



Modelado del Potencial Minihidráulico mediante un barrido de malla rectangular mediante SIG. Caso de estudio: Sierra de los Tuxtlas
Gerardo Alcalá Perea

1. Información básica de la Solicitud

Nombre del Solicitante	Gerardo Alcalá Perea
Institución del Solicitante	Centro de Investigación en Recursos Energéticos y Sustentables. Universidad Veracruzana
Título del proyecto	Modelado del Potencial Minihidráulico mediante un barrido de malla rectangular mediante SIG. Caso de estudio: Sierra de los Tuxtlas
Duración del proyecto en meses (máximo 4 meses)	4 meses
Requerimiento en horas de CPU	50000 h
Requerimiento en horas de GPU	N/A
Requerimientos de almacenamiento de información (en GB)	500GB
¿Quiere cursar la capacitación? (Gratuita)	Sí
¿Está interesado en tomar el curso Programación en MPI? Se realizará del 17 al 21 de Agosto de 09:00 a 12:00. Tiene toda la información en la sección Cursos de la página web. Costo: 2,000 \$MXN	Sí
¿Desea iniciar una nueva colaboración con un experto en supercómputo o de otra área de CIMAT? Indique sí, si quiere que para este proyecto identifiquemos algún experto en que pueda apoyarle. En la sección 9 describa el tipo de colaboración esperada.	No
¿El solicitante tiene experiencia previa en la utilización de supercómputo?	No. Pero un miembro del grupo de trabajo sí.
Tipo de proyecto (¿Tipo 1 ó tipo 2?)	Tipo 2



2. Introducción

Resumen

El presente trabajo propone un método novedoso de evaluación del potencial minihidráulico para una central a filo de agua, basado en sistemas de información geográfica (SIG). La región de estudio se representa como una malla rectangular con un área aproximada de (20 km x 20 km), un ancho de celda de (10 m x 10 m), es decir alrededor de 4 millones de celdas. El potencial hidráulico se obtiene para cada celda mediante una secuencia de geoprocesos que pueden variar de 1 a varias decenas de segundos, haciendo esta tarea impráctica para una computadora personal. No obstante, dada la arquitectura rectangular de los arreglos, así como la independiencia que existe entre las celdas, los cálculos pueden realizarse en forma paralela.

Introducción

Las herramientas de teledetección, así como los sistemas de información geográfica (SIG) permiten la evaluación sistemática y geolocalizada de potenciales energéticos para el aprovechamiento de estos recursos [1]. Tal es el caso del potencial energético solar [2,3], eólico [4,5] o la biomasa [6,7], los cuales se pueden presentar en arreglos de mallas rectangulares uniformes como lo son los archivos tipo raster.

La evaluación del potencial hidráulico o minihidráulico (MHP por sus siglas en inglés) puede llegar a ser más compleja, pues este recurso depende de las condiciones hidrológicas y topográficas de la zona de estudio [8], e involucra a su vez una red de corrientes de agua en donde la selección de una planta puede interferir en la otra [9]. En este caso, se utilizará un enfoque euleriano para determinar en una región de estudio la dinámica del fluido.

Una central hidroeléctrica con un esquema a filo de agua (ROR por sus siglas en inglés) se compone principalmente por una toma, canal, cámara de carga, conducto forzado y cuarto de máquinas (ver Figura 1). De tal manera que la energía se genera desviando el flujo desde la toma hacia la cámara de carga, en donde el agua es frenada lo suficiente para que las partículas suspendidas se asienten. El agua libre de impurezas continúa a través del conducto forzado hacia el cuarto de máquinas para la generación eléctrica, para posteriormente regresar al río [10].

El potencial hidráulico (P) puede expresarse como

$$P = \eta p g H Q$$

en donde η es un factor de eficiencia, ρ la densidad del agua, g la gravedad H es la cabeza hidráulica y Q la descarga en una sección transversal del río.

