu_s \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{superficie} = -\frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} a_{viento} \omega_x |\omega_x|$$

$$\tau_y^{sup} = \nu_s \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_{superficie} = -\frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} a_{viento} \omega_y |\omega_y|$$

(4)

donde $\rho_{aire} = 1.29 \text{ kg/m}^3$, ω_x y ω_y son las componentes horizontales en x e y respectivamente de la velocidad del viento a 10 m de altitud. El coeficiente a_{viento} (adimensional) se puede obtener utilizando la ecuación dada por Flather (1976)

$$a_{viento} = 0.565 \times 10^{-3} \quad \text{si } |\vec{\omega}| \leq 5 \text{ m/s}$$

$$a_{viento} = (-0.12 + 0.137|\vec{\omega}|)10^{-3} \quad \text{si } 5 \leq |\vec{\omega}| \leq 19.22 \text{ m/s}$$

$$a_{viento} = 2.513 \times 10^{-3} \quad \text{si } |\vec{\omega}| \geq 19.22 \text{ m/s}$$

(5)

La amenaza por inundación está en función de la ocurrencia del fenómeno y de su intensidad. La intensidad a su vez se define en función de la velocidad y profundidad del agua, así como de la duración de la inundación. Por lo tanto la definición de amenaza de inundación (en función del daño potencial), toma en cuenta la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación, como los niveles o altura de la superficie libre del agua.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

El modelo hidrológico tiene como principio la relación precipitación-escorrentía, e incorpora la generación de lluvias convectivas estocásticas, que permite definir escenarios de amenazas específicos para la posterior evaluación del peligro de inundación asociado. Se emplea la distribución de Gumbel con parámetros estimados con el método de Momentos Ponderados con Probabilidad (MPP), considerado la mejor distribución que se ajusta a precipitaciones extremas para este caso.

$$P_m = \frac{\sum[P_i * A]}{\sum[A]} \tag{6}$$

$$I(t, T) = at^b \tag{7}$$

donde P_m es la precipitación media, A es el área limitada por las poligonales de Thiessen o curvas de Isoyetas, P_i es la precipitación medida en estación climatológica “i” o precipitación promedio entre 2 curvas isoyetas, I es la intensidad de lluvia en mm/hr. El inverso del periodo de retorno es la probabilidad de ocurrencia, es decir, la probabilidad de que se presente la intensidad de tormenta en un año.

Los parámetros, a, b, m, n son función de las características meteorológica de la zona. El hietograma acumulado esta descrito como:

$$H(t) = I(t, T) * t = at^b \tag{8}$$

y la intensidad instantánea asociada como:

$$I(t) = \frac{dH(t)}{dt} = (b + 1) * at^b \tag{9}$$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Para completar la información faltante de registros pluviométricos, se emplea el del National Weather Service, basado en la siguiente correlación:

$$P = \frac{\sum[P_i/r_i^2]}{\sum[1/r_i^2]} \tag{10}$$

donde P es la precipitación que se extrapola, P_i las precipitaciones de las estaciones existentes en el entorno de la que desconocemos y r_i las distancias desde esta estación a las estaciones próximas.

Greenwood et al. (1979) introdujeron el método MPP como un procedimiento de estimación robusto, alternativo a los métodos de momentos y máxima verosimilitud. La estimación de parámetros por el MPP, comienza con los momentos $M_{l,j,k}$

$$M_{l,j,k} = E[X^l F^j (1 - F)^k] \tag{11}$$

siendo j y k enteros no negativos, el momento ponderado con probabilidad de orden (l,j,k) es proporcional al l -ésimo momento con respecto al origen de la estadística de orden $(j+1)$ para una muestra de tamaño $n=k+j+1$.

La función de distribución de Gumbel está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left\{ - \left(\frac{x - m}{a} \right) - \exp \left[- \left(\frac{x - m}{a} \right) \right] \right\} \tag{12}$$

donde a y m son los parámetros de la distribución y x es la magnitud del evento extremo.

