



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19026

*Mazatlán, Sin., del 18 al 20
de septiembre de 2019*

DISEÑO HIDRÁULICO DE CANALES ASISTIDO POR COMPUTADORA

Francisco García Herrera ^{1*}; Bruno Aleredo Díaz Quinto¹

¹Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco.
C.P.56230, Chapingo, Estado de México.

fragarhe@gmail.com – 595 95 2 16 49 (*Autor de correspondencia)

Resumen

En este trabajo se presenta un programa para el diseño y análisis de canales, aplicación de escritorio denominada por los autores CANDHI versión 1.0 (**CAN**ales, **Diseño Hidráulico**); cuyo propósito general es que sirva como apoyo a los diseñadores de Obras Hidráulicas relacionados con la Agronomía, Ingeniería en Irrigación o la Ingeniería Civil. El programa fue realizado en un RAD con lenguaje de programación Pascal en sus versiones modernas hoy en día conocido como DELPHI, el cual tiene como ventajas su facilidad, estabilidad y alto desempeño, respecto a otros lenguajes. Ésta primer versión pretende cubrir los aspectos básicos de diseño de canales, especialmente el cálculo de tirantes normales y tirantes críticos; así como aspectos de revisión del canal cuando ya se encuentra en funcionamiento la estructura.

Uno de los atributos más importantes del programa presentado, es su memoria de cálculo que incluye las tablas que dan origen al resultado final, mismas que se presentan en un block de notas con la facilidad de copiarlas o guardarlas en archivo ASCII, para integrarlas a la carpeta de cálculo del proyecto.

Palabras claves: Aplicación, Newton-Raphson, Memoria de Cálculo.



Introducción

En la actualidad el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, a través de profesores de diversas áreas académicas y de la participación de sus estudiantes, se ha planteado la actualización del software que en décadas pasadas se tenía, y usaba para apoyar las diversas actividades académicas que se realizan. Los cambios tecnológicos en los sistemas en el paso al nuevo milenio generaron un colapso total del trabajo hasta ese momento desarrollado, más aún, en el primer lustro del siglo se llevaron a cabo profundos cambios tecnológicos, como es el caso del cambio de procesamiento de la información de 32 a 64 bits, que terminó por colapsar los pocos programas que funcionaban hasta ese momento con algunos ajustes en su programación. Han pasado poco más de 10 años y es hasta ahora que se intenta actualizar el software y crear uno nuevo. Programas que apoyan básicamente la docencia, ya que hasta el momento se ha vuelo un factor común el uso de programas que no se han generado por nosotros y menos por la Universidad.

Por muchos años se han elaborado pequeñas herramientas de apoyo para el cálculo de los parámetros hidráulicos, en los diversos cursos de programación y métodos numéricos se desarrollan programas aplicados a la hidráulica y topografía entre otras materias por los estudiantes de Ingeniería en Irrigación, sin embargo, es hasta el año 2015 es cuando se presenta un trabajo formal por un estudiante con fines de titulación denominado: *“Generación de una Aplicación de Computadora para la realización de Cálculos Hidráulicos Básicos”*, elaborado en el lenguaje java; la idea central del programa era poner a disposición del usuario una serie de herramientas para el desarrollo de proyectos. Aunque la aplicación tiene grandes bondades, las ventajas planteadas han sido también el mayor de los problemas ya que el usuario necesita contar con java para poder correr el programa.

Se presenta una herramienta informática para el diseño de canales abiertos, aplicación de escritorio desarrollada en Delphi, lenguaje de programación de alto nivel para computadoras personales de 64 bits.

Esta herramienta se desarrolló en una GUI (Graphics User Interface) profesional, con el objetivo de que el usuario pueda usar la aplicación sin dificultad alguna en el ambiente gráfico de su computadora y se facilite el proceso de diseño ya que se le ha integrado una memoria de calculo que se pueda integrar a los informes presentados o bien imprimirlos desde el programa. La aplicación se ha denominado CANDHI v1.0 (CANales, Diseño Hidráulico).

