

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN INSTRUMENTO VIRTUAL PARA LEVANTAMIENTO DE PERFILES EN TIEMPO REAL DEL CANAL HIDRODINAMICO DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN RECURSOS HIDRICOS CIERHI-EPN

Fernández Terán Iveth Evelyn, Ing.
Masabanda Altamirano Mérida Marisol, Ing.
Corrales Paucar Luis Aníbal, PhD
Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

Este proyecto fue diseñado para suplir una necesidad puntual del CIERHI para el Levantamiento de Perfiles, como alternativa para mejorar la obtención y recopilación de información del fluido (caudal, tirante, velocidad, etc.) que circula a lo largo del Canal Hidrodinámico de Pendiente Variable que este posee.

El Instrumento Virtual para Levantamiento de Perfiles, recolecta referencias de alturas en puntos específicos del canal, las procesa, interpola datos en los restantes lugares de trabajo y por último presenta toda la información almacenada, a través del monitor de un computador, plasmada en un perfil unidimensional del flujo. La implementación de esta herramienta requirió de cinco Transmisores de Presión, un Controlador Lógico Programable, un Computador en el cual se ejecute el HMI, además de equipo menor como circuitos de acondicionamiento, cables, borneras, etc.

Las pruebas realizadas demostraron que el sistema es capaz de mover el canal de acuerdo a las necesidades de perfil requeridas por el CIERHI.¹

1. INTRODUCCION

Realizar una herramienta capaz de plasmar un perfil hidrodinámico, requirió en primera instancia adentrarse en un tema fascinante y poco conocido como la Hidráulica de Canales Abiertos. Los conceptos más relevantes utilizados se presentan en síntesis a continuación:

evefernan@hotmail.com

meli_sol6@yahoo.com.mx

1.1. FLUIDO

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le aplica un esfuerzo tangencial por pequeño que sea.

Los fluidos son líquidos y gases, diferenciándose los primeros por la fluidez y menor movilidad de sus partículas y porque ocupan un volumen determinado, separándose del aire mediante una superficie plana.

1.2. CANALES ABIERTOS

Un canal abierto puede considerarse como una tubería descubierta, sometida a la presión atmosférica, cuyos contornos limitan la corriente de un fluido.

Los tipos de flujo que se esperan en un conducto de estas características se resumen en la figura 1, cada uno de ellos se define por propiedades como su profundidad y velocidad media. Si la altura del fluido no varía se dice que se trata de un flujo permanente, si por lo contrario este parámetro cambia se considera un flujo no permanente.

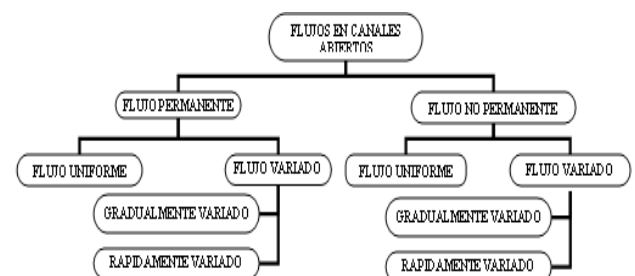


Figura 1. Tipos De Flujos En Canales Abiertos

En los dos casos, el caudal que circula por la sección en la unidad de tiempo se define como el producto de la velocidad media por el área transversal del conducto, si el flujo es permanente, esta relación permanece

constante a lo largo del canal y se le denomina flujo continuo. Cuando el volumen (caudal) en un flujo permanente varía debido a filtraciones a lo largo del recorrido o por disminución del caudal de ingreso, se le denomina flujo discontinuo.

En la práctica se considera que un flujo es continuo si el calado permanece constante, si varía el nivel por efecto del rozamiento en un tramo relativamente largo el flujo se denomina gradualmente variado y si la profundidad cambia por efecto de una alteración en la geometría del canal, el flujo es rápidamente variado.

El comportamiento de estos tipos de flujo es analizado utilizando una expresión madre conocida como la Ecuación de Saint-Venant, para su formulación se parte de tres principios: Ley de la conservación de la masa., Ley de conservación de la cantidad de movimiento) y Primera ley de la Termodinámica. (Expresión del principio de conservación de la energía). La Ecuación de Saint-Venant queda entonces definida como:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0$$

1.3. FLUJO UNIFORME

Se denomina Flujo Uniforme cuando la profundidad a lo largo del canal permanece constante; ocurre únicamente en canales prismáticos muy largos y rectos, en el que se cumple que las fuerzas que producen el movimiento son iguales a las fuerzas de resistencia del flujo. En este tipo de flujo el área transversal, la velocidad y el caudal son constantes, además, la línea de energía, la línea del nivel superficial y el fondo del canal son paralelos.

