

Diseño de una Estación de Aforo Continua para el Canal de Descarga de Efluentes Tratados de la Refinería Estatal de Esmeraldas

Fernando Gutiérrez Lara¹, Marco Pazmiño Barreno².

¹Ingeniero Mecánico 2005, email: lgutierr@espol.edu.ec

²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, Postgrado EEUU, Universidad New Hampshire 1974, Profesor de ESPOL desde 1974 Email mpazmino@espol.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo pretende ser un aporte principal en el tema del control de la contaminación de los cauces superficiales de agua, a través de la medición del volumen de efluentes industriales vertidos hacia los ríos, específicamente los efluentes que la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) descarga hacia el río Teaone. El trabajo se lo ha dividido en varias partes, involucrando el conocimiento previo de la planta industrial y los antecedentes que propiciaron la generación del proyecto.

La idea consiste en implementar a futuro, una estación de aforo continua en el canal abierto que conduce los efluentes tratados de REE, con el propósito de determinar en tiempo real el caudal que se está vertiendo hacia el río, así como también llevar un registro acumulado del mismo. Para esto se deberá diseñar una instalación hidráulica que se ajuste a las condiciones del canal existente. Además se deberá seleccionar un equipo totalizador de caudales que facilite la lectura de datos.

Para cumplir este objetivo, se realiza la selección de una sección de control a lo largo del canal, se analizan alternativas de diseño de la estación de aforo, y se investiga acerca de los diferentes instrumentos para el aforo en canales abiertos.

SUMMARY

This project intends to be a major contribution on the subject of pollution control of fluvial waters through the measurement of the volume of industrial effluent discharged into rivers, the major concern being the discharge from the Esmeraldas State Refinery (REE) into Teaone River. The project has been divided into several parts which include the review of previous knowledge about the industrial plant and the search for data that justifies the implementation of this project.

The idea consist of the implementation of a permanent data recording station in the open channel that carries the treated effluents from the REE, with the purpose of making continuous measurements of discharge flow rate and maintaining a cumulative register at the same time. For this it will be necessary to design a hydraulic installation that adjusts to the existing channel conditions. Furthermore it would be necessary to look into what would be the most appropriate flow rate totalizing equipment to facilitate data reading.

To carry out this objective, a control section along the channel would be chosen and alternatives for data recording station design and flow rate instruments for open channels would be investigated.

INTRODUCCIÓN

La Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) es la planta industrial más grande del país, tiene como objetivo principal; procesar el crudo proveniente del oriente ecuatoriano y transformarlo hasta obtener los diferentes derivados de consumo nacional y para la exportación como son: gas licuado de petróleo, naftas, gasolinas, diesel, asfalto, fuel-oil, etc¹.

La industria de refinación del petróleo, emplea para cumplir su cometido procesos altamente tecnológicos y por consiguiente un consumo en grandes cantidades del recurso hídrico. Aunque las instalaciones de la REE permiten reutilizar una parte del agua, la mayor parte es descargada al Río Teaone, después de ser procesada en la unidad de tratamiento de efluentes.

Con el propósito de cumplir la normativa ambiental vigente, en la REE se monitorea constantemente los efectos que tiene la descarga de aguas residuales, se llevan a cabo análisis a diario de la composición química del efluente, y de la concentración de las sustancias contaminantes en los cuerpos hídricos circundantes y al interior de la planta industrial.

Para complementar el monitoreo de la composición química de los efluentes, y por ende controlar de una mejor manera los efectos que tiene el vertido de éstos, se hace necesario determinar continuamente y llevar un registro acumulado del caudal de aguas residuales tratadas que descarga Refinería.

La presente investigación se ha desarrollado con el objetivo de aportar al conocimiento en tiempo real y acumulado del caudal de efluentes tratados vertidos, mediante el empleo de una estación de aforo de caudales. Para ello, a este trabajo se lo ha dividido en varios capítulos:

CAPÍTULO 1

1. LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS.

1.1 Antecedentes.

La Refinería Estatal de Esmeraldas (REE), se encuentra a 7 Km. de la ciudad en dirección suroeste, junto a la vía que conduce al cantón Atacames. Las instalaciones se encuentran a 300 metros del Río Teaone, a 3 kilómetros del Río Esmeraldas y a 3,8 kilómetros del Océano Pacífico en línea recta. El sitio se encuentra en una región tropical con un promedio anual de precipitación de 750 mm, el rango de temperatura promedio es de 16.5 °C a 36 °C.