De acuerdo con Greenwood et al. (1979), la expresión para la magnitud de la variable con un periodo de retorno T , según esta distribución es:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

$$X_T = m - a \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (13)$$

donde:

$$m = M_0 - \varepsilon a \quad (14)$$

$$a = \frac{M_0 - 2M_1}{\ln(2)} \quad (15)$$

para $\varepsilon = 0.5772$ y $M_k = M_{l,0,k}$ para k entero no negativo se estima como:

$$M_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \frac{\binom{n-i}{k}}{\binom{n-1}{k}} \quad (16)$$

Siendo n el número de datos históricos y x_i el valor del dato i ordenados de mayor a menor. Operando la expresión para M_k se tiene:

$$M_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

$$M_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \frac{n-i}{n-1} \quad (18)$$

con base en la cuales se determina los valores de a y m con las ecuaciones (14) y (15)

La información para la precipitación, se recopiló de las cartas de isoyetas correspondientes a periodos de retorno, intensidad de lluvia y duración de la misma con la finalidad de poder modelar el flujo superficial en diferentes periodos



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

de retorno y de intensidad de lluvia; la información se condensa y se aplicaron aquellas lluvias con duración de 30 min para distintos periodos de retorno.

Se considera un coeficiente de escurrimiento que va de 15 a 25%, puesto que presenta una permeabilidad media y baja en función del material que está constituido el suelo, además de considerar una vegetación de densidad media en promedio para todo el sistema ambiental.

Cuadro1. Resumen de valores obtenidos de los datos para alimentar el modelo hidrodinámico para el año 2013

| Época del año | Precipitación media mensual | Temperatura media mensual | Evaporación media mensual |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Secas | 156.79 mm | 26.4 °C | 148.66 mm |
| Lluvias | 206.15 mm | 26.2 °C | 117.33 mm |

Cuadro 2. Valores de Escurrimiento y permeabilidad en el Sistema Ambiental

| Época del año | Densidad de vegetación | Permeabilidad del suelo | Escurrimiento en la zona (%) |
|---------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Secas | Media-Baja | Media | 15 a 25 |
| Lluvias | Media | Media | Mayor a 25 |



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Se recopila la información y se estima el hidrograma del río Grijalva para el año 2013, donde se emplean los gastos para la simulación del tránsito de avenidas en las épocas de secas y lluvias, en la figura (3) se presentan las descargas del río.

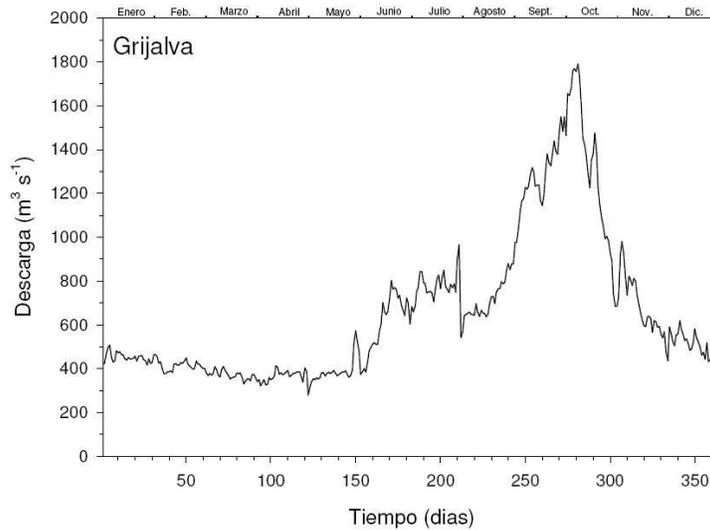


Figura 3. Hidrograma del río Grijalva para el año 2013

Generación de mallas numéricas

Se elaboraron las mallas numéricas en diferencias finitas de la zona de estudio con espaciamiento en ambas direcciones de 20 metros (fig. 4).

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

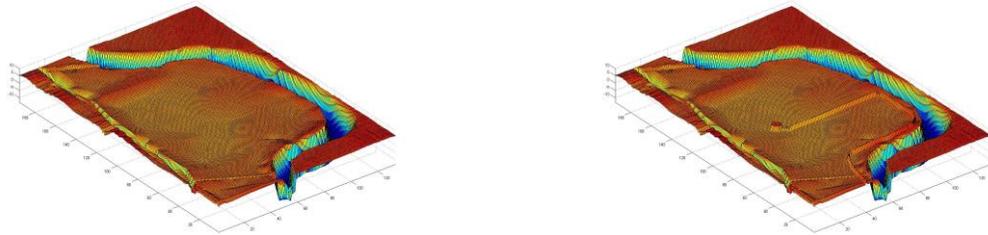


Figura 4. Malla numérica de la zona de estudio (Izq. Estado natural) (Der. Con Camino Proyectado)