Para el cálculo computarizado de los parámetros necesarios para determinar cada una de las variables que intervienen en el estudio de los fluidos se utiliza la Ecuación de Manning que utiliza los conceptos del flujo uniforme e introduce un nuevo parámetro llamado *rugosidad de Manning*, dependiente de la superficie del canal y que se lo representa con la letra "n". La Ecuación de Manning define a la velocidad como el producto de la potencia del radio hidráulico por la potencia de la pendiente del canal de la siguiente manera:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2}$$

1.4. FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Se define a un flujo como gradualmente variable cuando la velocidad, caudal y profundidad cambian suavemente en el espacio. El alcance del presente Proyecto, es justamente identificar este tipo de flujo, analizarlo y presentarlo al usuario mediante una interfaz gráfica.

Para encontrar una relación que describa a este tipo de flujo es necesario hacer las siguientes simplificaciones y consideraciones:

- El flujo en el canal se considera unidireccional, es decir que la velocidad y la aceleración únicamente tienen por componente la tangente al movimiento.
- La curvatura de la superficie libre es pequeña, de manera que las partículas del fluido se mueven paralelamente a la dirección principal del movimiento.
- Se considera que la presión en una sección normal al flujo es hidrostática, la única fuerza normal es la ejercida por la Tierra.
- La pérdida de energía debida a la fricción en flujo no permanente es igual a la que existe en flujo permanente.
- El agua es incompresible, la densidad de la misma es constante e igual a la unidad.

Valiéndose de las tres leyes de conservación y de las consideraciones antes mencionadas el movimiento del agua en canales puede describirse por medio de dos variables independientes (calado, **y**, y velocidad, **v**, o área de sección normal al flujo, **A**, y caudal que atraviesa esa sección, **Q**) relacionadas por dos ecuaciones que representan las leyes de conservación.

La Ecuación de Saint-Venant es aplicable a este tipo de flujo, y su solución en función a la distancia x, se puede presentar como:

$$\frac{dy}{dx} = S_0 * \frac{1 - \left(\frac{Y_n}{y}\right)^{10/3}}{1 - \left(\frac{Y_c}{y}\right)^3}$$

Donde:

$$S_0 = \frac{q^2 n^2}{Y_n^{10/3}}; \quad q = \frac{Q}{b}$$

La altura crítica Y_c , se la obtiene con la siguiente expresión:

$$Y_c^3 = \frac{q^2}{g}$$

Para hallar la altura normal del canal es necesario aplicar un método iterativo que permita resolver la ecuación que a continuación se presenta:

$$\frac{nQ}{\sqrt{S}} = AR^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

$$A = b * Y_n$$

$$P = b + (2Y_n)$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Analizando la resolución de la ecuación de Saint-Venant, pueden distinguirse diferentes comportamientos del flujo gradualmente variado que se conocen como perfiles superficiales.

Se considera en primera instancia las posibles pendientes a las cuales puede someterse el canal:

- o $S_0 > 0$, es el caso mas frecuente en donde el calado del nivel del fondo decrece aguas abajo.
- o $S_0 < 0$, el fondo presenta una pendiente adversa.
- o $S_0 = 0$, el fondo es horizontal completamente.

Con cada una de estas posibilidades, se analiza el signo de dy/dx en función de las alturas actual, normal y crítica, y , directamente se distingue la curva de nivel superficial o perfil superficial, así:

Sea **$S_0 > 0$** :

Profundidad existente > profundidad normal > profundidad crítica: $y > Y_n > Y_c$; por tanto dy/dx es positivo e indica que la profundidad debe aumentar en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *subcrítico* y la *curva de nivel superficial* se denomina M1.

Profundidad normal > Profundidad Existente > Profundidad Crítica: $Y_n > y > Y_c$; por tanto dy/dx es negativo e indica que la profundidad disminuye en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *subcrítico* y la *curva de nivel superficial* se denomina M2.

Profundidad normal > Profundidad Crítica > Profundidad Existente: $Y_n > Y_c > y$; por tanto dy/dx es positivo e indica que la profundidad incrementa en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *subcrítico* y la *curva de nivel superficial* se denomina M3.

Profundidad Existente > Profundidad Crítica > Profundidad Normal: $y > Y_c > Y_n$; por tanto dy/dx es positivo e indica que la profundidad incrementa en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *subcrítico* pero corresponde a condiciones uniformes de flujo *supercrítico* y la *curva de nivel superficial* se designa S1.

Profundidad Crítica > Profundidad Existente > Profundidad Normal: $Y_c > y > Y_n$; por tanto dy/dx es negativo e indica que la profundidad decreciente en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *supercrítico* y la *curva de nivel superficial* se designa S2.

Profundidad Crítica > Profundidad Normal > Profundidad Existente: $Y_c > Y_n > y$; por tanto dy/dx es positivo e indica que la profundidad incrementa en la dirección del flujo. Entonces el flujo es *supercrítico* y la *curva de nivel superficial* se designa S3.

Profundidad Existente > Profundidad Crítica = Profundidad Normal: $y > Y_c = Y_n$; por tanto dy/dx es positivo y mayor que S_0 . La *curva de nivel superficial* se designa C1.

