

Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



Informe Final

**GOBIERNO  
FEDERAL**

**MÉXICO  
2010**

**SEMARNAT**



**Vivir Mejor**

# Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.

## Informe Final

Clave IMTA: HC0917.3

SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA AMBIENTAL  
COORDINACIÓN DE HIDRÁULICA

M. en I. Cecia Millán Barrera  
Dr. Ariosto Aguilar Chávez  
Ing. Víctor Mejía Astutillo  
Reza Arzate Guillermo  
Tamari Wagner Serge

México, 2009

FI.CO.4.40.1



## ÍNDICE

<b>1 RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>2 ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>3 OBJETIVO .....</b>	<b>6</b>
<b>4 METODOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
<b>5 MODELACIÓN NUMÉRICA DEL CONDUCTO DE PRESIÓN 2 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA" .....</b>	<b>9</b>
<b>6 ACTIVIDADES PREPARATORIAS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>6.1 Planeación de la Instalación.....</b>	<b>16</b>
6.1.1 Matriz de actividades de trabajo .....	16
6.1.2 Ruta crítica de las actividades de Instalación del sistema .....	19
6.1.3 Diagrama de Gantt / Cronograma de actividades.....	21
<b>6.2 Diseño y planos del sistema de sujeción .....</b>	<b>23</b>
6.2.1 Evaluación de la fuerza de arrastre alrededor de los elementos de sujeción.....	23
6.2.2 Análisis del sistema de sujeción, considerando la acción de flujo unidireccional sobre un elemento circular (tornillo).....	24
6.2.3 Análisis del sistema de sujeción, considerando la acción de flujo sobre un elemento circular bidimensional (tornillo).....	25
6.2.4 Esfuerzos actuantes a lo largo de la canaleta .....	26
<b>6.3 FABRICACIÓN DE PIEZAS ESPECIALES .....</b>	<b>28</b>
6.3.1 Soportes triangulares para cables .....	28
6.3.2 Soportes de media caña para cables.....	30
6.3.3 Registros rectangulares de Acero Inoxidable .....	31
6.3.4 Relevadores de esfuerzos .....	33
6.3.5 Abrazaderas de acero inoxidable.....	33
6.3.6 Placa pasa muros .....	34
<b>6.4 Diseño del andamio .....</b>	<b>36</b>
<b>6.5 Actividades preliminares en sitio.....</b>	<b>38</b>
<b>6.6 Desarrollo de la aplicación informática para el desarrollo del monitoreo local .....</b>	<b>43</b>
6.6.1 Antecedentes .....	43
6.6.2 Descripción general del Sistema .....	43
6.6.3 Hardware .....	50
6.6.4. Firmware.....	52
6.6.5. Software .....	54
6.6.6. Ubicación Geográfica.....	61
<b>7 CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>63</b>



**IMTA**  
Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua

Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

<b>ANEXO A. DOCUMENTOS ADMINISTRATIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>64</b>
<b>A.1 Solicitud de Supervisión de Seguridad del IMTA.* .....</b>	<b>64</b>
<b>A.2 Minuta de trabajo relacionada con la continuidad de los trabajos de instalación del sistema de medición en la Central Hidroeléctrica "La Villita".* .....</b>	<b>65</b>
<b>A.3. Minuta de trabajo relacionada con entrega de bienes a resguardo por parte del IMTA a la Central Hidroeléctrica "La Villita".* .....</b>	<b>67</b>
<b>A.4 Acta de Entrega oficial del Sistema de medición adquirido por el IMTA para la Comisión Federal de Electricidad.* .....</b>	<b>69</b>



## 1 RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento se presenta una descripción detallada de las actividades resultantes del seguimiento y ejecución a los objetivos estipulados en el proyecto convenido este año entre la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad; CFE y la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; mismos objetivos que para su valoración se transcriben aquí.

- Suministro del sistema de medición de tipo ultrasónico intrusivo de 4 pares (8 sensores) que mida con una exactitud menor al 2% del caudal circulante en la conducción o como lo establece la norma IEC:60041:1991.
- Instalación del sistema de medición incluyendo el suministro de materiales y equipo para su correcta colocación.
- Integración, a través de programación necesaria para la medición de ultrasonido al sistema de monitoreo que permita conocer la eficiencia, y todas las variables medidas y calculadas de la unidad.
- Pruebas y puesta en servicio del sistema de medición el cual incluye: Modelación Numérica del flujo en la obra de toma de generación, verificación del funcionamiento del medidor, análisis de incertidumbre de la medición y elaboración del Informe Final.

De las actividades anteriores sólo la primera se llevó a cabo completamente. El equipo de medición ultrasónico a instalar fue adquirido por el IMTA y cumple con los requisitos de precisión de la medición de la norma IEC 60041:1991 y ASME PTC-18 como se detalla en el manual de la unidad electrónica. Se traspasó el resguardo tanto del medidor como del sistema de sujeción a la Central Hidroeléctrica "La Villita", como representante de la Comisión Federal de Electricidad, según consta en la minuta correspondiente (9 de noviembre de 2009).

Pasando al punto principal, el de la instalación y puesta en servicio del sistema de medición, no fue posible concretarlo debido a los imponderables mencionados en la minuta correspondiente (7 de noviembre de 2009). Estos fueron el desprendimiento del calafate de la compuerta en al menos dos ocasiones y el insuficiente desagüe en la zona en donde se planearon llevar a cabo los trabajos. La unidad inicialmente se entregaría el 19 de octubre pero se entregó hasta el día 26 de octubre fecha en que se iniciaron los



**IMTA**  
Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua

Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

trabajos planeados en el periodo de mantenimiento, lo cual, aunado a las veces en las que el conducto a presión se inundó, en las cuales se implementaban soluciones (que demoraban de 2 a 3 días) con las que parecía que por fin se bajaría el tirante de agua a una altura de 10 a 20 cm como se solicitó con antelación para llevar a cabo la instalación con seguridad, el tiempo transcurrió acortándose para llevar a buen término los trabajos. La fecha fijada por CFE para abandonar la unidad fue el 29 de noviembre del año en curso, El día 7 de noviembre en la zona de trabajo había un tirante aproximado de 2.0 m y se estimaba que tardaría en desaguarse en 3 días como mínimo. Ante este escenario ya no era posible desarrollar los trabajos y salir de la unidad en la fecha establecida por la Central ya que el cronograma del IMTA contemplaba la duración de los trabajos dentro de la unidad en 25 días. Otra situación imprevista fue que el IMTA tenía planeado entrar por el vano de la compuerta pero por el desprendimiento repetido del calafate de las compuertas y a que no se tenía la certeza de que no volviera a ocurrir, la Superintendencia de la Central cuidando aspectos de seguridad en el trabajo solicitó al IMTA accesar y sacar los cables por el pozo de oscilación. Más tarde, en una reunión entre la Central y el IMTA se expusieron y comentaron los hechos y las alternativas para solucionar estas situaciones, concluyendo finalmente que lo mejor era reprogramarlos para el año entrante previa negociación con las contrapartes correspondientes, como se lee en la minuta de trabajo emitida en esa fecha (7 de noviembre de 2009).