Resultados de la simulación

Detallando las etapas de simulación, estas consisten principalmente en la modelación de dos escenarios en el año, la época de secas y la de lluvias; se escogen estas temporadas considerando que son las más representativas en el año, las condiciones iniciales para cada temporada se expresan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resumen de condiciones iniciales y forzantes para la modelación en las diferentes etapas y escenarios propuestos

| Etapa | Temporada | Precipitación | Temperatura | Evaporación | Escurrimiento |
|-------|-----------|---------------|-------------|-------------|---------------|
|-------|-----------|---------------|-------------|-------------|---------------|



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

| | | (mm) | (°C) | (mm) | (adimensional) |
|-------------------------------|---------|-----------|------|--------|----------------|
| Condición actual y c/proyecto | Secas | 45 a 156 | 26.4 | 148.66 | 0.020 |
| | Lluvias | 160 a 206 | 26.2 | 117.33 | 0.037 |

| Etapa | Temporada | Permeabilidad (%) | Densidad de vegetación | Gasto Grijalva (m ³ /s) | Velocidad viento laguna (m/s) |
|-------------------------------|-----------|-------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Condición actual y c/proyecto | Secas | 30.00 | Media-Baja | 320 min 1070 med | NE 4.1 |
| | Lluvias | 20.00 | Media | 1900 max 3050 max hist | E 7.3 |

Simulación del Sistema Ambiental en condiciones actual (antes de proyecto)

Los resultados de la simulación de la hidrodinámica superficial de los escenarios de secas con intensidades de precipitación de 45, 80, 120 y 156 mm/hr y de lluvias con intensidades de 160, 185, 197, 206 mm/hr en la totalidad del sistema ambiental, las duraciones de lluvia fueron hasta de 2.5 horas continuas según registros, en las figuras (5a, Sup. Izq.) a (5h, Inf. Der.), se muestran las zonas potencialmente inundables.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