Profundidad Existente < Profundidad Crítica = Profundidad Normal $y < Y_c = Y_n$; por tanto dy/dx es positivo y mayor que S_0 . La *curva de nivel superficial* se designa C3.

Para el caso **$S_0 < 0$**

No hay información física posible debido a que no existe Y_n en pendientes adversas, sin embargo las ecuaciones establecidas permiten determinar 2 casos posibles:

Profundidad Existente > Profundidad Crítica, y $y > Y_c$; por tanto dy/dx es negativo indicando disminución de la profundidad en la dirección del flujo. La curva del nivel superficial se le designa A2.

Profundidad Existente < Profundidad Crítica, y $y < Y_c$; por tanto dy/dx es positivo indicando aumento de la profundidad en la dirección del flujo. La curva del nivel superficial se le designa A3.

Para el caso **$S_o = 0$**

Profundidad Existente > Profundidad Crítica, y $y > Y_c$; por tanto dy/dx es negativo indicando disminución de la profundidad en la dirección del flujo. La curva del nivel superficial se le designa H2.

Profundidad Existente < Profundidad Crítica, y $y < Y_c$; por tanto dy/dx es positivo indicando aumento de la profundidad en la dirección del flujo. La curva del nivel superficial se le designa H3.

Para el canal dispuesto en el CIERHI, solo se pueden obtener perfiles superficiales tipo S, debido a limitaciones físicas.

2. DESCRIPCIÓN DEL CANAL ABIERTO

El canal tiene una sección prismática rectangular, su longitud es de 25m y la altura de las paredes es de 1m. La estructura del canal está compuesta por perfiles W e IPN, como elementos de soporte sobre los que descansa el canal y sobre los que actúa el sistema de elevación. Las paredes laterales del canal están construidas con vidrio templado de 10mm. El piso está formado por una lámina de acero inoxidable de 6mm. de espesor. Además dispone de una bisagra que permite el giro con respecto a la cisterna, de esta manera se modifica la pendiente del lecho del canal.



Figura 2. Canal Hidrodinámico CIERHI

Posee un sistema de elevación constituido por cinco pares de apoyos con sus respectivas

bases, pivotes y sistemas de transmisión. Sobre la columna metálica está colocada una caja de transmisión, la que permite el movimiento hacia arriba y abajo del tornillo de potencia. Además se tiene un tornillo sin fin montado sobre un eje, el mismo que actúa sobre el tornillo de potencia permitiendo la inclinación del canal al ángulo deseado.



Figura 3. Sistema de Elevación

Un sistema de cinco ejes motrices unidos mediante ruedas calinas y cadenas, accionadas por el moto-reductor principal de 7,5 HP.

El flujo está constantemente fluyendo por el canal, el líquido ingresa desde una cisterna dispuesta en el extremo izquierdo del conducto, cae por un vertedero triangular de 90°, pasa por tres pantallas uniformizadoras y direccionadoras, lo que asegura que el fluido entre al canal en régimen laminar y con un bajo índice de macroturbulencia.

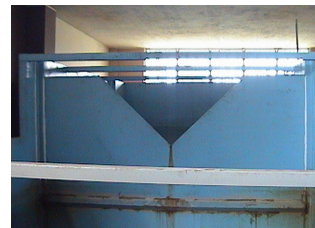


Figura 4. Vertedero en V de 90°

Una vez que el líquido transitó a lo largo del canal, atraviesa una compuerta de descarga y llega a una pequeña represa que envía al agua al sistema de recirculación formado por una torre de elevación además de un sistema de tuberías, válvulas y bombas.

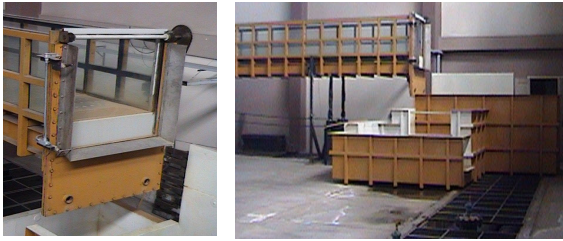


Figura 5. Compuerta de Descarga

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL CANAL

El funcionamiento del Instrumento Virtual depende directamente de la información recolectada de los transmisores de presión ubicados en la cara inferior del canal (el montaje se presenta en la Figura 6), que se encuentran distanciados unos de otros por 3.9m, de tal manera que cubren los tramos en los que los fenómenos del fluido se presentan con mayor claridad. Cada uno de estos tramos son tratados independientemente y los datos recolectados por los transductores 16SC01D48 representan las condiciones de contorno utilizadas para la resolución de la Ecuación de Saint-Venant