Por lo anterior la tarea se suspendió, a la espera de que como lo previene el convenio general entre la CFE y el IMTA, sea reprogramada.

En cuanto a la actividad tres, se terminó la aplicación informática, es decir la interfaz gráfica, faltando las pruebas e implementación en el sistema de monitoreo local de la Central. De la actividad cuatro sólo se entregará el informe final.

Dado que durante el año se realizaron las tareas como: diseño de los elementos de sujeción, modelación numérica del flujo, desarrollo del software para la interfaz gráfica, el aprovisionamiento de los recursos humanos y materiales, los trabajos de logística para el transporte del material y del personal en el lugar de la instalación; se reportan en el presente documento.



## 2 ANTECEDENTES

Un sistema de monitoreo del rendimiento de cada unidad generadora en tiempo real es una herramienta de apoyo en la gestión de operación y de la eficiencia tanto de las unidades generadoras como de la planta. El personal autorizado puede monitorear esta información o proporciona esta información al operador lo cual le permite tomar decisiones relacionadas con el aumento de la eficiencia de la unidad o de la planta en base a la medición real del rendimiento. Los datos almacenados son fácilmente recuperables para analizar la operación de la Central.

En este contexto, la Comisión Federal de Electricidad inicio desde el 2006 la modernización de sus Centrales y hasta la fecha siete de sus centrales han sido instrumentadas con sistemas de monitoreo.

En este proceso de modernización, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través del grupo de macromedición dada su experiencia en la instalación de equipos ultrasónicos dentro de tuberías, ha fungido como supervisor de la instalación lo que ha redundado en un aumento de la experiencia del personal del IMTA en estas labores.

Este año la Comisión Federal de Electricidad encomendó a la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental del IMTA la tarea de llevar a cabo el suministro e instalación de un sistema de medición de tipo ultrasónico en la Central Hidroeléctrica La Villita así como la integración de las variables de interés generadas por el mismo al sistema de monitoreo existente que para la operación de la Central sean necesarias.

## 3 OBJETIVO

Se contrató a la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental para que suministre un sistema de medición que cumpla con los requisitos de precisión de la medición de la norma IEC 60041:1991 y además lo instale. Este sistema es de tipo ultrasónico cuyos principales componentes deben ser: unidad electrónica, 8 sensores, cables de señal, gabinetes, además de proveer todos los elementos necesarios para garantizar una correcta instalación del mismo.

Asimismo llevar a cabo una prueba de funcionamiento del medidor para su entrega a la Central Hidroeléctrica "La Villita". Desarrollar la aplicación informática para el despliegue de datos, cálculos, y gráficas representativas de las variables de importancia en la operación de una Central e integrarlos al Sistema de Monitoreo Local en operación.



## 4 METODOLOGÍA

Se asigna personal de la Subcoordinación de Hidráulica Ambiental del IMTA, si el trabajo encomendado lo amerita se subcontratan servicios complementarios necesarios como en este caso: electricistas, soldadores, topógrafo, y ayudantes generales.

Desde el inicio del proyecto se mantiene contacto con personal de la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de CFE y de la Central Hidroeléctrica en donde se realizarán los trabajos con la finalidad de revisar las condiciones de trabajo, los procedimientos a seguir, los requerimientos de ambas partes y de las actividades a efectuar, esto con la finalidad de llegar a acuerdos para la provisión de algunos recursos materiales o herramientas que se van a ocupar para las actividades contempladas en el proyecto.

El personal del IMTA se encarga de efectuar los tramites para la adquisición del equipo de medición, y toda la logística financiera y de operación, relacionada con la compra y/o renta de los materiales y los recursos humanos necesarios.

Una vez que el CENACE aprueba la fecha de salida a mantenimiento de la unidad en cuestión, la Coordinación de Generación da aviso al personal del IMTA para que se presenten con el superintendente de la Central respectiva para dar inicio a las actividades del proyecto, del cual, se hace un informe de actividades del avance del proyecto en ocasiones diariamente o cada vez que se empieza/termina con una actividad principal. El informe de actividades diarias se envía por medio electrónico a los involucrados en el proyecto. Las actividades principales de la instalación de un medidor que se llevarían a cabo, se pueden resumir en las siguientes:

Actividades Preliminares: que comprenden la limpieza mecánica de protecciones angulares y registros deflectores y aplicación de dos capas de protección anticorrosiva, elaboración de bases para sensores, prueba preliminar de medición de espesores, traslado de andamiaje, materiales y equipo a la Central Hidroeléctrica en cuestión, colocación de centro de carga principal e instalación del sistema de iluminación, ubicación y colocación de marcas del centro del sistema, anillo colector y referencias axiales

Traslado de andamios y sujeciones: básicamente consiste en el traslado de andamios, protecciones angulares, tubo rolado de PVC, referencias axiales y mesa para teodolito, plataforma de trabajo en el interior del ducto de presión. Incluye el armado del andamio.

Ubicación de los sensores ultrasónicos: consiste en la determinación del centro geométrico de la tubería y alineación del teodolito, también la determinación de la posición geométrica de los transductores ultrasónicos asimismo la colocación y fijación de las bases de éstos últimos.



Colocación de anillo colector: El anillo colector es un círculo de media caña que puede ser de acero, fierro común o PVC, se traza un círculo perimetral y se procede a anclarlo ya sea mediante soldadura o bien con anclaje químico, según sea el material del conducto a presión.

Colocación de protecciones angulares y dispositivos para la salida de cables del sistema. Trazado de las líneas guía de todos los ángulos: los que se unen al anillo colector, los primarios y secundarios. Se presentan sobre estas líneas para después barrenar el concreto y sujetarlos por medio de arpones de acero inoxidable.

Cableado del sistema. Instalación de líneas de transmisión para sensores (cables coaxiales RG-59), colocación y conexión de sensores, prueba de funcionamiento en seco del sistema, colocación de registros deflectores, aplicación de capa final de recubrimiento anticorrosivo a los elementos instalados.

Ajustes finales. Alineación de cada par de sensores, verificación de la posición geométrica de los transductores ultrasónicos.

Desarme de andamio. Desmontaje de andamio, desalojo de tubería de presión, recolección de residuos.

Actividades externas a la tubería. Sujeción gabinetes en caseta control, armado de gabinetes, instalación de tubería conduit para cable señal, cableado de la caseta al cuarto control.

Implementación del sistema de monitoreo local. Pruebas del software para verificar que los datos enviados por el equipo de medición estén siendo enviados correctamente y la interfaz este funcionando para lo que fue diseñada.

Una vez concluido lo anterior, se procede a la elaboración del Informe Final, este documento informa y explica de las actividades hechas durante la duración del proyecto.



## 5 MODELACIÓN NUMÉRICA DEL CONDUCTO DE PRESIÓN 2 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA"

En el mes de marzo del año en curso el conducto de presión 2 salió a mantenimiento, el personal del IMTA ingresó al mismo para verificar la geometría y el estado del concreto, ya que se los resultados de la simulaciones numéricas han arrojado que la mejor opción de instalación es en esa zona.