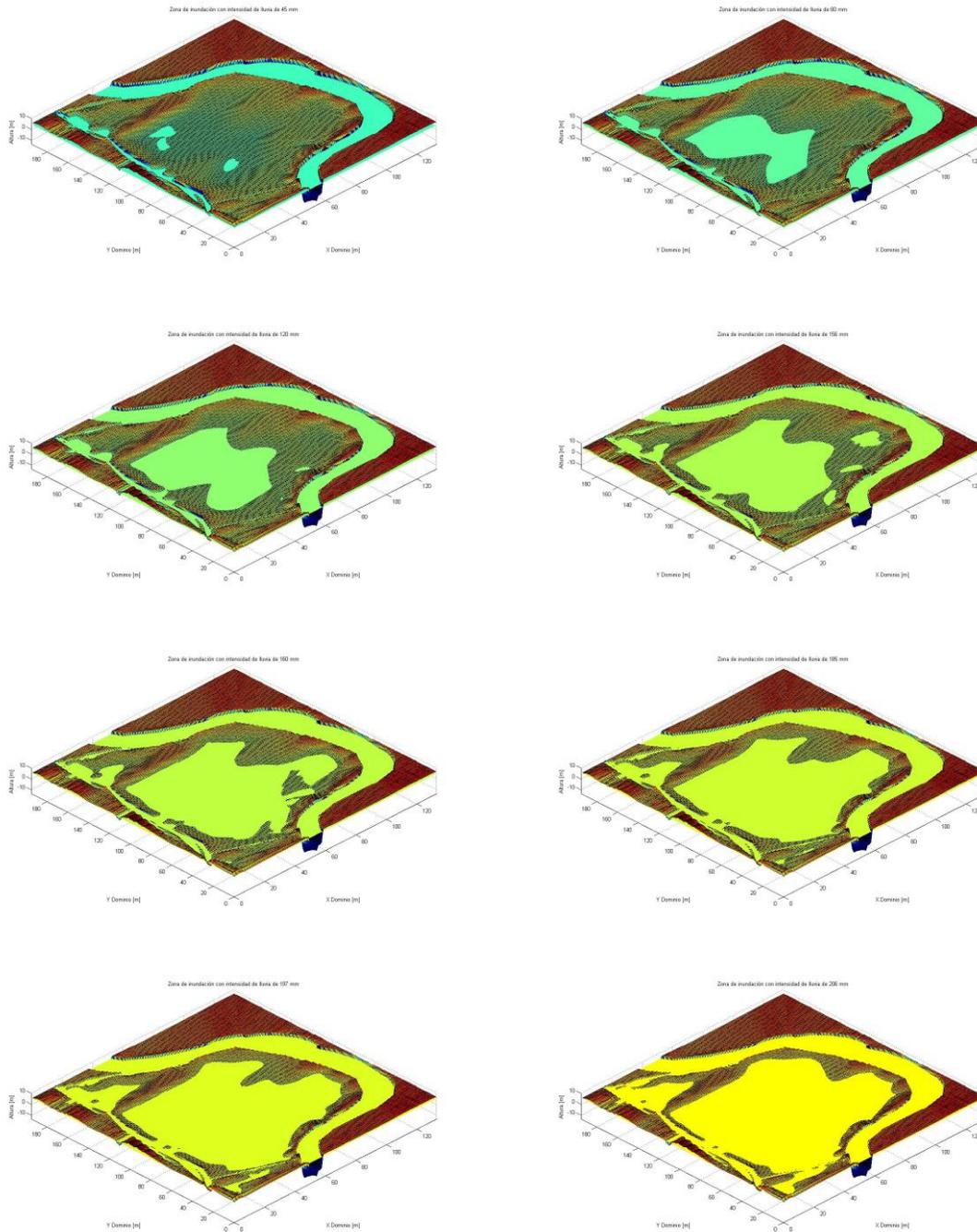


Figura 5. Zonas potencialmente inundables antes de proyecto



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Se puede observar que las zonas potencialmente inundables para una intensidad de 45 mm/hr presentan un porcentaje de inundación del 8 % del total de la zona de estudio, mientras que para la intensidad mayor de 206 mm/hr se obtiene un porcentaje de área inundada del 86%.

Simulación del Sistema Ambiental con obras de proyecto

Para esta simulación se contempla la construcción de un camino considerando obras como alcantarillas y puentes y/o pasos de agua, estas obras fueron ya propuestas y ubicadas estratégicamente, los siguientes resultados muestran el comportamiento del camino con las alcantarillas y en especial de la zona de inundación, donde se observa que el funcionamiento hidrológico del sistema ambiental no se ha alterado con estas medidas de mitigación.

Los resultados de las zonas de inundación para los escenarios de intensidad de precipitación descritos a continuación en las figuras (6a, Sup. Izq.) a (6h, Inf. Der.), se aprecia que el nivel de la superficie libre originada por lluvia y por el desbordamiento del río tabasquillo no afectó al camino ni lo tapa.

Para el escenario antes de proyecto, se observan las mismas zonas inundadas, así como de algunas zonas con acumulación o represamiento de agua. El



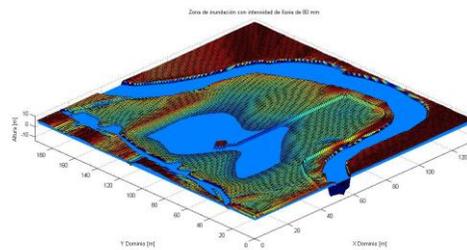
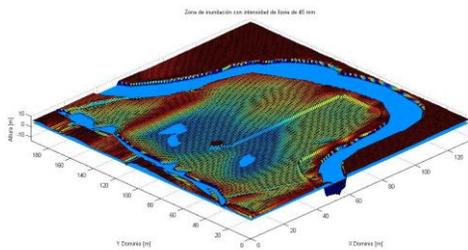
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

porcentaje de zona inundable con el camino es del 89% aproximadamente, es decir del 3% más que en condiciones normales antes de proyecto.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