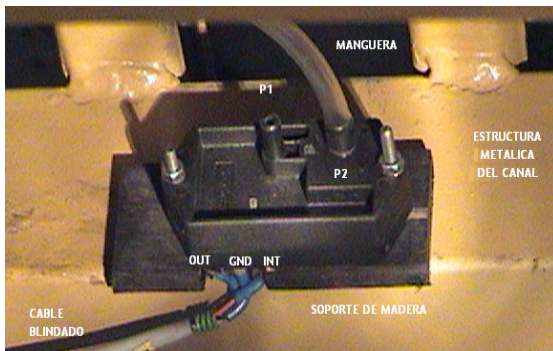


Figura 6. Montaje del transductor 163SC01D48

Determinar el ángulo que recorrió o al que se encuentra el lecho del canal y la altura en la que se halla la compuerta resulta indispensable, ya que el entorno del flujo es determinado también por estos condicionantes que en Hidráulica suelen llamarse elementos de control. Por tanto, fue necesario realizar un control en lazo cerrado sobre estos dos

parámetros. Los elementos que permiten realimentar la posición del canal y de la compuerta de descarga son dos sensores inductivos DIELL, colocados sobre las aspas de los ventiladores de los servomotores que provocan el movimiento del conducto y de la compuerta de descarga como se muestra en la Figura 7

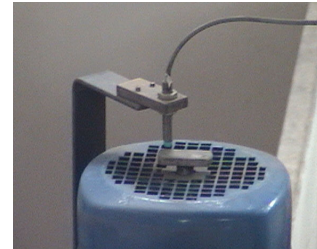


Figura 7. Montaje del sensor inductivo DIELL

Se debió considerar además que el canal está mecánicamente construido con una movilidad limitada, pudiendo ascender y descender en función de los cambios que se deseen provocar en el flujo. Para controlar que el desplazamiento del lecho no exceda de los límites, se encuentran colocados finales de carrera TELEMECANIQUE XCK-J. De igual manera, las alturas de la compuerta solo pueden variar en un rango de 0 a 80 cm., por lo que también se dispone de dos finales de carrera en los límites de movimiento.

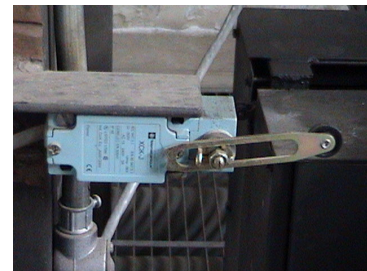


Figura 8. Montaje del TELEMECANIQUE XCK-J

La ubicación de cada uno de los sensores a lo largo del canal se muestra en la Figura 9:

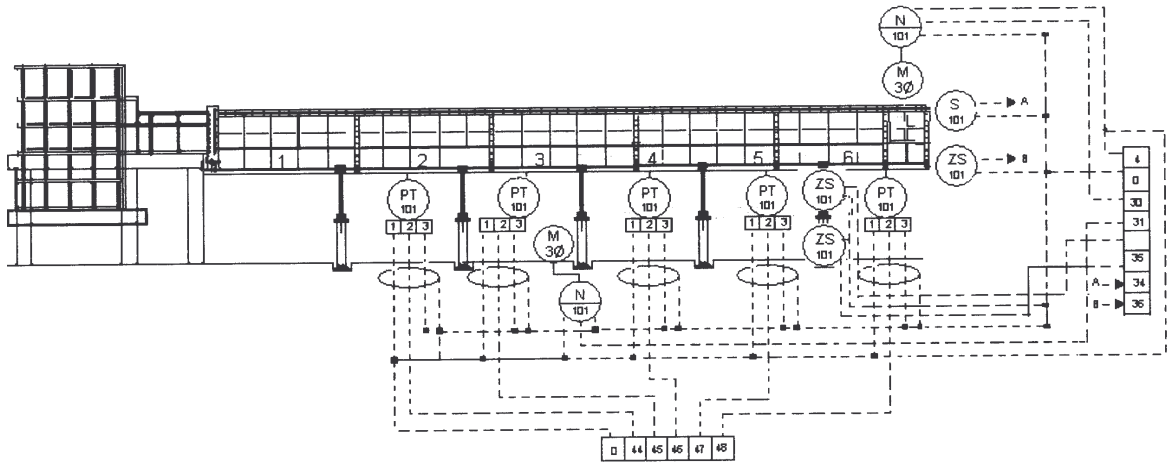


Figura 9. Diagrama P&IDs

Se han descrito los elementos montados en la estructura del canal y que de una manera u otra son los responsables del buen funcionamiento de las maniobras que en él se realizan; pero no son suficientes, se requiere de otro equipo que se encargue de coordinar y ejecutar las ordenes dadas por el usuario.

El primero de estos equipos es el Controlador Lógico Programable TRILOGI T100MD-888+, que cumple con las misiones de: recolectar las señales de voltaje remitidas por los transmisores de presión, acondicionar adecuadamente estos datos, enviarlos al procesador utilizando como Protocolo de Comunicación MODBUS y por último realizar el control de posición tanto de la compuerta como del canal de acuerdo a los requerimientos del usuario. TRILOGI, si bien es cierto ostenta muchas de las ventajas de PLCs sofisticados,

requiere que las entradas y salidas digitales que posee sean acondicionadas utilizando arreglos de resistencias y relés auxiliares. Las conexiones realizadas en el Controlador se muestran en la Figura 10.