Al estar dentro se encontró que la geometría del conducto que habían manejado (planos parciales) tanto la Central como el IMTA no coincidían con la obra hidráulica, en especial, porque el conducto no es recto sino que presenta una suave curva de 2°. Ante la incertidumbre de cual sería la unidad en donde sería instalado el sistema de medición, se volvió a simular el flujo tomando en cuenta las dimensiones de la geometría en campo.

El reporte de resultados obtenidos se muestran a continuación:

### **Antecedentes**

Los medidores de flujo se calibran normalmente para unas condiciones de referencia en fábrica, en laboratorios de verificación o en centros de calibración con fluidos de propiedades conocidas. Los sistemas de tuberías de los laboratorios están diseñados para evitar la presencia de remolinos y distorsiones en el perfil de velocidades, de modo que éstos se evalúan casi en condiciones ideales. Sin embargo, en la práctica las tuberías raramente cumplen las condiciones ideales para la medición.

Como es sabido, los cambios en la sección transversal, curvaturas y las obstrucciones originan deformaciones de los perfiles de velocidad. Si en la sección transversal en donde se halla el medidor existe una variación significativa de la velocidad local, los errores resultantes en la medición del caudal pueden ser importantes, y a menudo difíciles de predecir.

En un perfil ideal para la medición, la capa límite está completamente desarrollada, los contornos de la velocidad son concéntricos y la velocidad máxima ocurre al centro de la tubería. El que existan tramos rectos de tubería con longitudes adecuadas hacia adelante y hacia atrás del medidor ayudará a garantizar unas buenas condiciones de medición del caudal. Los estándares aceptados o las recomendaciones de los proveedores del equipo proporcionan las longitudes de tramo preferibles.

Algunos medidores son susceptibles a los efectos mencionados, entre ellos los ultrasónicos, de modo que la elección de un buen lugar de medición es crítica.

### **Análisis Numérico**

Se denomina dominio de modelación a la malla numérica utilizada, en este caso el conducto se fraccionó en 20 elementos en la dirección X, 20 elementos en la dirección Y, en 673 elementos en la dirección longitudinal del conducto, Z. Para representar



adecuadamente el conducto se modificó la geometría de éste agregándole una curvatura y las longitudes recabadas en campo. Como procedimiento de rutina se llevaron a cabo pruebas preliminares con diferentes tipos de condiciones de frontera, dando mayor certidumbre a los patrones resultantes de la simulación numérica.

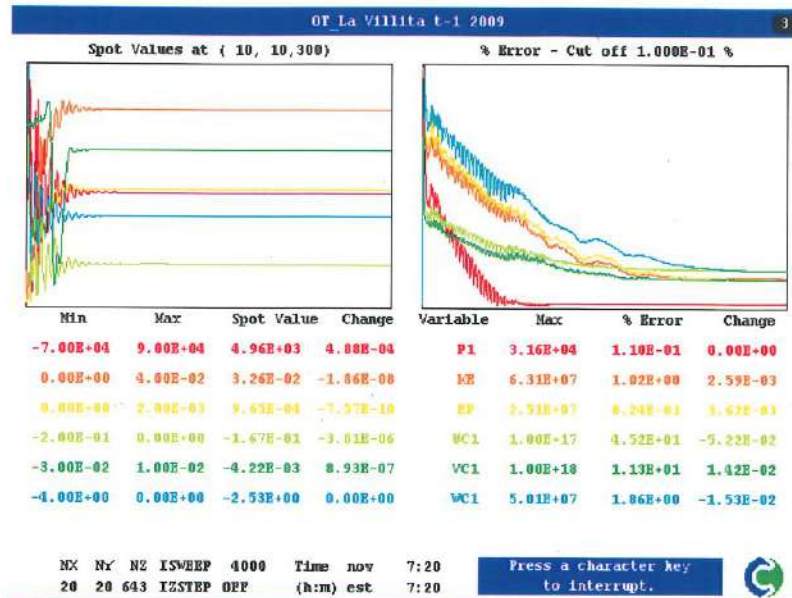


Figura 1. Convergencia de la solución numérica.

## Normativos

1) La norma IEC-4191 recomienda como mínimo dejar una longitud igual a 10 veces el diámetro del conducto aguas arriba de cualquier irregularidad importante y al menos una longitud de 3 veces el diámetro del conducto aguas abajo entre la sección de medición y cualquier alteración. Sin embargo, si se garantiza la uniformidad del flujo se puede medir con un solo plano de medidores en una longitud de al menos 20 veces el diámetro del conducto.

2) Las irregularidades o alteraciones pueden ser: codos, vórtices, o turbulencia de gran escala. Algunos factores que pueden provocar componentes transversales de flujo o distorsión del perfil de velocidades del flujo son: las condiciones aguas arriba de la bocatoma, la geometría de la entrada, la presencia de codos aguas arriba de la sección de medición, cambios en el diámetro del conducto aguas arriba y la proximidad de codos o cambios de diámetro aguas abajo de la sección de medición.

En las secciones cónicas no se recomienda que se coloquen sistemas de medición, de acuerdo a la recomendación del apartado 8.1.1 referente a calibración de la norma ISO/TR 12765: 1998, se establece lo siguiente:



Para la obtención de una precisión alta, el valor del diámetro  $D$  debe ser el promedio del diámetro interno del tubo. El diámetro medio interno debe ser el promedio aritmético de 12 mediciones del diámetro, por lo menos. Dichas mediciones deben realizarse a lo largo de un tramo con longitud igual a cuatro veces el diámetro posicionados en ángulos iguales uno de otro, en tres secciones representativas distribuidas a lo largo del tubo que contiene los transductores. Ningún diámetro diferirá por más de 0.3% del promedio de los doce diámetros.

## Resultados

Se presentan los resultados del comportamiento del flujo en la obra de toma con un gasto cercano al de diseño igual a  $192 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A simple vista parece factible un sitio de instalación: en el tramo recto entre la sección de compuertas y al cambio de sección antes del pozo de oscilación, como se muestra en las imágenes siguientes:

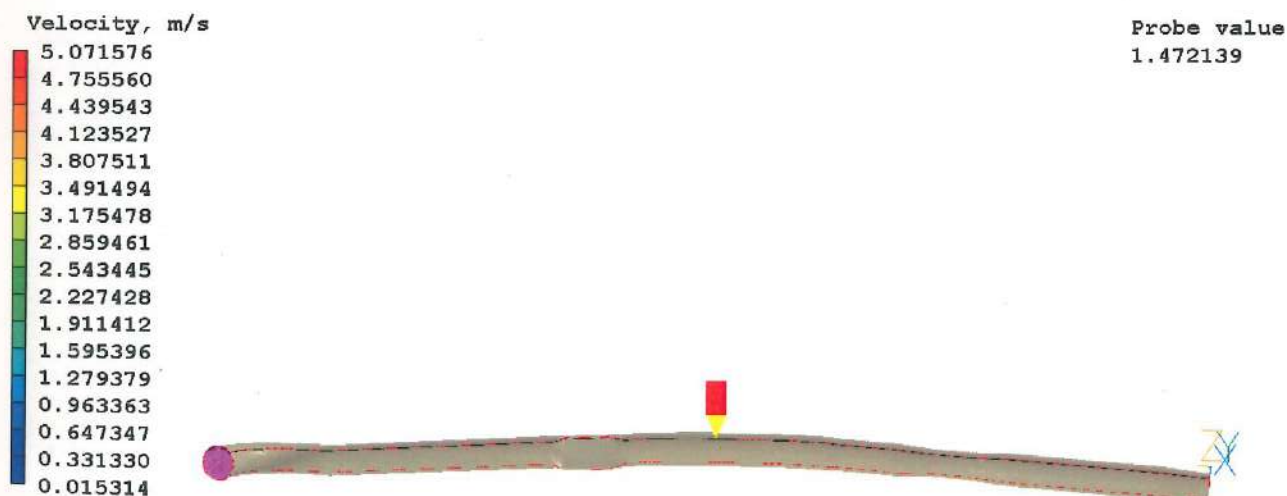


Figura 2. Vista en planta en las que se aprecia la curvatura de la conducción, el puntero señala el sitio de instalación del medidor a evaluar.