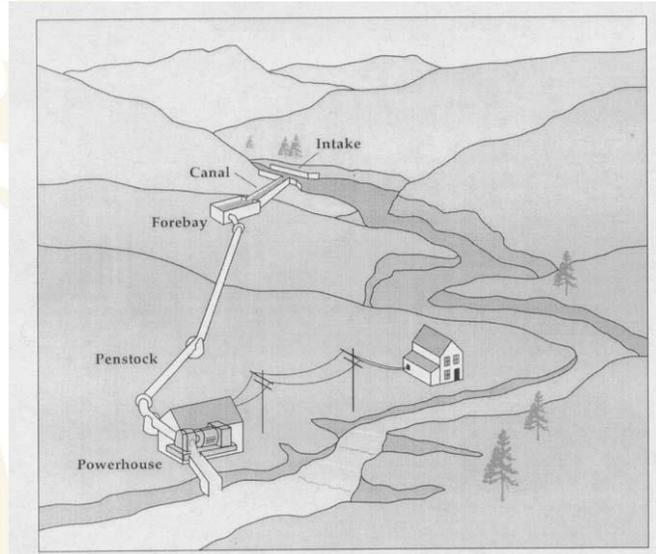


Figura 1. Esquema de Central Hidroeléctrica a filo de agua.

En este sentido, a diferencia de casos como el potencial solar o eólico, localizados en la posición en que son medidos, el potencial hidrológico no se mide en una ubicación concreta, y relaciona distintos lugares.

De hecho, la descarga Q se obtiene respecto a la ubicación de la toma, mientras que la cabeza hidráulica involucra la diferencia de alturas entre la cámara de carga y el cuarto de máquinas. En este sentido el MHP es asociado a sitios ubicados a lo largo del río como lo puede ser la toma o el cuarto de máquinas, o en su defecto al área asociada a la subcuenca correspondiente.

Este trabajo propone un modelo, en donde la localización del MHP es asociada a la posición de la cámara de carga (sobre el terreno y no a lo largo del río) con un enfoque euleriano. Esta aproximación permite obtener el potencial energético para cualquier sitio en la zona de estudio, de tal manera que se pueda crear una malla rectangular para el potencial energético mediante un barrido en toda el área.

Para obtener el MHP se establecen distintos criterios, así como la generación de las rutas tanto el canal como del conducto de forzado.



Esta metodología se aplicará en la cuenca del río Huazuntlán, localizada en la zona intercultural de la Sierra de los Tuxtlas.

3. Objetivos

Objetivo General:

- Obtener el potencial minihidráulico para el río Huazuntlán, en un arreglo de malla rectangular de acuerdo a la metodología propuesta mediante el uso de sistemas de información geográfica.

Objetivos Específicos:

- Generar un modelo hidrológico para la red hídrica del río Huazuntlán para obtener las descargas.
- Realizar un script que corra en paralelo para obtener el MHP una malla rectangular que abarque una zona amplia y alta resolución.
- Generar las rutas del canal y del conducto de forzado para cada sitio en donde se obtenga el MHP.
- Determinar mediante experimentos numéricos los parámetros relevantes para el aprovechamiento minihidráulico.

4. Metodología

Para obtener el MHP óptimo de una central a filo de agua, se deben considerar diferentes variables hidrológicas, topográficas y de costo que en conjunto definen zonas potenciales para la construcción del sistema. Algunas de las variables principales incluyen la ubicación, entre sí y respecto al río, del cuarto de máquinas, la toma de agua y la cámara de carga. También se consideran algunas constricciones y/o criterios de selección como distancias máximas, pendientes, alturas, etc. Así mismo es necesario modelar las rutas del canal y el conducto de forzado mediante el costo distancia de su trayectoria, lo cual involucra otras variables como el uso de suelo, elevaciones, etc.