El equipo se complementa con un computador en el cual se desarrolló el HMI y que a la vez implementa el algoritmo para el desarrollo de los Perfiles Superficiales De Flujo Gradualmente Variado.

4. DESARROLLO DEL HMI

Para el desarrollo de la Interfaz de Usuario se tomaron como fundamento las características que un HMI debe poseer para considerarse aplicable a un proceso, entre ellos se puede mencionar funcionalidad (ha sido creado con un objetivo y lo cumple), confiabilidad,

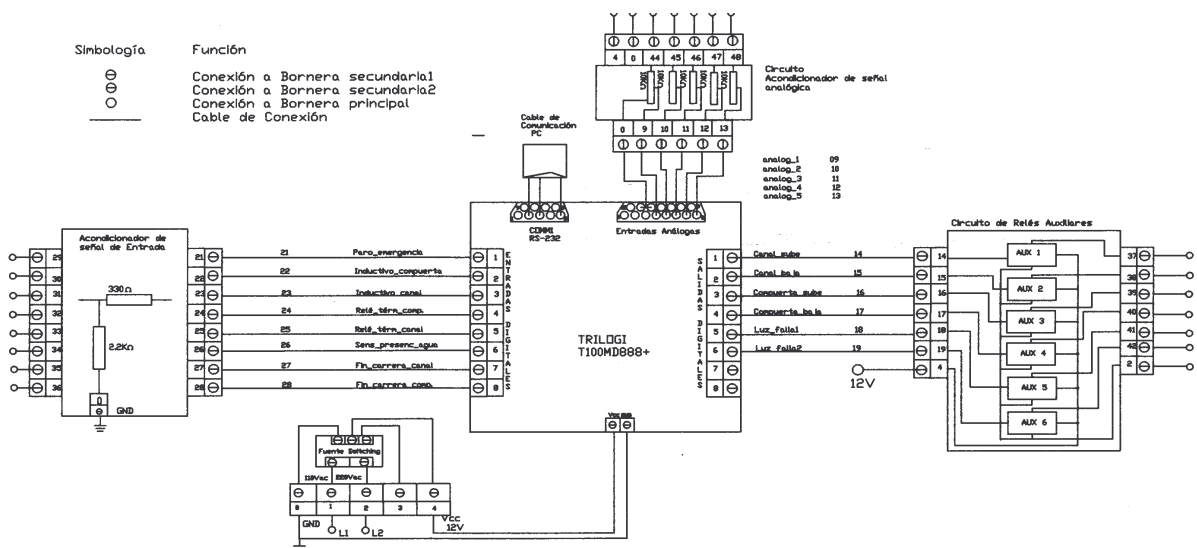


Figura 10. Plano de Conexiones del T100MD+

ación del mismo es (ario), estandarización, consistencia (la simbología, así como el apoyo

visual utilizado presentan las mismas características en todo el proyecto) y por último portabilidad (compatible con la mayoría de procesadores).

Considerando que una interfaz es aceptada y se convierte en atractiva para el usuario, cuando en su exposición existen elementos que le resultan familiares tanto en su funcionamiento como en su apariencia, el HMI desarrollado trata de incorporar imágenes y objetos que se pueden encontrar en la locación del Canal Hidrodinámico. No se debe perder de vista el propósito que la Interfaz Hombre-Máquina tiene en la aplicación y que se puede resumir en: informar aspectos importantes de sí mismo y del proceso (incluyendo alarmas de mal funcionamiento del equipo y manejo errado del software); presentar cambios, comportamientos del sistema; e interactuar con el usuario en la toma de decisiones; todo ello lo hace con ayuda del computador, específicamente a través de presentaciones expuestas en el monitor.

Al HMI desarrollado se le otorgó un nombre VINLEPER 1.0 (Instrumento Virtual de Levantamiento de Perfiles en su primera etapa) y está compuesto esencialmente por 6 pantallas:

| PANTALLA | FUNCIÓN |
|--------------|---|
| Presentación | Permite enlace con las cinco pantallas restantes. |
| Acerca de... | Informativa del programa. |
| Ayuda | Ayuda de la plataforma. |
| Monitoreo | Levantamiento del perfil. |
| Control | Cambio de condiciones del Canal. |
| Reportes | Información de puntos específicos. |

Tabla1: Resumen de pantallas utilizadas en el HMI

De todas las ventanas, dos son las más importantes, "Control" y "Monitoreo" y son las que se describen en las líneas que siguen a continuación.

Pantalla "Control":

Esta ventana gobierna los cambios sobre el canal y la compuerta que directamente afectan las condiciones del fluido.