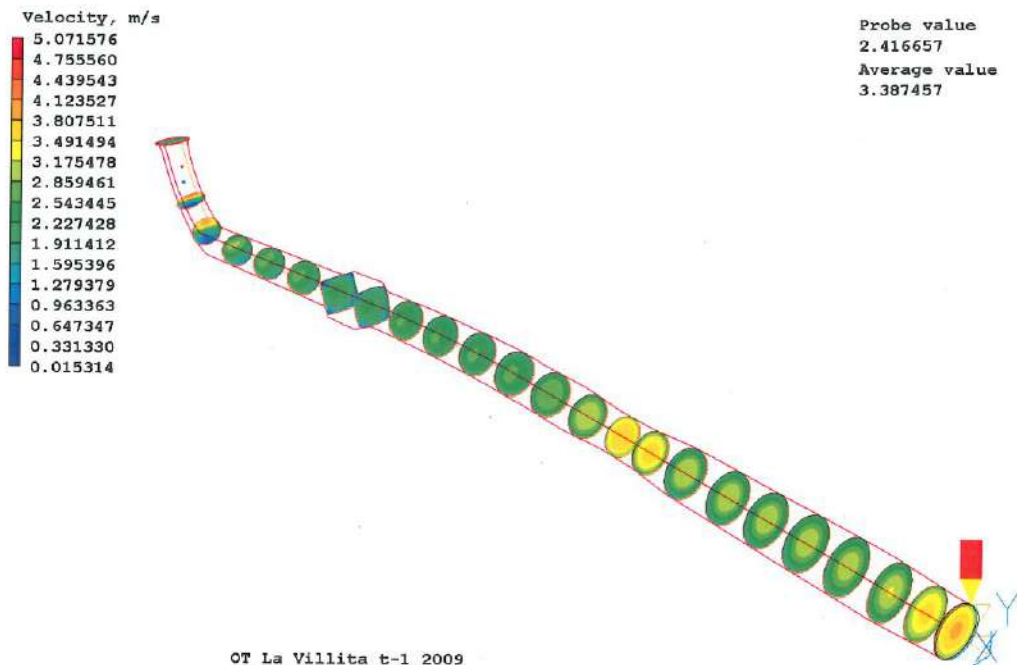


Figura 3. Secciones transversales que muestran los contornos de velocidad promedio en todo el conducto en dirección longitudinal.

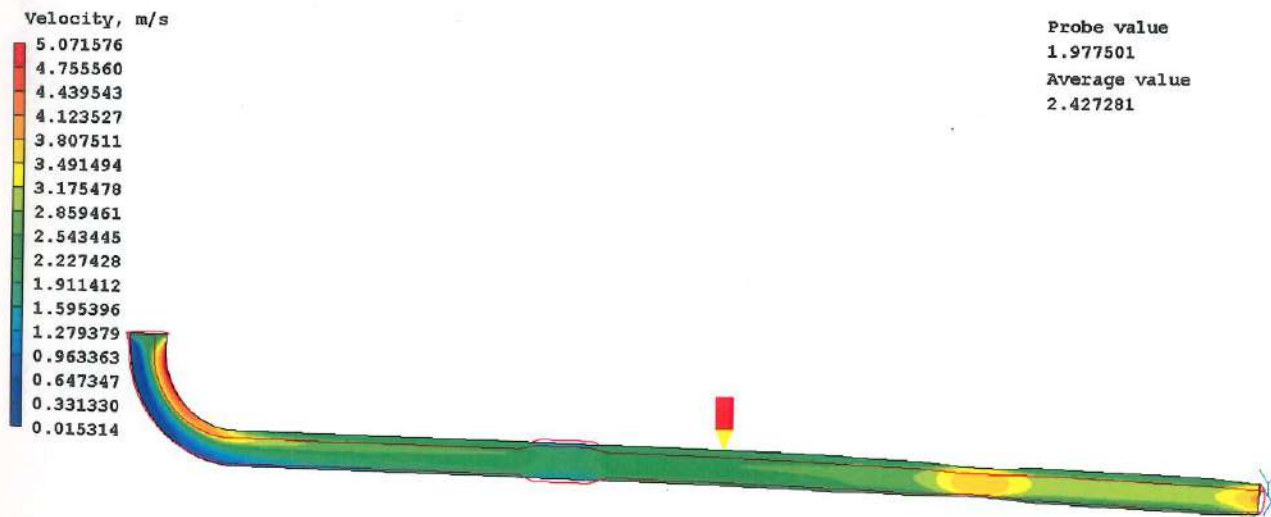
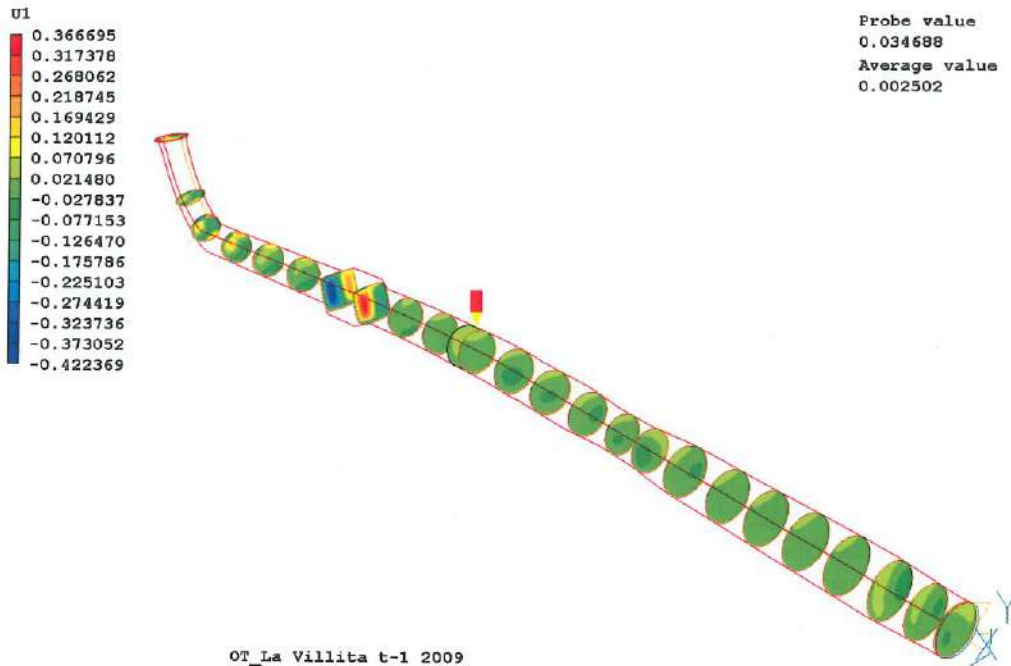


Figura 4. Contornos de velocidad promedio en todo el conducto en dirección longitudinal.