Para la refinación del petróleo la planta industrial emplea una serie de procesos altamente tecnológicos, y por consiguiente un consumo del recurso hídrico en grandes cantidades. Las instalaciones de la REE permiten reutilizar una fracción del agua, el resto se descarga como efluente. Previa a este vertido, el agua se procesa en la planta de tratamiento de efluentes.

1.2 Necesidad de medición del caudal de efluentes.

La contaminación, entendida como degradación del medio ambiente, es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro planeta, y surge cuando, por presencia cuantitativa o cualitativa de materia o energía, se produce un desequilibrio ambiental.

La Refinería Estatal de Esmeraldas, tratando de seguir una política ambiental que garantice una mejor calidad de vida para sus trabajadores y los habitantes de la ciudad de Esmeraldas, en el año 2001 realiza una Auditoría Ambiental Integral a la planta industrial. Una de las recomendaciones que arrojó este estudio, tiene como objetivo determinar el caudal de los efluentes que la Refinería vierte hacia el Río Teaone. El cumplimiento de este objetivo permitirá monitorear la dinámica depuradora del río, especialmente durante su periodo de estiaje que es cuando la situación se vuelve crítica.

CAPÍTULO 2

2. ESTRUCTURAS PARA MEDIR CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.

2.1 Características.

Las razones por las cuales se desea medir el agua en movimiento en un canal generalmente están ligadas a las actividades de riego, al margen de aquellas que se efectúan con fines específicos como corresponde al caso de la presente investigación, en donde el motivo fundamental es controlar el vertido de efluentes industriales que realiza un usuario a un cauce de agua superficial. Esta aplicación tiene cada día mayor vigencia en muchos países, como por ejemplo los de la CEE², que se han visto obligados a reformar su legislación ambiental para incluir artículos en donde se obliga a las industrias a instalar canales con totalizadores en todos los puntos de vertido.

2.2 Conceptos Relativos a la Medición de Caudales.

Tipos de flujo: El flujo es clasificado en flujo en *canales abiertos* y en flujo en *conductos cerrados*.

Estado de flujo: El estado o comportamiento de flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

Efecto de la gravedad: Esta relación esta dada por el *número de Froude*³, definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g h_m}} \quad (2.1)$$

Cuando F es igual a la unidad, la ecuación (2.1) se convierte en:

$$V = \sqrt{g h_m} \quad (2.2)$$

y se dice que el flujo esta en un estado *crítico*. Si $F < 1$, el flujo es *subcrítico*.

2.3 El Flujo Crítico y Sus Aplicaciones.

Control de flujo: El control de flujo en un canal abierto se define de muchas maneras. Tal como se utiliza aquí, el término significa el establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal, o más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal de flujo. Cuando el control de flujo se alcanza en una cierta sección de canal, esta sección es una sección de control. La sección de control regula el flujo de modo que restringe la transmisión de efectos de cambios en la condición del flujo, ya sea en una dirección hacia aguas arriba o hacia aguas abajo. Como la sección de control mantiene una relación nivel-caudal definitiva, siempre es un lugar adecuado para una estación de aforo y para el desarrollo de una curva de calibración de caudales, la cual es una curva que representa la relación altura de carga versus caudal, en la estación de aforo.

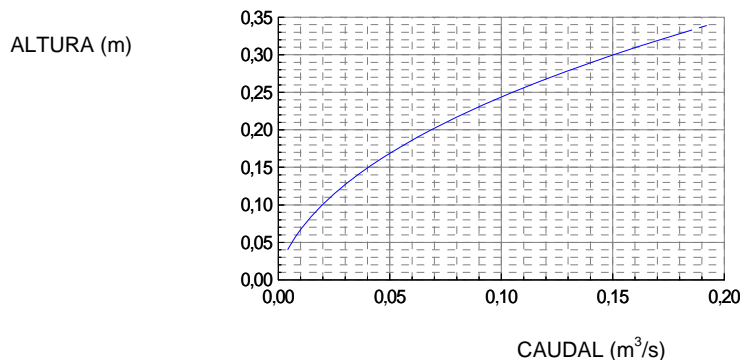


FIGURA 1. RELACIÓN, ALTURA DE CARGA – CAUDAL

Medición de caudales: Con base en el principio del flujo crítico, se han desarrollado varias estructuras para la medición de caudales. En tales estructuras, a menudo la profundidad crítica se crea mediante la construcción de una pequeña elevación en el fondo del canal, tal como un vertedero, o mediante una contracción en la sección transversal, tal como en un aforador de flujo crítico. La experiencia ha demostrado que el método más adecuado para cada caso depende de tres factores importantes⁴:

- La magnitud del caudal,
- La precisión buscada,
- Las condiciones que impone el medio.