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de CANDHI v1.0 se utilizó una computadora con procesador CORE i5 a 2.5 GHz de velocidad, con memoria RAM DDR3 de 8 GB, 1066 MHz, Disco Duro de

512 GB, unidad de DVR, puerto USB, sistema operativo Windows 8. El desarrollo de la aplicación se realizó en el RAD Studio XE6 de Embarcadero Inc. Que incluye Delphi XE6.

La metodología de trabajo realizada para la elaboración del programa, implica el desarrollo de los pasos de la programación que incluye: Análisis del problema, Diseño del Algoritmo, Verificación del Algoritmo, Codificación, Ejecución y depuración del programa, Documentación y Mantenimiento.

En el Análisis del problema se definieron los datos necesarios y las limitaciones del programa, puesto que los temas de hidráulica son demasiado extensos. Con lo cual se hizo posible el Diseño del Algoritmo. La solución básica del diseño de canales en régimen permanente implica el desarrollo de una función de una sola variable por lo que se definieron como métodos de solución a Newton-Raphson para la determinación del tirante normal, y el método de la bisección para el cálculo del tirante crítico.

El tirante normal fue posible resolverlo sin ningún problema por Newton-Raphson, la secante y la bisección, pero se decidió usar el primer método por la rapidez con que llega a la solución del problema. La solución al tirante crítico fue más complicado para algunas secciones como es para la sección parabólica, en la cual el método de Newton tuvo algunos problemas de convergencia, razón por la cual se usó para todo el proceso el método de la bisección.

Las secciones integradas al programa desarrollado se muestran en la figura 1.

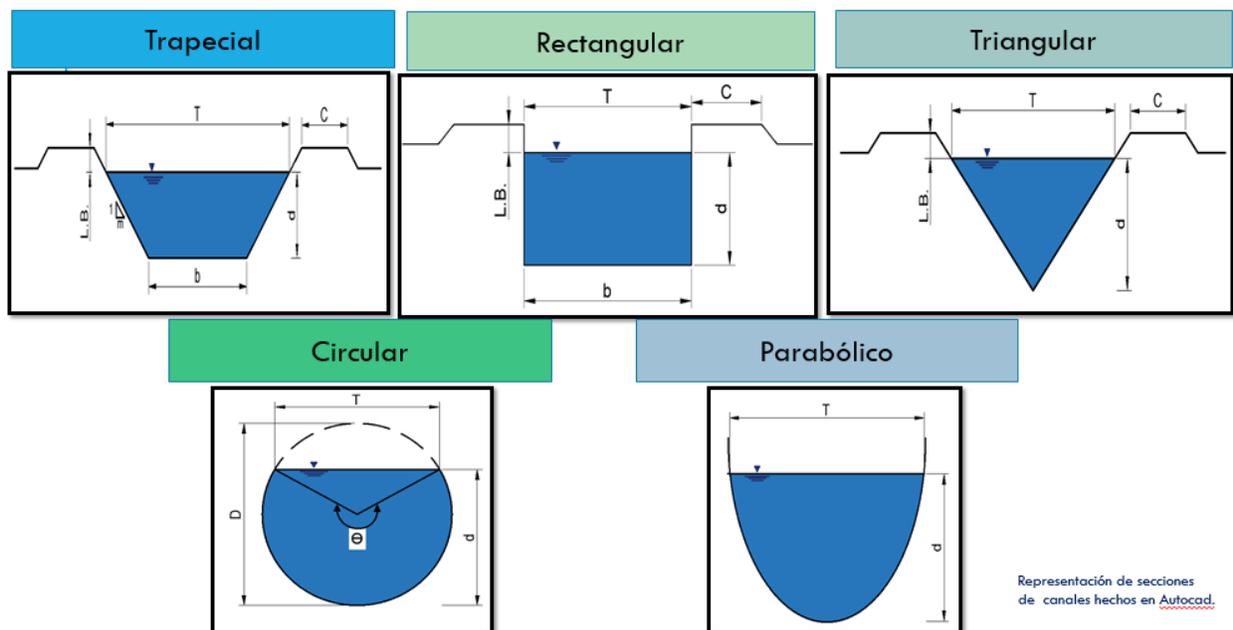


Figura 1. Secciones Tipos encontradas en canales.