OT\_La Villita t-1 2009

Figura 5. Contornos de velocidad secundaria  $U_1$ , en secciones transversales a lo largo de la conducción.

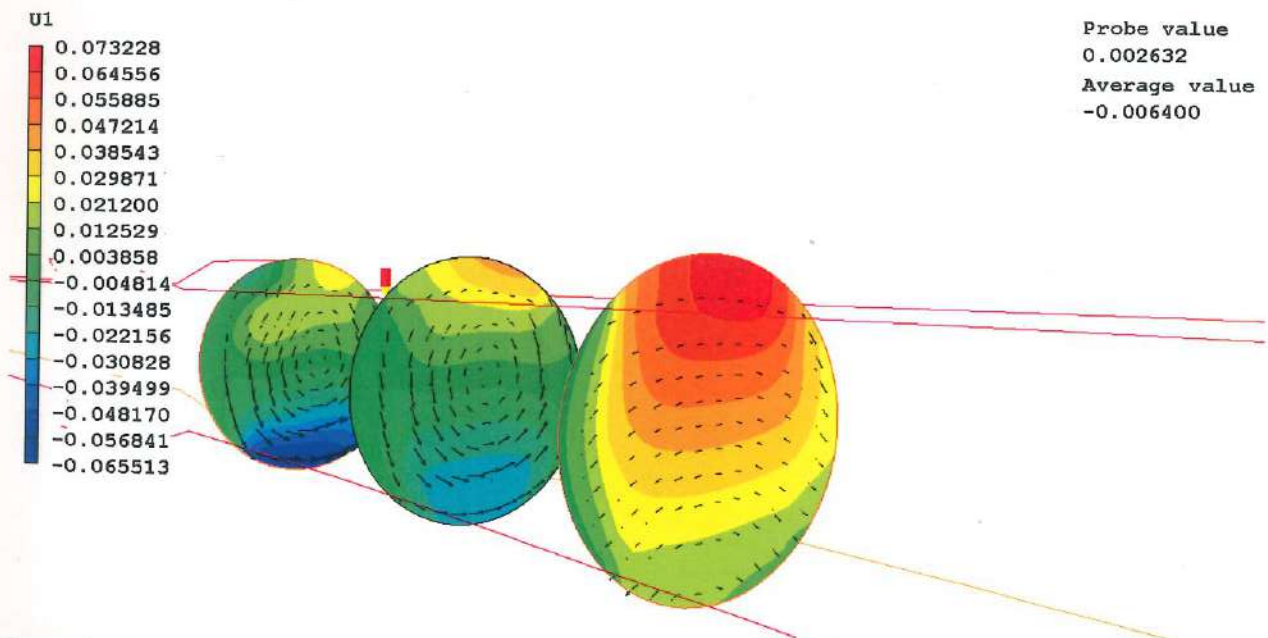


Figura 6. Contornos y vectores de la velocidad secundaria en la dirección transversal (x) en el sitio a evaluar.

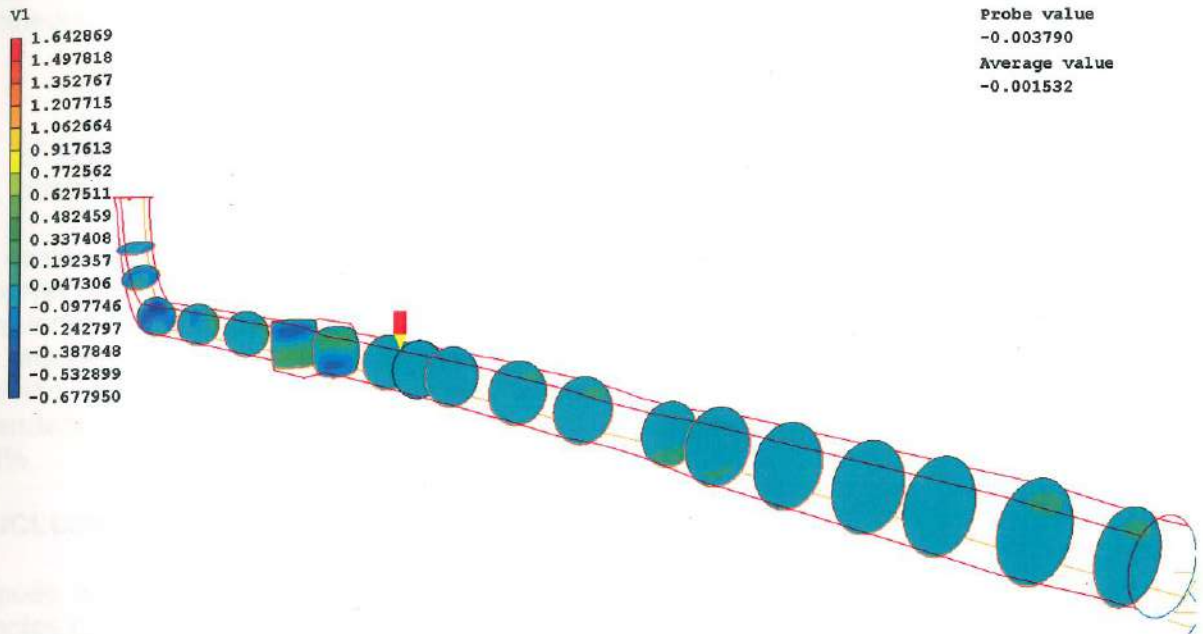


Figura 7. Contornos de velocidad secundaria V, en secciones transversales a lo largo del conducto.