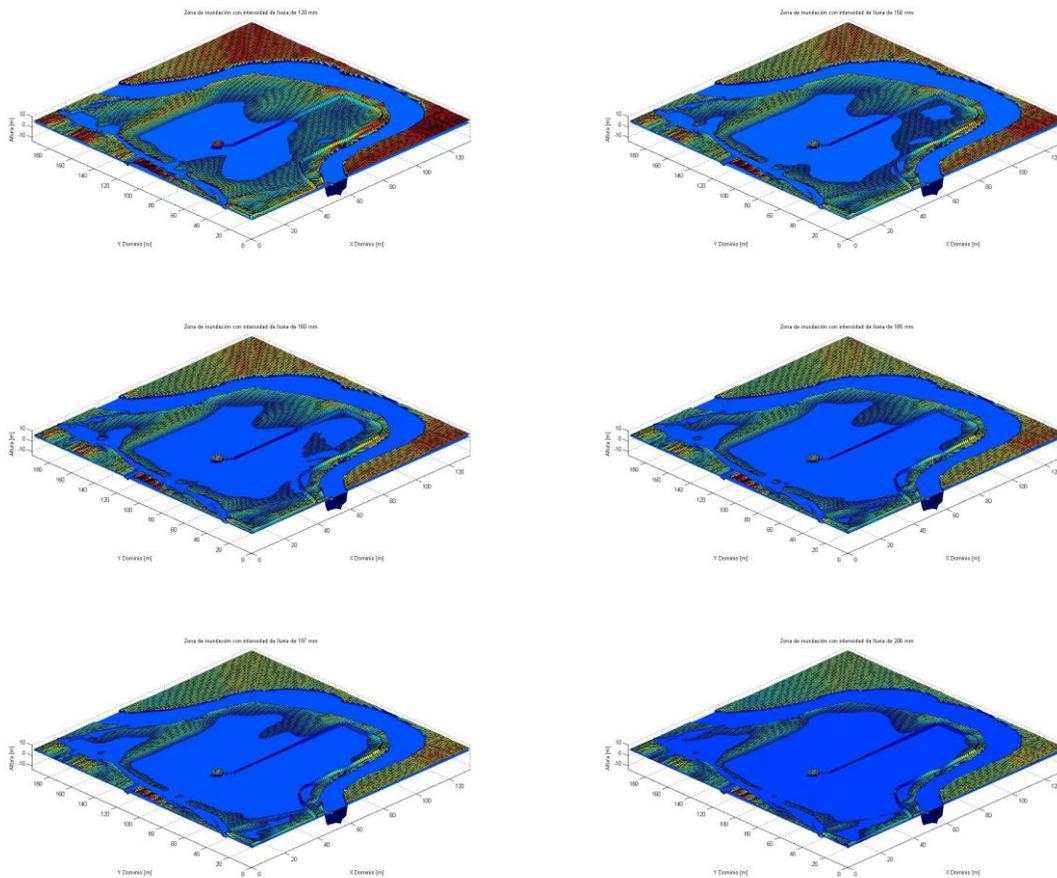


Figura 6. Zonas potencialmente inundables incluyendo el camino

Análisis hidrodinámico de las medidas de mitigación (alcantarillas y pasos)

El camino al ser nuevo, requiere de drenes o alcantarillas para permitir el libre paso del flujo hidrológico en la zona de estudio, la propuesta de ubicación de estas obras a lo largo del camino son:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

| Kilometraje de ubicación | Número de alcantarillas | Dimensiones de alcantarilla |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 0+000 al 1+300 | 5 | 0.91 x 0.91 |
| 2+760 al 3+640 | 4 | 1.05 x 1.05 |

Las alcantarillas están diseñadas para garantizar su correcto funcionamiento bajo los siguientes criterios:

- Las dimensiones del área hidráulica garantizan el funcionamiento hidráulico para las intensidades de lluvia más críticas según registros y tiempos de retorno del sistema ambiental.
- La densidad de la vegetación del sitio para cada alcantarilla, será diseñada dando un cierto porcentaje por crecimiento de la vegetación (obstrucción del área hidráulica de un 65% a un 70%), por lo que se propone de un 15% a 20% más del área de diseño.

En la figura (7) se muestra una sección del camino donde se ubican las alcantarillas de 0.91 y 1.05 metros y el funcionamiento hidráulico respectivamente, esto es, que el gasto que se acumule entre las zonas en ambos lados del camino por inundación a causa de la precipitación sea mínimo.