2.4 Clasificación de las Estructuras de Aforo.

El flujo en estructuras de medición de caudales puede ser⁵:

Por desbordamiento:

- Vertederos de pared delgada. (Rectangular, triangular, Cipolletti).
- Vertederos de pared ancha. (Aforadores RBC).
- Por compuertas de fondo. (orificios).

Por contracción:

- Medidores a régimen crítico (Aforador Parshall, aforador sin cuello, aforador en H, aforador de garganta larga)



FIGURA 2. AFORADOR PARSHALL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE REE.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE AFORO.

3.1 Selección del Punto de Aforo y del Tipo de Estructura.

Después de analizar algunas alternativas de posibles puntos de aforo a lo largo del canal; se escoge un punto situado en el primer tramo del canal. Esta parte del canal tiene una sección transversal trapezoidal con paredes recubiertas de hormigón y una pendiente poco pronunciada, entre otras ventajas que influyeron para su selección.

La selección del tipo de estructura de aforo a emplearse no fue tan sencilla, debido a que no se pudo definir fácilmente entre los aforadores de cresta ancha y los aforadores de garganta larga con solera constante. Es decir que como ambas estructuras mencionadas presentaban similares ventajas, se tuvo que recurrir a otros parámetros de diferenciación más claros.

La selección final fue hecha en base a los siguientes argumentos. Aunque el aforador de garganta larga con solera constante presenta la ventaja de que no opone ninguna restricción al arrastre de sólidos es decir necesita menos mantenimiento; sin embargo no se considera que este sea el criterio más importante para la selección de la estructura de aforo. Por otro lado el vertedero de pared ancha presenta la ventaja de que puede ser calibrado y diseñado por medio del computador, que es un argumento de mayor peso. Además este tipo de vertederos con una adecuada transición hacia la sección de control puede también evitar eficientemente la restricción al paso de sólidos.

Por otro lado la forma de la sección de control también fue muy discutida. Si bien es cierto que aunque en un aforador de sección de control de forma triangular o trapezoidal se pueden lograr lecturas más precisas para caudales bajos, esta forma de sección presenta el inconveniente de una construcción más complicada por la forma de la sección de transición que se forma. En cambio en una sección rectangular el dimensionamiento y construcción de la obra es mucho más sencilla que otro de cualquier forma.

El análisis de los criterios anteriormente mencionados, llevan a la selección de una estructura de aforo del tipo vertedero de pared ancha con una sección de control rectangular.



FIGURA 3. TRAMO DEL CANAL CON SECCIÓN TRAPEZOIDAL QUE FUE SELECCIONADO

3.3 Diseño de la estructura con Winflume.

Con ayuda del programa de computación de libre acceso “Winflume Versión 1.05”⁶, se realiza el diseño del tipo de vertedero que se ha seleccionado para la implantación en el canal existente.

El WinFlume es un programa que sirve para 2 objetivos básicos:

- 1) La calibración de la estructura de medida del flujo existente.
- 2) El diseño de nuevas estructuras en un canal existente.

Consideraciones geométricas e hidráulicas para el diseño con Winflume:

1. Condiciones existentes en el canal
 - Rango de caudales
 - Influencia de alguna estructura de control corriente arriba.
 - Numero de Froude uniforme.
 - Pendiente de solera y sección transversal del canal
 - Material y rugosidad de paredes del canal (coeficiente de Manning).
2. Condiciones recomendadas para el punto de aforo
 - Las Estructuras Canal Arriba:
 - Bordo libre del canal (Freeboard) requerido en condiciones de máximo flujo.
 - Los Niveles del Canal Aguas Abajo (Canal de Cola):
 - Transporte de Sedimentos:
3. Método de contracción.
4. Dimensiones sugeridas del aforador
 - Altura de la cresta p1:
 - La longitud de canal de acceso:
 - La longitud de la transición convergente:
 - La longitud de la sección de control:
 - Pendiente de la sección después de la garganta:
5. Criterio de pérdida de carga
6. Método de medición de cabezal
7. Regla calibrada a emplearse.