El diseño en flujo permanente con Newton-Raphson

El Diseño de un canal se reduce a la determinación del tirante normal, en condiciones estándar de operación y tirante crítico cuando hay variaciones extremas en sus condiciones y la energía del agua se reduce al mínimo para la misma cantidad de flujo. El cálculo del tirante normal (d), se realizó aplicando el método de Newton-Raphson para la solución de ecuaciones de una sola variable, (Chapra y Canale, 2007). Los datos de entrada para el diseño son: Gasto (Q), Plantilla (B), Pendiente del canal (S) y Coeficiente de Rugosidad de Manning (n) y Talud (m) que dependen del tipo de material; por supuesto el resultado esperado es el tirante del canal en condiciones de operación normales (d). La función para resolver se obtuvo de la ecuación general de gasto ($Q=Av$) combinada con la expresión de Manning para el cálculo de la velocidad (v) y en función de las características geométricas del canal, para el cálculo del Área, Perímetro y Relación Hidráulica (A, P y R); reajustadas bajo los criterios de máxima eficiencia y mínima filtración.

Este método se aplicó para el cálculo del tirante normal en canales de sección triangular, rectangular y trapecial.



Figura 2. Canales típicos encontrados.

El método de Newton-Raphson es un método numérico que es usado para localizar raíces a partir de una interpretación geométrica y un valor inicial (Chapra y Canale, 2007).

$$d_1 = d_0 - \frac{f(d_0)}{f'(d_0)} \quad (1)$$

Donde:

d_1 : Valor obtenido de un valor anterior menos el cociente de una función y su derivada

d_0 : Valor propuesto o la continuidad de la sucesión numérica.

$f(d_1)$: Expresión en cuestión.

$f'(d_0)$: Expresión en cuestión derivada.

Para la ecuación (1), el operador declara un error máximo admisible llamado tolerancia. Por ejemplo: Tolerancia=0.000001



Si, $(d_i - d_{i-1}) \leq \text{Tolerancia} \implies \text{Se acepta}$

Si no, $d_2 = d_1 - \frac{f(d_1)}{f'(d_1)}$, y se repite hasta encontrar la solución.

Para poder conocer $f(d_0)$ y $f'(d_0)$ se definen las funciones de la siguiente manera:

Partiendo de la ecuación general de gasto:

$$Q = Av \tag{2}$$

Donde:

Q : Gasto, en m^3/s

A : Área de la sección transversal del canal, en m^2 .

v : Velocidad en m/s

De donde el área es obtenida a partir de la geometría del tipo de canal y la velocidad de la ecuación de velocidad de Manning.

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

Donde:

n : Coeficiente de rigosidad de Manning, adim.

R : Relación hidráulica, en m

S : Pendiente del fondo del canal, adim.

Sustituyendo (3) en (2) se tiene que:

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{4}$$

Para poder obtener una solución se debe de considerar que, *Solucion:* $f(d) = 0$

$$f(d): Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = 0$$

$$\frac{Q n}{S^{\frac{1}{2}}} = A R^{\frac{2}{3}} \rightarrow f(d) = \frac{Q n}{S^{\frac{1}{2}}} - A R^{\frac{2}{3}} = 0$$

La función utilizada es la siguiente:

$$f(d) = \frac{Qn}{S^{1/2}} - A R^{2/3} \tag{5}$$

La derivada de la función será:

$$\frac{df(d)}{dd} = \frac{2}{3} \left(\frac{Qn}{S^{\frac{1}{2}}} \right) P^{-\frac{1}{3}} \left(\frac{dP}{dd} \right) - \frac{5}{3} A^{\frac{2}{3}} \left(\frac{dA}{dd} \right)$$



De donde $P, A, \frac{dP}{dd}, \frac{dA}{dd}$ varían dependiendo de las características del canal.