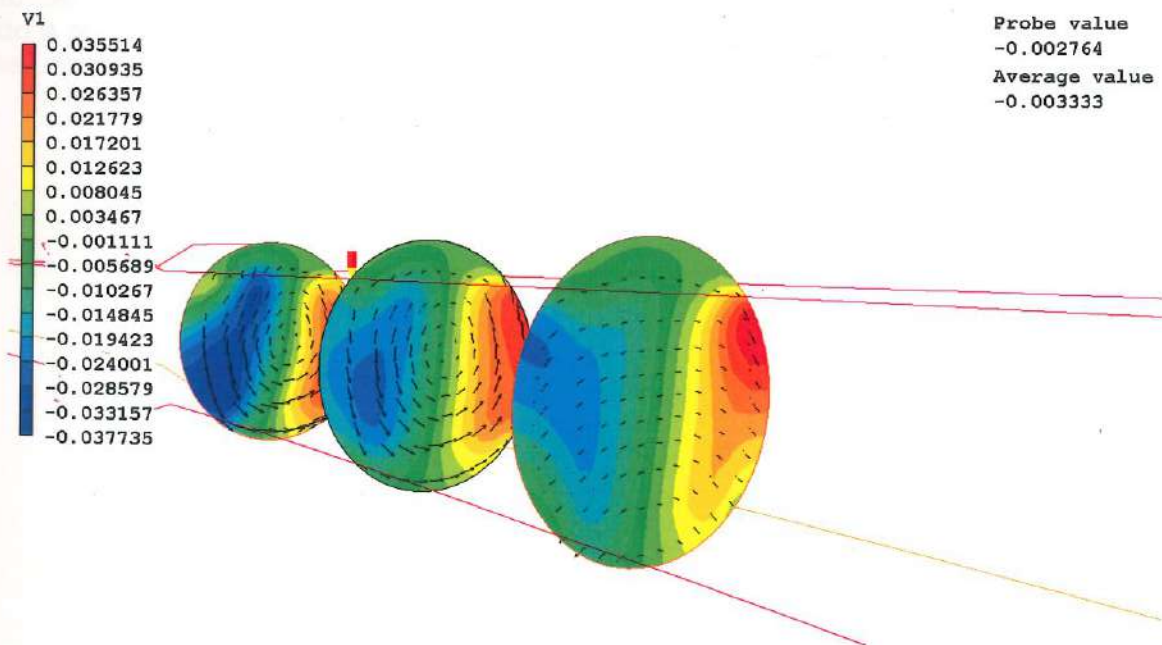


Figura 8. Contornos de velocidad secundaria V (en la dirección y) y vectores de velocidad, en el tramo a evaluar.



El cálculo de la variación total de la velocidad secundaria<sup>1</sup> en el sitio a evaluar (sección transversal intermedia), arroja los siguientes datos:

- Velocidad secundaria

$U_s = (u^2 + v^2)^{1/2} = (0.138741^2 + 0.073249^2)^{1/2} = 0.16 \text{ m/s}$ , mientras que la velocidad principal es 2.43 m/s, la relación del flujo secundario al principal es de 6.58%.

Los contornos de velocidad promedio muestran que la deformación del flujo en la parte analizada es menor que en el resto del tubo (figura 4), es decir a la entrada, en la zona cercana a las compuertas, en la zona cercana a la transición de concreto-acero y a la salida del conducto. El flujo muestra que es uniforme (figura 3) que es una condición adecuada para efectuar una medición de tipo ultrasónica de buena exactitud. La medición ultrasónica tiene una fuerte dependencia a los perfiles de flujo<sup>2</sup> en este caso, la relación del flujo secundario al principal es del 6.58% .

## CONCLUSIONES

Después de exponer los resultados en el probable sitio de instalación y tomando en cuenta los aspectos normativos, se recomienda que el Sistema de Medición de tipo Ultrasónico en la obra de toma de generación de la C.H. "La Villita", en esta obra de toma, se instale en el tramo recto entre la zona de compuertas y el pozo de oscilación que tiene una longitud igual a 130.6 m, por tanto, el centro del sistema deberá quedar a 42.0 m aguas arriba del cambio de sección concreto-acero, debido a que el flujo en esa zona presenta mayor uniformidad tanto en los contornos como en los perfiles de velocidad y la menor magnitud de flujo secundario (6.58%).

<sup>1</sup> Turbulence in open channel flows, Nezu & Nakagawa, IAHR Monograph, page 101.  
<sup>2</sup> Flow Handbook of Endress & Hauser, page 128.



## 6 ACTIVIDADES PREPARATORIAS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

### 6.1 Planeación de la Instalación

En la ejecución de una obra especializada como la que trata este informe, deben coordinarse y relacionarse factores humanos, financieros y materiales.

Para resolver este arduo problema existen una gran variedad de sistemas o procedimientos formales, ideados con la finalidad de ayudar al administrador de un proyecto a realizar eficientemente su tarea, entre estas técnicas ha destacado una que utiliza diagramas de flechas conocida como ruta crítica.

En administración y gestión de proyectos, una ruta crítica es la secuencia de los elementos terminales de la red de proyectos con la mayor duración entre ellos, determinando el tiempo más corto en el que es posible completar el proyecto. La duración de la ruta crítica determina la duración del proyecto entero. Cualquier retraso en un elemento de la ruta crítica afecta a la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica.

El método de la ruta crítica usa tiempos ciertos (reales o determinísticos). La elaboración de un proyecto en base a este método consiste en:

- **Identificar todas las actividades** que involucra el proyecto, lo que significa, determinar relaciones de precedencia, tiempos técnicos para cada una de las actividades.
- **Construir una red** con base en nodos y actividades (o arcos, según el método más usado), que implican el proyecto.
- **Analizar** los cálculos específicos, identificando las rutas críticas y las holguras de los proyectos.

#### 6.1.1 Matriz de actividades de trabajo

Es la relación de actividades físicas o mentales que forman procesos interrelacionados en un proyecto total. No es necesario que las actividades se listen en orden de ejecución, aunque si es conveniente porque evita que se olvide alguna de ellas. Sin embargo, las omisiones de las actividades se descubrirán más tarde al hacer la red correspondiente.

Es conveniente numerar progresivamente las actividades para su identificación y en algunos casos puede denominarse en clave, no es necesario indicar la cantidad de trabajo ni las personas que la ejecutarán.



En términos generales, se considerará actividad a la serie de operaciones realizadas por una persona o grupo de personas en forma continua, sin interrupciones, con tiempos determinables de iniciación y terminación.