La metodología para obtener el MHP óptimo se puede sintetizar en la Figura 2, la cual se compone de los siguientes pasos:

1. Se localiza la cámara de carga: Esta se puede ubicar en cualquier zona que sea permitida, esto es que no exista un cuerpo de agua u obstáculo.
2. Se localiza el cuarto de máquinas: Este debe encontrarse en cierto radio, y con una altura menor que la cámara de carga. Dado que hay muchos sitios a lo largo del río que cumplen esta condición, se pueden poner otras constricciones como el

punto que tenga una altura mínima, o el costo distancia asociado al conducto de forzado. A su vez no puede haber obstáculos en el trayecto del conducto de forzado.

- Se localiza la toma: Esta debe encontrarse en cierto radio, con una altura mayor que la cámara de carga. Dado que hay muchos sitios a lo largo del río que cumplen esta condición, se ponen otras constricciones como el punto que genere el menor costo distancia del canal. A su vez, la toma debe pertenecer al mismo segmento que el cuarto de máquinas, para afectar lo menos posible el cauce del río.

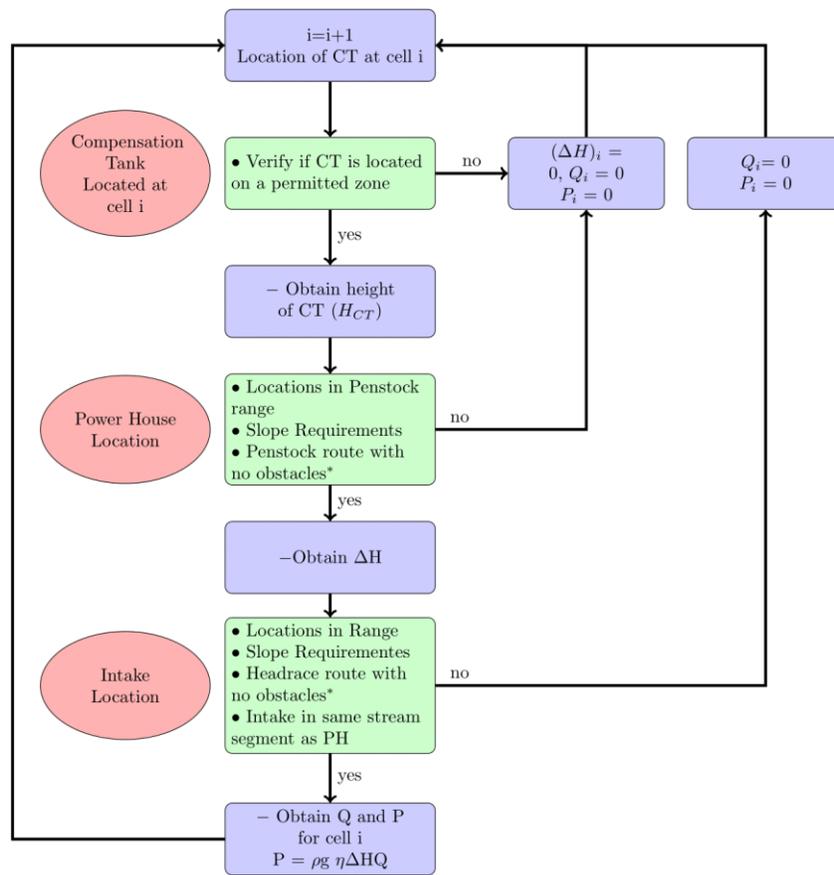


Figura 2. Metodología de cálculo del potencial Hidráulico.

Esta metodología se debe aplicar en cada punto (pixel) de las imágenes procesadas usando métodos SIG para obtener ubicaciones potenciales para la construcción del sistema minihidráulico.