Procedimiento de Cálculo del Software: WinFlume construye aforadores virtuales basados en el diseño inicial y evalúa entonces según 4 criterios del diseño primarios y 2 criterios del diseño secundarios. Los cuatro criterios primarios son:

- 1) El Número de Froude del canal aguas arriba debe ser menor de 0.5
- 2) El bordo libre (freeboard) canal arriba en flujo máximo debe reunir los requisitos especificados por el usuario.
- 3) Tirante aguas abajo aceptable menor al tirante en condiciones de flujo mínimo.
- 4) Tirante aguas abajo aceptable menor al tirante en condiciones de flujo máximo

Los criterios del diseño secundarios son:

- 1) El diseño debe reunir los requisitos de exactitud a flujo mínimo.
- 2) El diseño debe reunir los requisitos de exactitud a flujo máximo.

Resultados Obtenidos: El software presenta los resultados del diseño mediante un reporte en el que se evalúa el cumplimiento de cada uno de los criterios de diseño. Además para facilitar la construcción del aforador, y la instalación de un dispositivo registrador de nivel, se genera la siguiente información:

- Curva de calibración *altura de carga versus caudal* (H vs. Q)
- Escala limnométrica graduada.
- Ecuación que rige el comportamiento hidraulico del aforador.

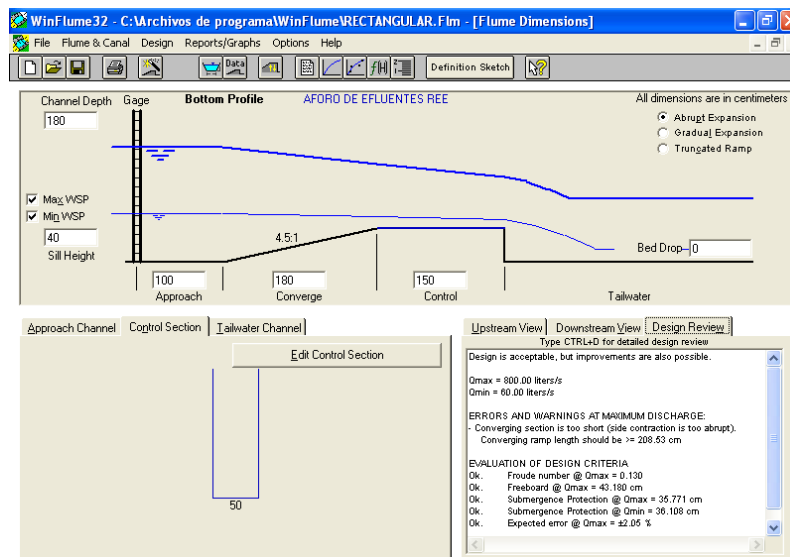


FIGURA 4. REVISION DEL DISEÑO CON WINFLUME



FIGURA 5 .CONSTRUCCIÓN EN MARCHA DE UN VERTEDERO DE CRESTA ANCHA TRAPEZOIDAL EN EL ESTADO DE ARIZONA EEEUU.

CAPÍTULO 4

4. EL DISPOSITIVO SECUNDARIO SENSOR DE NIVEL.

4.1 Características.

Durante décadas el método común para el registro constante de los cambios de nivel de agua en un canal abierto, era el empleo del limnógrafo; que consiste de un flotador cuyo ascenso y descenso en una poza de amortiguación se registraba en un diagrama movido por un aparato de relojería. La desventaja era la sensibilidad a errores accidentales y a un mal funcionamiento; Afortunadamente la tecnología moderna ha mejorado considerablemente en lo que se refiere a la recopilación y el procesamiento de datos. Por ejemplo, los detectores no flotantes del nivel se pueden basar en la resistencia/capacidad eléctrica, en la presión sobre un bulbo herméticamente cerrado, en la descarga de burbujas de aire, o en transductores ultrasónicos.

Las ventajas que presenta un equipo con capacidad para llevar un registro de valores sobre uno que no tiene esta capacidad son:

- En estructuras de aforo expuestas a fluctuaciones diarias del caudal, un continuo registro del caudal permite la manera más precisa de determinar un promedio diario de la descarga.
- Caudales máximos y mínimos pueden ser registrados, la duración y el instante en que ocurren.
- Registros pueden ser obtenidos de estaciones de aforo en donde un observador no siempre este disponible.