Tabla 1. Matriz de responsabilidades

ACTIVIDAD		CUADRILLA 1	CUADRILLA 2	CUADRILLA 3	CUADRILLA 4	CUADRILLA 5	CUADRILLA 6	CUADRILLA 7
		ELÉCTRICO + AYUDANTE	ELÉCTRICO + AYUDANTE	HERRERO + AYUDANTE	VICTOR M + AYUDANTE	TOPOGRAFO + AYUDANTE	HERRERO + AYUDANTE	PROGRAMADOR + AYUDANTE
<b>ACTIVIDADES PRELIMINARES</b>								
1	Limpieza mecánica de protecciones angulares, tubo rolado y registros deflectores							
2	Elaboración de bases para sensor							
3	Preelaboración de plataforma de madera		X					
4	Aplicación de desengrasante y 2 capas de protección anticorrosiva en ángulos y registros deflectores							
5	Prueba preliminar de medición de espesores							
6	Traslado de materiales y equipo a Central Hidroeléctrica							
<b>INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE TIPO ULTRASÓNICO PARA FLUJOS TURBINADOS</b>								
7	Limpieza de ducto con agua a presión	X						
8	Colocación de centro de carga principal e instalación del sistema de iluminación				X			
9	Colocación de plataforma de trabajo		X					
10	Ubicación y colocación de marcas para centro del sistema, anillo colector y referencias axiales				X			
<b>ARMADO DE ANDAMIO EN UBICACIÓN PROPUESTA</b>								
11	Traslado de andamiaje, protecciones angulares de 1 1/2" y 2 1/2", tubo rolado, referencias axiales y mesa para teodolito a plataforma de trabajo en el interior del ducto de presión	X						
12	Armado de andamio en sitio propuesto		X					
<b>ACTIVIDADES PARA LA UBICACIÓN DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS</b>								
13	Colocación de referencias axiales y mesa para teodolito					X		
14	Determinación del centro geométrico de la tubería y alineación del teodolito					X		
15	Determinación de la posición geométrica de los transductores ultrasónicos					X		
16	Colocación y fijación de bases para sensores ultrasónicos					X		
<b>COLOCACIÓN DE ANILLO COLECTOR</b>								
17	Trazado de línea guía para la posición del anillo colector			X				
18	Fijación preliminar de segmentos del anillo colector			X				
19	Sujeción mediante anclaje químico de segmentos del anillo colector			X				
<b>COLOCACIÓN DE PROTECCIONES ANGULARES PARA LA SALIDA DE CABLES DEL SISTEMA</b>								
20	Trazado de línea guía y fijación preliminar del ángulo de 2 1/2"						X	
21	Perforación de concreto e instalación de ángulo de 2 1/2" en ducto a presión						X	
<b>COLOCACIÓN DE PROTECCIONES ANGULARES DE 1 1/2"</b>								
22	Trazado de líneas guía para ángulos de 1 1/2"		X					
23	Fijación preliminar de ángulos de 1 1/2" para sensores A1-A4		X					
24	Perforación de concreto e instalación de ángulo de 1 1/2" para sensores A1-A4.	X	X					
25	Fijación preliminar de ángulos de 1 1/2" para sensores B1-B4		X					
26	Perforación de concreto e instalación de ángulo de 1 1/2" para sensores B1-B4.		X					
<b>INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE SALIDA DE CABLES</b>								
27	Trazado de líneas guía para ángulos de 2 1/2" tubo aereación				X			
28	Perforación concreto tubo aereación para omegas y registros				X			
29	Perforación de ducto de presión para la instalación del sistema pasacables				X			



Continuación Tabla 1.....

MATRÍZ DE RESPONSABILIDADES		CUADRILLA 1	CUADRILLA 2	CUADRILLA 3	CUADRILLA 4	CUADRILLA 5	CUADRILLA 6	CUADRILLA 7
		ELÉCTRICO + AYUDANTE	ELÉCTRICO + AYUDANTE	HERRERO + AYUDANTE	VICTOR M + AYUDANTE	TOPOGRAFO + AYUDANTE	HERRERO + AYUDANTE	PROGRAMADOR + AYUDANTE
	ACTIVIDAD							
30	Instalación del sistema pasacables				X			
	<b>CABLEADO DEL SISTEMA</b>							
31	Instalación de líneas de transmisión para sensores A1-A4, B1-B4 (cables coaxiales RG-58)			X	X			
32	Colocación y conexión de sensores.				X			
33	Prueba de funcionamiento en seco del sistema (sensores A1-A4, B1-B4)				X			
34	Colocación de registros deflectores			X				
35	Aplicación de punto de soldadura a elementos de fijación de protecciones ángulos y registros			X				
36	Aplicación de capa final de recubrimiento anticorrosivo a elementos instalados			X				
	<b>ACTIVIDADES FINALES</b>							
37	Alineación y sujeción de sensores				X			
38	Verificación de la posición geométrica de los transductores ultrasónicos					X		
	<b>DESARME DE ANDAMIO</b>							
39	Desmontaje de andamio		X					
40	Desalojo de tubería de presión						X	
41	Recolección de residuos						X	
	<b>ACTIVIDADES EXTERNAS A LA TUBERÍA.</b>							
42	Sujeción de gabinetes en caseta de control.	X						
43	Armado de gabinetes.	X						
44	Instalación de tubería conduit para cable señal.	X						
45	Cableado caseta a cuarto de control.	X						
46	<b>IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO LOCAL.</b>							X
47	<b>ENTREGA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN Y CIERRE DE TUBERÍA DE PRESIÓN</b>							



### 6.1.2 Ruta crítica de las actividades de Instalación del sistema

El método de ruta crítica es un proceso administrativo (planeación, organización, dirección y control) de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse durante un tiempo crítico y al costo óptimo.

La aplicación potencial del método de la ruta crítica, debido a su gran flexibilidad y adaptación, abarca desde los estudios iniciales para un proyecto determinado, hasta la planeación y operación de sus instalaciones. A esto se puede añadir una lista indeterminable de posibles aplicaciones de tipo específico. Así, podemos afirmar que el método de la ruta crítica es aplicable y útil en cualquier situación en la que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí para alcanzar un objetivo determinado.

El método es aplicable en tareas tales como: construcción, estudios económicos, planeación de carreras universitarias, censos de población, estudios técnicos, etc.

Un beneficio primordial que nos brinda el método de la ruta crítica es que resume en un sólo documento la imagen general de todo el proyecto, lo que nos ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades, facilitando abastecimientos ordenados y oportunos; en general, logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezos.