La compuerta puede ascender hasta 80cm desde una posición inicial de 0. Para lograr esta maniobra, el usuario debe colocar los centímetros a los que desea se llegue, pulsar el botón "start".

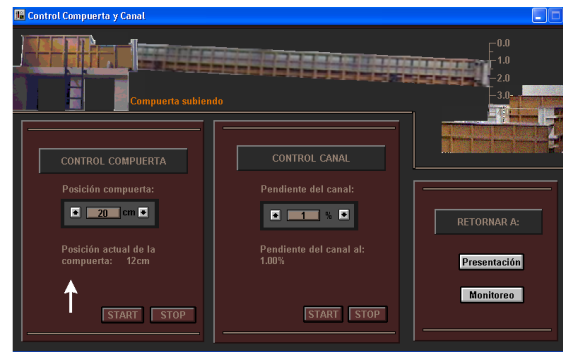


Figura 11. Pantalla de Control

En cualquier momento el desplazamiento de la compuerta puede ser interrumpido por el usuario, pulsando el botón de "stop" ubicado en la parte inferior de la ventana.

El control de la posición del canal es similar al anterior, en este caso el usuario escoge la pendiente del canal, en un rango de 0% al 4%.

Pantalla "Monitoreo":

Es tal vez la ventana más importante de VINLEPER 1.0, pues plasma el perfil que se esta desarrollando a lo largo del canal en un plano X-Y.

La pantalla se divide en tres secciones, la primera en donde se muestrea el perfil, la segunda en la que se visualiza información de las alturas detectadas por los sensores y la tercera zona correspondiente al menú.

La primera división está dedicada al muestreo del perfil del canal utilizando para ello un plano cartesiano, Es necesario subrayar que proporciona al usuario la facilidad de escoger las dimensiones de los ejes, de tal manera que sea factible realizar acercamientos para destacar comportamientos inusuales en el espejo de agua o alejamientos para observar la conducta global del fluido a lo largo del canal. El eje Y puede reducirse hasta 0.20 cm, y ampliarse hasta máximo 2m; de la misma

forma, el valor máximo en el eje X puede variar entre 1 y 25m.

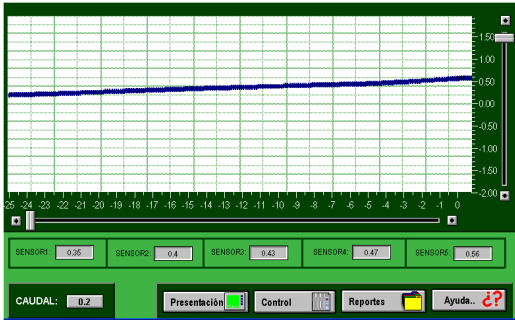


Figura 12. Ventana de Monitoreo del Perfil

Es la pantalla más relacionada con medios externos, y que hace posible considerar al HMI como una plataforma compuesta por Lookout, Excel y Visual Basic. Debido a que el primer programa no es capaz de desarrollar algoritmos complejos se tuvo que utilizar a Excel como enlace de datos entre Lookout y Visual, siendo este último el responsable de calcular los puntos necesarios para formar el Perfil superficial. El programa puede resumirse en el diagrama de bloques de la Figura 12.

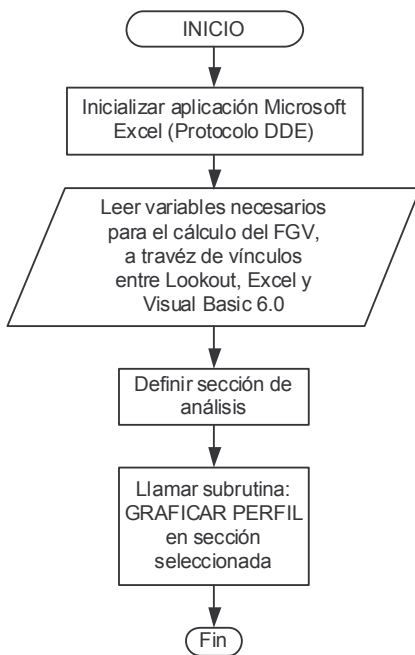


Figura 13: Programa elaborado en Visual Basic

Después de realizar Pruebas de: campo, sobre el HMI y sobre el monitoreo de variables, se obtuvo como resultado una Herramienta que puede plasmar y monitorear el Perfil superficial provocado por un fluido al circular por un canal abierto en flujo gradualmente variado,

considerando incrementos mínimos en x de 5cm con un error en el tirante del 2%; que a la vez regula la posición de los elementos de control con una desviación máxima de 0,5 cm. del valor solicitado. Dicho resultado es satisfactorio para los propósitos del CIERHI, en esta, la primera fase.