El valor de amplitud de inundación entre la precipitación mínima y la máxima es de 1.60 metros, que es el valor con el que se modelo la diferencia de niveles de superficie en las secciones de 0.91 y 1.05 metros



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

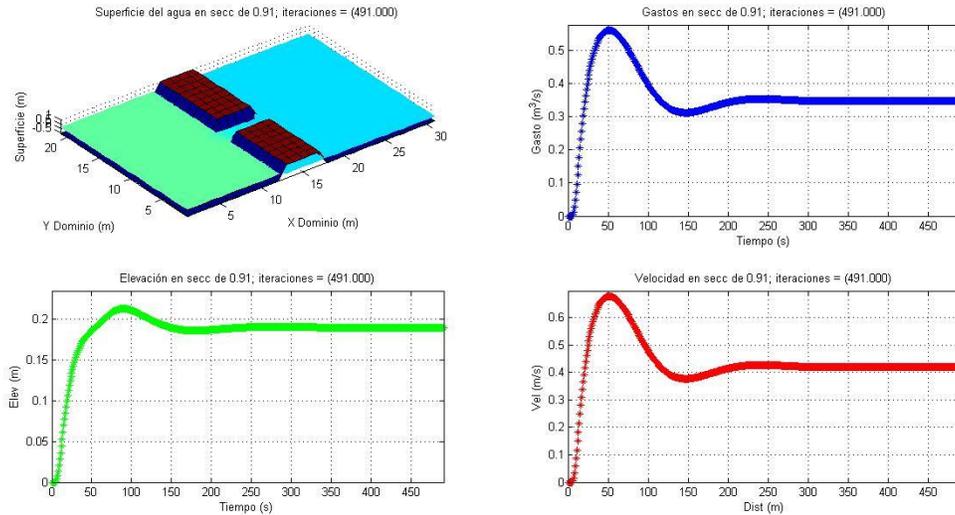


Figura 7. Comportamiento de la alcantarilla de 0.91 metros bajo una diferencia de nivel de 1.60 metros

Conclusiones

Como se muestra en los resultados, se aprecia que el río Grijalva no presenta una influencia superficial evidente, esto debido a que en la margen izquierda del río que es donde se encuentra la zona de estudio se localiza un bordo que protege de alguna forma la crecida del río y por lo tanto minimiza el riesgo de inundación. Sin embargo, el río Grijalva tiene una influencia sobre los canales superior e inferior, que con ayuda del río Tabasquillo, permiten inundar la zona de estudio. Las zonas potencialmente inundables las consideramos de la cota 0.5 a la 3.5 que



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

ocupan un aproximado del 80% del sistema ambiental, en estas zonas se localiza la pera y propiamente el pozo.

Con respecto a la pera y al pozo, estos se localizan en una zona baja que es propicia a la colección de escurrimientos, la intensidad del flujo que se reporta en la modelación que pasa por las alcantarillas del camino es de hasta 0.098 m/s bajo condiciones de lluvias (intensidad de precipitación promedio mensual de 120 mm/hr con periodo de retorno de 100 años y duración de 30 min), por lo que la obra del camino y la pera no alteran sustancialmente la intensidad del flujo; en lo que se refiere a la dirección, al ser esta zona un bajo, la dirección no se modifica debido a que todo se concentra por debajo de la cota 3.50 metros.

El aspecto hidrológico primordial que se debe de mantener es el paso del flujo

superficial, las alcantarillas permiten este funcionamiento y solo se debe de vigilar que la vegetación no llegara a cubrir de un 65% a un 70% del área hidráulica propuesta; este criterio se plantea observando las condiciones actuales donde se ubicarán las alcantarillas en el camino.

Bibliografía



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Broomans, P. (2003), Numerical accuracy in solutions of the shallow-water equations. Master thesis, TU Delf & WL, Delf Hydraulics.

ERIC.- Extractor Rápido de información Climatológica (IMTA) Ver. 3.1

<http://www.imta.gob.mx/english/productos/software/meteorologia.html>

Greenwood J.A., Landwehr J.M., -matalas N.C., Wallis J.R. (1979) Definition and relation to parameters of several distribution expressable in inverse form”, Water Resources Research, Vol. 15, Issue 5, pp. 1049-1054

Stansby, P. (2003), A mixing-length model for shallow turbulent wakes. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 495, pp. 369-384.

SCT-DGST Secretaría de Comunicaciones y Transportes “Cartas de Isoyetas para el año 2010”, Dirección Regional de Tabasco México.

UNESCO (1981), Background papers and supporting data on the International Equation of State of seawater 1980. UNESCO technical papers in marine science, 38, pp. 192.