Dada que la función generada es convergente, el valor inicial propuesto, puede ser cualquier valor lógico cercano a la solución del problema. Para algunos casos se utilizan expresiones empíricas que aproximen a una solución. Para el caso de los canales sin importar su forma, cualquier valor que se proponga distinto de cero podrá ser una buena propuesta inicial. En particular para CANDHI, se utilizaron las propuestas iniciales mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Valores iniciales ocupados según el tipo de sección

Tipo Sección	Propuesta inicial (d_0) usada	Descripción
Triangular	M	Talud
Rectangular	B	Plantilla
Trapezoidal	B	Plantilla
Parabólica	1/2 T	1/2 del Espejo del agua
Circular	1/2 D	1/2 del Diámetro

El diseño en flujo permanente con la Bisección

Aplicando el método de la Bisección, se calculó el tirante crítico (d_c), pero considerando ahora las condiciones de flujo crítico donde la energía específica es mínima y el número de Froude (Fr) es 1. Los datos de entrada son los mismos que para el caso del tirante normal. La función a resolver para estas condiciones es:

$$f(d) = \frac{Q^2}{g} - \frac{A^3}{T} \quad (6)$$

El método de la bisección es un tipo de búsqueda incremental en el que el intervalo se divide siempre a la mitad (Chapra y Canale, 2007).

Para este método se necesita una función dimensionalmente homogénea, en el caso de las condiciones para el cálculo del tirante normal se puede ver en la ecuación (5) y en caso de determinar el tirante crítico la ecuación (6).

Para las características críticas se usa la ecuación de condiciones críticas:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{Tc} \rightarrow fc = \frac{Q^2}{g} - \frac{Ac^3}{Tc} = 0 \quad (7)$$

Donde:

- Q : Gasto, en m^3/s
- g : Gravedad, en m/s^2
- Ac : Área, en m^2
- Tc : Espejo de agua crítico, en m

La propuesta inicial para el cálculo del tirante crítico, requirió dos valores iniciales $d_0=0$ y $d_2=d_{c_inicial}$. Definidos a partir de la premisa de que el solo en casos especiales el tirante crítico

es mayor que el tirante normal ($d_c > d_n$). El valor de d_2 se estima mediante una aproximación de gastos a través de la expresión (8), obtenida al despejar Q de la ecuación (7) y proponer distintos valores de tirante hasta que se cumpla la condición $Q_o \geq Q$ con variaciones de tirante de 0.1.

$$Q_o = \sqrt{\frac{g A^3}{T}} \quad (8)$$

A diferencia de Newton Raphson, el método de la Bisección no requiere mucho trabajo; la convergencia es más lenta, pero segura, sí se garantiza que la propuesta inicial englobe la solución del problema. La premisa anterior no fue la acción que definió el ocupar este método, más bien el uso de este método obedece a la acción de diversificar y probar la aplicación de otro método distinto al de Newton en la solución del problema.