4.2 Clasificación de los Equipos de Medición Continúa de Caudales.

Estos equipos pueden ser clasificados en dos grupos según sea la forma que registren o almacenen la información. El registro puede ser:

- *Analógico* (proveen como resultado una grafica)
- *Digital* (perforando una cinta de papel, almacenando en una memoria o transmitiendo los valores).

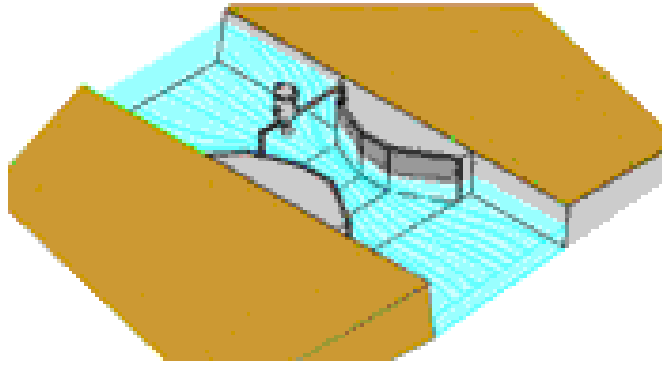


FIGURA 6. EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE UN TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASONICO



FIGURA 7. UNIDAD PROGRAMABLE A BATERIA OPERANDO EN UNA ESTACION DE AFORO

CONCLUSIONES

- Se ha logrado realizar un inventario de los aforadores más conocidos, comparar las ventajas y desventajas de estos e identificar el más adecuado para su utilización en el área de aplicación.
- Se consiguió calibrar matemáticamente el aforador diseñado con ayuda del programa “Winflume versión 1.05”. Se ha elaborado una tabla de valores de caudal (Q) vs. altura de carga (H), para la obra de medición.
- Aunque la totalidad de la teoría empleada en este proyecto corresponde a la hidráulica de medición en canales abiertos utilizada en los sistemas de irrigación, su aplicación en el campo de la medición de caudales de efluentes industriales es totalmente válida, ya que los principios físicos son los mismos, aunque las aplicaciones sean diferentes.

- La medición del caudal de efluentes de REE, permitirá hacer una evaluación constante respecto a la eficiencia con que se maneja el recurso hídrico, no tanto por el costo del tratamiento del agua, sino por el costo ambiental implicado.
- El campo de aplicación de las estructuras de aforo, y por ende de los equipos electrónicos totalizadores de caudal tienen gran proyección en el área de la conservación ambiental, ya que permiten realizar el control del vertido de efluentes a corrientes superficiales, en especial cuando estas corrientes reciben la descarga de un número elevado de industrias, como ocurre en los parques y zonas industriales. La totalización de los caudales permitirá conocer el aporte de cada uno de los usuarios a la contaminación del río, facilitando de esta manera el cobro de tasas de recargo por volumen vertido. Desde este punto de vista, la REE se estaría adelantando a la legislación ambiental vigente en nuestro país, ya que en la actualidad no existe ningún artículo que regule el vertido de efluentes a través del caudal.

REFERENCIAS

-
- 1 <http://www.petroecuador.com.ec/pin/refin-esmeraldas>
 - 2 Estruch M. Alejandro y Termes R. Montserrat, Universidad de Barcelona, 1997, La Política del Agua en Cataluña, <http://www.ub.es/graap/wp1997-Termes.PDF>
 - 3 French, Open Channel Hydraulics. (Mc Graw – Hill), pp. 336-365.
 - 4 U.S. Bureau of Reclamation, Water Measurement Manual, 3rd ed., U.S. Government Printing Office, Washington DC 1997
 - 5 Bos, Replogle and Clemmens, Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems, John Wiley & Sons, New York, NY, 1986, pp.321
 - 6 Wahl T. MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES, INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS DE LOS EUA, WinFlume, Manual del usuario. Software para el Diseño y Calibración de Aforadores de Garganta Larga y Vertederos de Cresta Ancha para Medición de Descargas en Canales Abiertos (traducción al español). 2001
<http://www.usbr.gov/wrrl/winflume/>