La modelación hidrológica se realizará a través de un modelo de filtrado estocástico (reactores) en función de los usos de suelos disponibles en la cuenca [11]. Estos filtros pueden ser adaptados



al uso y tipo de suelo dependiendo de la cuenca a ser simulado. Cada filtro recibe una fracción de la lluvia incidente (lluvia efectiva), basado en el porcentaje de área que este ocupa dentro de la cuenca. La precipitación efectiva para cada uso de suelo es determinada bajo abstracciones como evapotranspiración (ET) e intercepción los cuales remueven una fracción de la lluvia incidente en función con el uso de suelo y la temperatura [12]. El gasto o descarga de cada filtro es particionado en dos respuestas: rápida y lenta, las cuales representan el escurrimiento y el flujo subterráneo (flujo base y/o flujo lateral). Las particiones son representadas por parámetros de intercambio entre los filtros hidrológicos de reacción rápida y el filtro de reacción lenta. Valores altos de los parámetros de intercambio simulan un incremento de infiltración a almacenamientos sub-superficiales con largos tiempos de residencia que el tiempo de residencia en almacenamientos superficiales [13]. El gasto a la salida de la cuenca es finalmente representado por medio de la adición de las respuestas hidrológicas rápida y lenta de la cuenca.

5. Relación con problemas nacionales

El plan de desarrollo nacional ataca las actuales prioridades y problemáticas nacionales. En su sección de economía, uno de los ejes del presente gobierno es el rescate del sector energético. En el especial el sector de petrolero (PEMEX) y de generación eléctrica (CFE), en los cuales se busca que vuelvan a operar como palancas del desarrollo nacional [14]. Dentro del sector hidroeléctrico se pretende además de la renovación de las hidroeléctricas, se impulsa el apoyo a la modernización de procesos e ideas científicas y tecnológicas potenciales de generación eléctrica como lo menciona en el apartado de ciencia y tecnológica, el cual promueve la innovación en beneficio de la sociedad y el desarrollo nación con la participación de universidades [14]. Este proyecto se alinea a la innovación tecnológica en el área de generación eléctrica, al ofrece información técnica y científica del potencial minihidráulico de una cuenca en el estado veracruzano en donde existe la problemática latente, no solo en Veracruz si no en todo México, de la poca capacidad de dar insumo eléctrico en cantidad y calidad a zonas rurales, la poca accesibilidad y la diferencia significativa entre la oferta y la demanda que ofrece la empresas nacional como CFE [15]. Este proyecto brinda una solución alternativa y de bajo costo para proyectar el abastecimiento de energía a comunidades en zonas marginadas y/o rurales, en donde las corrientes de agua cercanas permiten la generación eléctrica.

Además del beneficio técnico/científico, este proyecto busca capacitar a jóvenes profesionales desempleados a través de su capacitación en el áreas como de SIG y programas de modelación



hidrológica a través del programa de "Jóvenes Construyendo el Futuro", el cual ha sido fuertemente apoyado en la Universidad Veracruzana.

6. Resultados esperados

- Encontrar parámetros (posiciones en el río, distancias y potencia del sistema) que permitan un óptimo aprovechamiento del sistema hídrico y que demuestren la posibilidad de utilizar metodología SIG para la resolución de este tipo de problemas.
- Generar recursos humanos, como estudiantes de licenciatura a través de trabajos de investigación reflejados en tesis o capacitando jóvenes profesionales desempleados a través del programa "Jóvenes Construyendo el Futuro".
- Publicación de un artículo en revista con indicador JCR.
- Analizar la factibilidad el aprovechamiento minihidráulico en la zona de los tuxtlas.
- Fomentar las redes de colaboración con Investigadores Nacionales e Internacionales.

7. Justificación de la necesidad de usar supercómputo

La región de estudio se representa como una malla rectangular con un área aproximada de (20 km x 20 km), un ancho de celda de (10 m x 10 m), es decir alrededor de 4 millones de celdas.

Un análisis numerico promedio requerido en este trabajo requiere aproximadamente 200 horas de cómputo serial. En una computadora personal estos calculos resultan imprácticos y difícilmente puede realizarse los (potencialmente) cientos de iteraciones requeridas por un estudio paramétrico para la optimización del sistema.