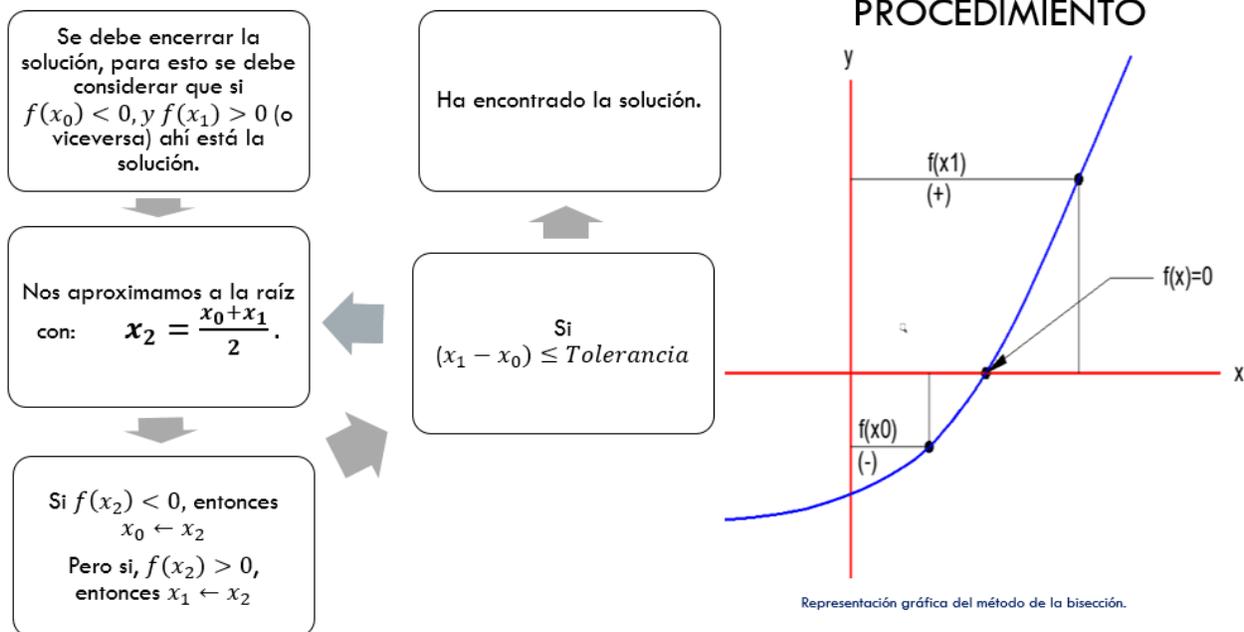


Figura 3. Método de la Bisección.

Resultados

El resultado de este trabajo es el Programa de Computadora CANDHI versión 1.0, que le permite al usuario diseñar un canal de forma fácil y sencilla, utilizando los criterios antes descritos, para canales de forma transversal, triangulares, rectangulares, trapeziales circulares, parabólicos, entre otros. Los cálculos que el programa pone a disposición del proyectista son: revisión de parámetros para canales construidos, cálculo del tirante normal y tirante crítico y finalmente revisión de tablas para el diseño en caso de que solo se ocupe la consulta de algún valor. El proceso de trabajo con CANDHI, es fácil y sencillo, el ambiente es completamente en Windows y cuenta con una memoria de cálculo para integrarle los resultados al expediente de trabajo, en caso de que así se requiera.

Se ha probado con éxito el uso del método de la bisección para el cálculo del tirante crítico, en canales de diversa geometría transversal.

La aplicación generada, representa el inicio de la promesa de contar con un software nacional que permita el diseño y revisión de canales, el cual se pone a disposición de los usuarios para probar las distintas combinaciones que den origen a un diseño adecuado, en el menor tiempo posible y con la confianza suficiente para su uso en la solución de los distintos problemas de diseño de canales que se presentan en la vida profesional del ingeniero.



Figura 4. El programa CANDHI v1.0

Una imagen del ambiente del programa desarrollado se muestra en la figura 4; así como la secuencia que habrá que seguir para realizar un cálculo.