5. PRUEBAS REALIZADAS

Los modelos de simulación en la actualidad son empleados de forma extendida en el diseño y explotación de canales. La rapidez en el procesamiento de datos permite el empleo de técnicas numéricas para describir el comportamiento de los canales de laboratorio, sometiéndolos a perturbaciones, alteraciones de pendiente, instalación de obstáculos a lo largo del tramo del conducto, de manera que se pueda simular eventos que previenen el comportamiento hidráulico de cauces establecidos en los ríos y canales artificiales. Esto se traduce directamente en aprovechamiento de los estudios realizados para el diseño de presas hidráulicas, reservorios de agua, sistemas de riego, etc.

Con este objetivo se diseñaron pruebas para demostrar que el sistema facilitaba el control del canal provocando diferentes entornos de flujo e así posibilitar entender, predecir e incluso plantear soluciones a fenómenos como los "bores", que no son mas que una condición de flujo rápidamente variable que ocurren en diferentes ríos del mundo a causa de cambios bruscos en las mareas y que viajan río arriba ocasionando inundaciones, destrucción de cultivos en sus márgenes, etc.

La HMI que se diseñó, tenía como objetivo facilitar que el sistema sea de beneficio desde el punto de vista pedagógico, puesto que utilizando modelos de simulación se puede enseñar a estudiantes de Hidráulica comportamientos transitorios en el flujo de un canal, que si bien es cierto pueden percibirse visualmente no pueden ser evaluados por el tiempo requerido para realizar mediciones de variables que puede superar al lapso en el que el evento se produce. Con este objeto se puso a utilización de los futuros usuarios el HMI diseñado, para conocer de sus opiniones. Esta vez casi todos coincidieron que la HMI diseñada efectivamente facilitaba el control del canal; es decir, se cumplió con el propósito de construir un sistema de monitoreo útil como una herramienta de enseñanza y experimentación en Hidráulica.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La Electrónica puede ser aplicada a cualquier ramo del desarrollo humano, cegarse a que esta existe por si sola, es limitarla. Sin duda esto pudo comprobarse cuando una Carrera estuvo dispuesta a realizar trabajos interdisciplinarios con otra, y obtener juntos, beneficios.

La aplicación de la Instrumentación y el Control en el estudio y predicción de la conducta de los fluidos resulta ser un tema de enorme importancia, pues, se pueden explicar y prevenir fenómenos que se producen cerca de los cauces naturales como son las inundaciones y bores; y anticiparse a las consecuencias de otros comportamientos de los fluidos como maremotos y sunamis.

Al realizar un balance entre el comportamiento de los parámetros que intervienen en un circuito eléctrico y aquellos que se consideran cuando se obliga a circular a un fluido por un conducto destapado se puede concluir que los transitorios provocados cuando el canal cambia de pendiente o cuando la compuerta altera su posición son extremadamente lentos en comparación a los transitorios que se presentan en el voltaje o la corriente después de provocarse una perturbación. El flujo puede entrar en régimen estacionario inclusive después de tres minutos de haber provocado una alteración.

El desarrollo de una Interfaz de usuario debe realizarse considerando no solo aspectos técnicos, sino también las necesidades y capacidades de quien va a utilizarlo. De lo contrario se convierte en un equipo costoso que no tiene utilidad práctica alguna.

6.2. RECOMENDACIONES

El método numérico utilizado, requiere para su ejecución un tiempo que para requerimientos más exigentes de los que se solicitó, podría convertirse en un inconveniente, se recomienda que si se desea ampliar el tema se introduzca un nuevo Método como el de las Características o el Método de Elementos Finitos y que el Proyecto se lo realice en equipo con un estudiante de la Carrera de Hidráulica.

Se podría ampliar la capacidad de experimentación del Canal Hidrodinámico de

Pendiente Variable (producir perfiles superficiales adversos), si se corrige el sistema de manera que éste ascienda a voluntad del usuario, claro está en el rango de 4-0%.

6.2.1. FUTUROS DESARROLLOS

- Se puede extender más aún el proyecto si se amplía el análisis para flujos temporalmente variados. Claro está que para ello se requiere: incrementar la instrumentación, buscar otro método numérico que permita la resolución de la Ecuación de Saint-Venant, encontrar otro sistema de confirmación de resultados, pues en un flujo rápidamente variado los parámetros de tirante y velocidad cambian inmediatamente, y en ocasiones sin obedecer a formulación alguna.
- Otra propuesta ha realizarse en el Canal Hidrodinámico es analizar y obtener digitalmente el comportamiento de la lámina superior del fluido tridimensionalmente, reproduciendo las ondas de expansión y de choque. Esta opción requiere de un amplio conocimiento de Matemática Avanzada pues se requiere resolver las ecuaciones de Navier –Stokes que son ecuaciones genéricas de los fluidos y que parten del comportamiento de los sólidos como forma de la materia fundamental de la cual se derivan líquidos y gases. Para el desarrollo de este trabajo, que sin duda podría convertirse en un Proyecto de Titulación se requeriría utilizar un programa que facilite la resolución de estas ecuaciones, se sugiere Matlab en conjunción con Matcad.
- Analizar el comportamiento del flujo cuando el canal por el que circula cambia de forma y no solo de condiciones es otro Proyecto que podría ser planteado. Para ello se podría solicitar al CIERHI implemente estructuras que puedan ser colocadas a lo largo del canal. Si se pone en práctica esta sugerencia, se recomienda se consulte las referencias bibliográficas mencionadas en este Proyecto, pues en ellas podrá encontrar suficiente información del comportamiento de los fluidos cuando las paredes que los encierran cambian su forma a lo largo del eje x.
- Estudiar a profundidad el comportamiento de los resaltos hidráulicos, determinar una ecuación que los rija, predecir y cuantificar