Estimamos que las capacidades de supercomputo del CIMAT nos permitirán incrementar significativamente la velocidad de producción de resultados publicables por medio de:

- Reducir el tiempo real de cómputo por análisis numérico
- Realizar análisis numéricos en paralelo para estudiar el impacto de variación de parámetros

Adicionalmente, deseamos explorar modificaciones al programa que nos permitan explotar cálculos multi-nodo, debido a que por el momento las librerías R empleadas unicamente nos permiten paralelizar dentro de un solo nodo.



8. Grupo de Trabajo.

1. Dr. José Javier Muñoz Criollo.
Advanced Research Computing at Cardiff University (ARCCA).
Cardiff University
MunozCriolloJJ@cardiff.ac.uk
2. Dr. Luis Fernando Grisales Noreña.
Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía.
Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín Colombia.
luisgrisales@itm.edu.co
3. Dr. Quetzalcoatl Cruz Hernández Escobedo
Escuela Nacional de Estudios Superiores, Campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México
ghernandez@unam.mx
4. Dr. Josept David Revuelta Acosta
Facultad de Ingeniería, Campus Coatzacoalcos.
Universidad Veracruzana
jrevuelta@uv.mx
5. Dr. Darío Colorado Garrido
Centro de Investigación en Recursos Energéticos y
Sustentables
Universidad Veracruzana
dcolorado@uv.mx

9. Tipo de colaboración esperada.

No Aplica

10. Financiación que apoya este proyecto.

No Aplica

11. Bibliografía.

[1] Zaidi, A. Z., & Khan, M. (2018). Identifying high potential locations for run-of-the-river hydroelectric power plants using GIS and digital elevation models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 106-116.

[2] Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362.



[3] Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., & Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, 136, 1130-1146.

[4] Noorollahi, Y., Yousefi, H., & Mohammadi, M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50.

[5] Mahdy, M., & Bahaj, A. S. (2018). Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. *Renewable energy*, 118, 278-289.

[6] Natarajan, K., Latva-Käyrä, P., Zyadin, A., & Pelkonen, P. (2016). New methodological approach for biomass resource assessment in India using GIS application and land use/land cover (LULC) maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 256-268.

[7] Zyadin, A., Natarajan, K., Latva-Käyrä, P., Igliński, B., Iglińska, A., Trishkin, M., ... & Pappinen, A. (2018). Estimation of surplus biomass potential in southern and central Poland using GIS applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 204-215.

[8] Comisión Federal de Electricidad (CFE). COPAR 2015 Generacion.

[9] Moiz, A., Kawasaki, A., Koike, T., & Shrestha, M. (2018). A systematic decision support tool for robust hydropower site selection in poorly gauged basins. *Applied Energy*, 224, 309-321.

[10] Rojanamon, P., Chaisomphob, T., & Bureekul, T. (2009). Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2336-2348.

[11] Botter, G., Bertuzzo, E., Bellin, A., & Rinaldo, A. (2005). On the Lagrangian formulations of reactive solute transport in the hydrologic response. *Water Resources Research*, 41(4).

[12] Rinaldo, A., Botter, G., Bertuzzo, E., Uccelli, A., Settin, T., & Marani, M. (2006). Transport at basin scales:



1. Theoretical framework. Hydrology and Earth System Sciences, 10(1), 19–29. <https://doi.org/10.5194/hess-10-19-2006>

[13] Rinaldo, A., Beven, K. J., Bertuzzo, E., Nicotina, L., Davies, J., Fiori, A., & Botter, G. (2011). Catchment travel time distributions and water flow in soils. *Water Resources Research*, 47(7), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2011WR010478>

[14] Plan de Desarrollo Nacional 2019–2014. Presidencia de la Republica.

[15] Zarco, G. (2019). El déficit en la generación de energía eléctrica incrementará el grave problema de competitividad que ya viven las grandes empresas en México. *PV Magazine*.