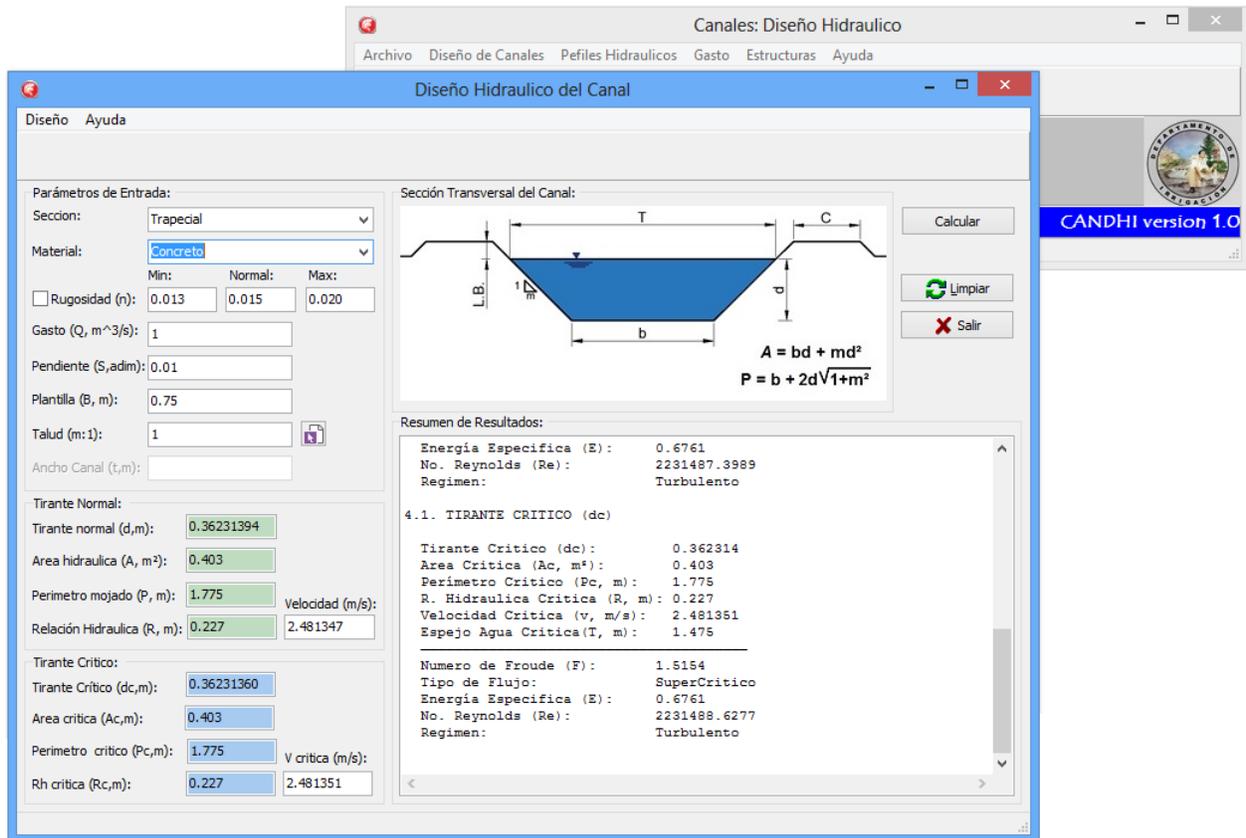
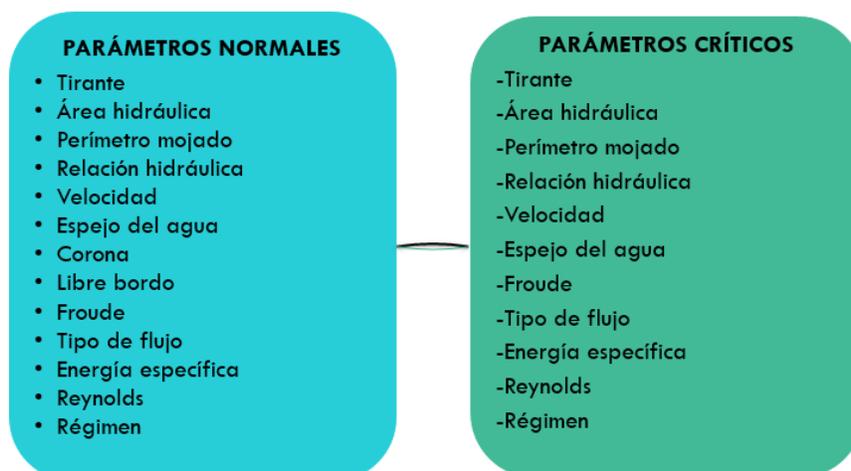


Figura 5. Cuadro de diálogo para del Diseño de un canal Trapezial. CANDHI v1.0.

En resumen, a partir de los datos de entrada, el programa devuelve los siguientes resultados:



Algunos parámetros son obtenidos de tablas, como lo es el valor del Libre bordo y del ancho de corona, valores propuestos por diversos autores para los canales tipo, no por ello valores menos importantes en el diseño del canal.