las macroturbulencias que en este fenómeno se llevan a cabo es otro Proyecto más que se puede implementar con el suficiente financiamiento. Este trabajo puede considerarse como una investigación ya que hasta en la actualidad no existen estudios profundos acerca de este comportamiento de los fluidos.

13. www.square.com
14. <http://ecatalog.squared.com>
15. <http://www.automatas.org/schneider/telemecha.htm>
16. <http://www.moujenswitch.com/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. CHOW, Ven Te Ph.D., Open-Channel Hydraulics, Editorial McGraw-Hill. New York, Toronto, London, 1959
2. GRAFT, Henry, Fluvial Hidraulics. 1998
3. FRENCH, Richard H. Hidráulica de Canales Abiertos. Editorial McGraw-Hill. México. 1988
4. AGUIRRE, Julián; Departamento de Hidráulica y Sanitaria, Facultad de Ingeniería Universidad de los Andes. Hidráulica de Canales. Editado por: CIDIAT, Mérida-Venezuela, 1974
5. BATEMAN PINZON, Allen. Formación y Propagación de Frentes de Onda en Canales. Estudio Numérico Experimental, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona – Septiembre 1993
6. SOTELO AVILA, Gilberto; Hidráulica General. Volumen 1, Editorial LIMUSA. México, 1999
7. SENSYM, Solid-State Pressure Sensors Handbook 1994
8. TRIANGLE RESEARCH INTERNATIONAL, Internet TRiLOGI vers. 5.2, Programmer's Reference
9. TRIANGLE RESEARCH INTERNATIONAL, T100MD+, Super Programmable Controllers, User's Manual.
10. NATIONAL INSTRUMENTS, Lookout Basics, Course Manual. 2001
11. www.ni.com
12. www.tri-plc.com

BIOGRAFÍAS

EVELYN FERNÁNDEZ (Agosto/1980)

Nacida en Quito, Ecuador. Empieza su educación primaria en la Escuela Fiscal Alejandro Cárdenas, continua en el Colegio 24 de Mayo donde en varios años es condecorada como la mejor estudiante de su Especialización Físico-Matemático; en este lapso permanece como miembro activo de la UNESCO.



Evelyn Fernández

Sus estudios superiores los realiza en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador donde se gradúa en mayo del 2005 como Ingeniera en Electrónica y Control. Se ha desempeñado como profesora temporal en la Universidad Salesiana del Ecuador y prestando Servicio Técnico en varias empresas de la Industria Textil.

MÉLIDA MASABANDA (Marzo de 1980)

Nacida en la provincia del Tungurahua, en el Cantón Ambato, el 20 de Marzo de 1980. Los estudios secundarios los realiza en el Instituto Técnico Superior "Hispano América", y obtiene el bachillerato en la especialidad de Computación siendo ésta la primera promoción lanzada por dicho colegio, con grandes expectativas y buenos resultados.



Mélida Masabanda

Posteriormente obtiene el Título de Ingeniera en Electrónica y Control en la Escuela

Politécnica Nacional. Actualmente se desarrolla como docente en el Departamento Pedagógico de la Escuela.



El Dr. Luis Corrales realiza sus estudios secundarios en el Colegio Experimental Central Técnico, obteniendo el título de Bachiller Técnico en Radio Tecnia. Posteriormente se gradúa en 1979 en la Escuela Politécnica Nacional como

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. En la Universidad de Strathclyde, en Gran Bretaña, sigue sus estudios de post grado donde, desde 1984 a 1988, obtiene su PhD en Bioingeniería. Trabajó por diez años como Consultor en el Área de Sistemas en el Banco Interamericano de Desarrollo, siendo una de sus actividades la de Administrador de su red Informática. Ha dirigido decenas de tesis, incluyendo varias a nivel de maestría, en temas relacionados con la Informática, Redes LAN, Redes Digitales Industriales, Instrumentación Biomédica, Domótica, Automatización de Procesos Industriales, Automatización de Invernaderos. Actualmente es Profesor Principal en la EPN y es también Instructor CCNA de la Academia de CISCO en la EPN. Ha dictado charlas y seminarios en varias Instituciones Educativas del País, así como para varias empresas privadas, en temas relacionados con Redes Industriales Digitales, Instrumentación Biomédica, Instrumentación Industrial.