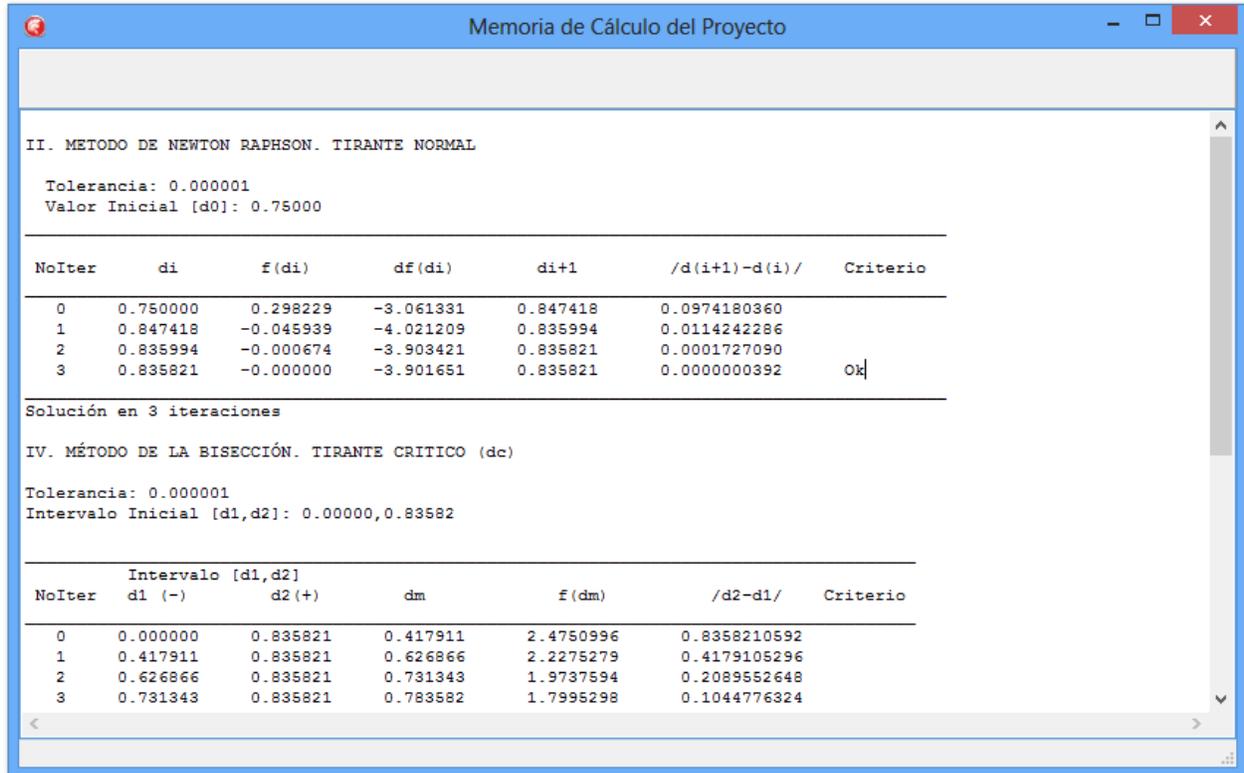


Figura 6. Memoria de cálculo del proyecto realizado.

Conclusiones

Se desarrolló una herramienta poderosa y amigable para el diseño de canales en flujo permanente. Esta aplicación permite calcular tirantes normales y críticos en canales de sección trapezoidal, rectangular, triangular, parabólica y circular. Así mismo, el diseño de canales con el criterio de máxima eficiencia, mínima infiltración; De igual manera la revisión de parámetros del canal y la disponibilidad de una memoria de calculo que el proyectista puede usar en el momento que requiera.

Este software es un apoyo para el diseño de canales abiertos, usando métodos numéricos. A pesar de que los métodos utilizados son los tradicionales, es posible lograr una gran eficiencia en el diseño con una buena precisión en los cálculos, logrando una reducción en el tiempo de escritorio.

CANDHI v 1.0, no solo representa un programa más para realizar cálculos hidráulicos; es el indicio más claro de que se pueden desarrollar las herramientas necesarias que nuestra vida profesional requiere con las normas y especificaciones mexicanas; y es el inicio de un sistema de mayor impacto, que se prepara para momentos y eventos posteriores.



Referencias Bibliográficas

Arteaga T., R. E. (1983). Hidráulica elemental. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Irrigación. Chapingo, México. pp. 281-307.

Chapra S., Canale R. (2007). Métodos numéricos para ingenieros. McGraw-Hill Interamericana. Quinta edición. pp.148-154.

Matcho J., Salmanowitz, B. y otros autores. (1997). Delphi TM 2. Pretince Hall. Edición especial

Sotelo A., G. (2009). Hidráulica de canales. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México. pp.165-226, 662-824.