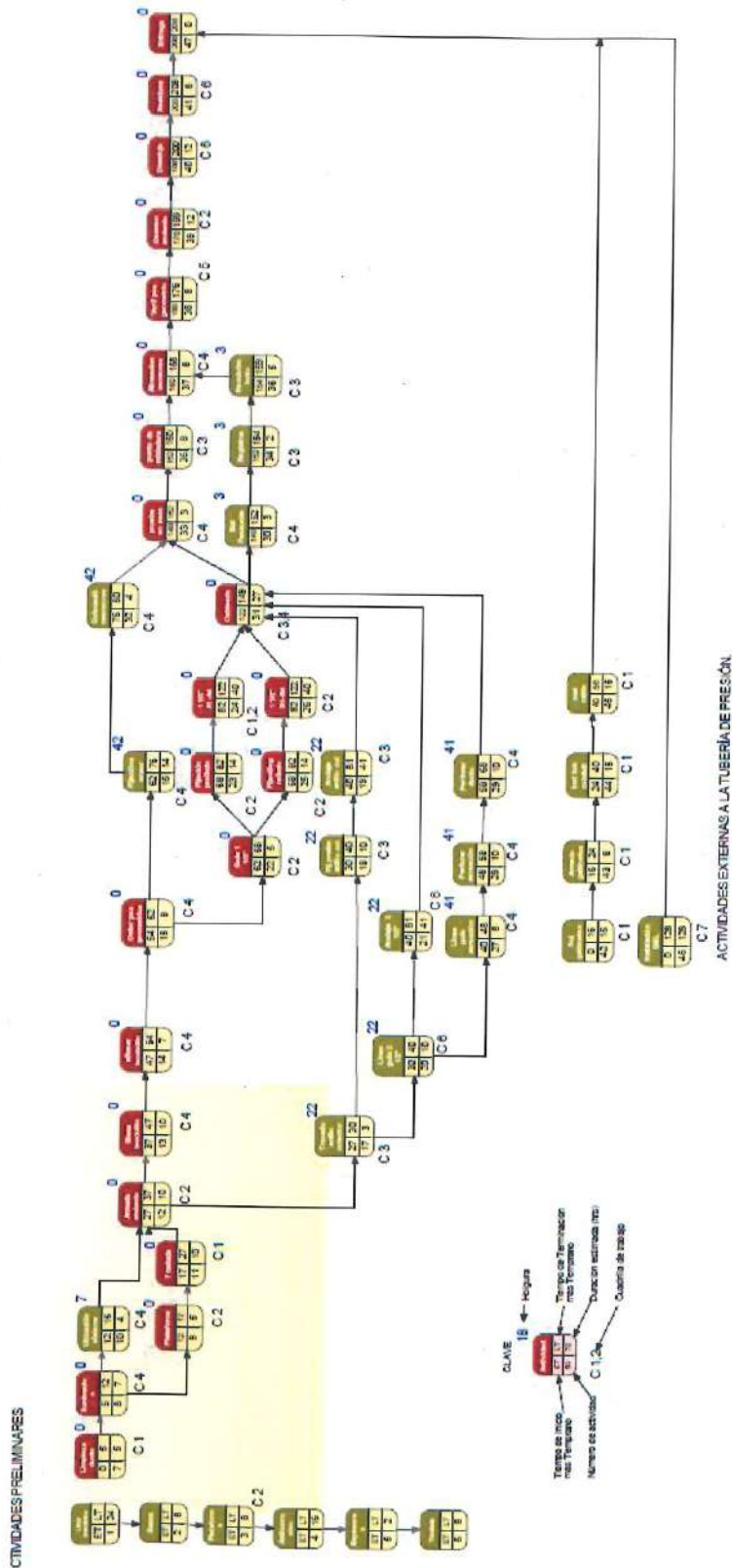
El verdadero valor de la técnica resulta más cuando se aplica en forma dinámica. A medida que se presentan hechos o circunstancias imprevistas, el método de la ruta crítica proporciona el medio ideal para identificar y analizar la necesidad de replantear o reprogramar el proyecto, reduciendo al mínimo el resultado adverso de dichas contingencias. Del mismo modo, cuando se presenta una oportunidad para mejorar la programación del proyecto, la técnica permite determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para que se logre dicha mejoría.

En la página siguiente se presenta la aplicación de la metodología de la ruta crítica para este proyecto.



Figura 9. Ruta crítica de la instalación del sistema de medición

DIAGRAMA DE RED CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA".





### 6.1.3 Diagrama de Gantt / Cronograma de actividades

El diagrama de Gantt, gráfica de Gantt o carta Gantt es una popular herramienta gráfica cuyo objetivo es mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado. A pesar de que, en principio, el diagrama de Gantt no indica las relaciones existentes entre actividades, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones e interdependencias.

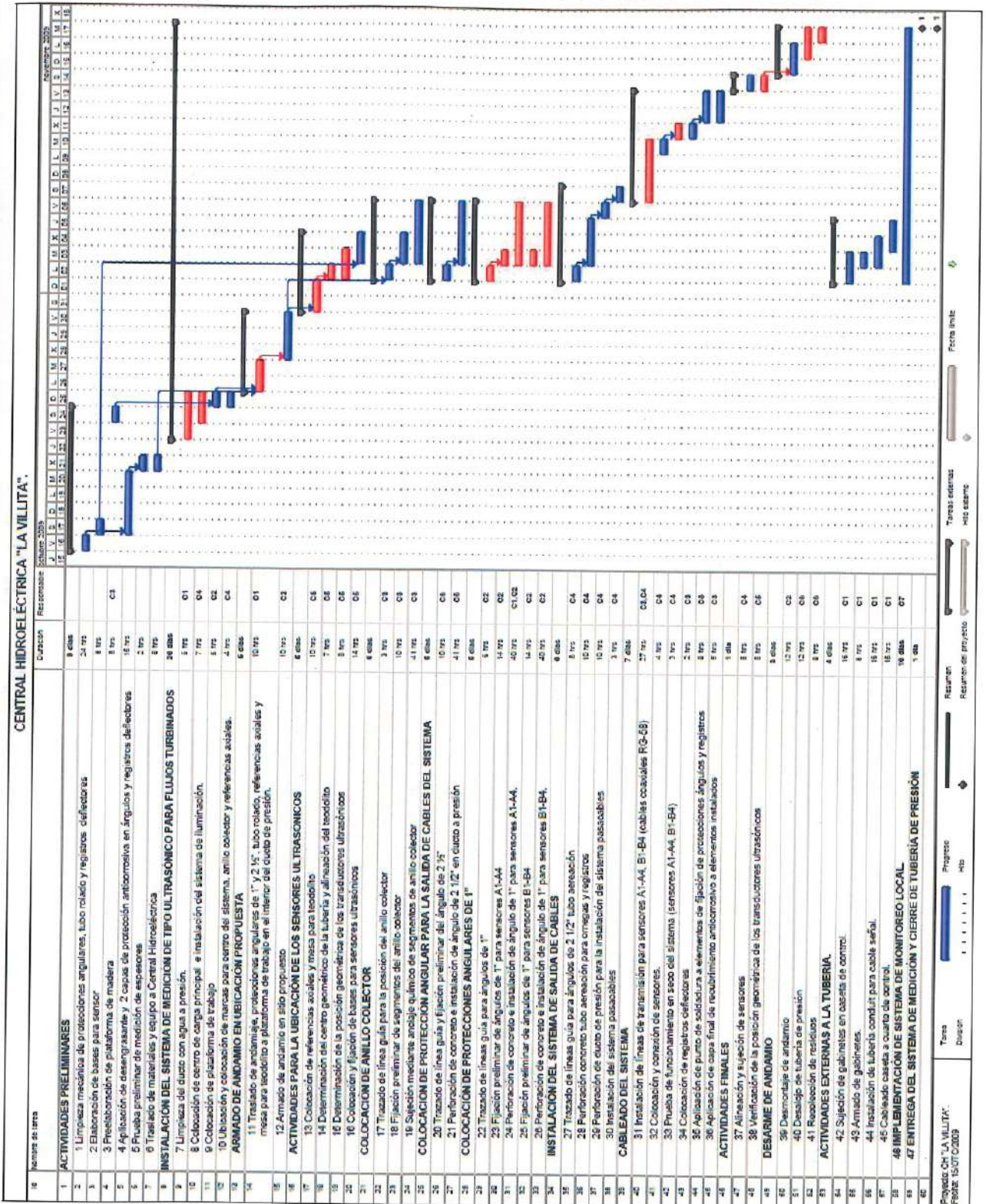
Por esta razón, para la planificación del desarrollo de proyectos complejos (superiores a 25 actividades) se requiere además el uso de técnicas basadas en redes de precedencia como la ruta crítica. Estas redes relacionan las actividades de manera que se puede visualizar el camino crítico del proyecto y permiten reflejar una escala de tiempos para facilitar la asignación de recursos y la determinación del presupuesto. El diagrama de Gantt, sin embargo, resulta útil para la relación entre tiempo y carga de trabajo.

En gestión de proyectos, el diagrama de Gantt muestra el origen y el final de las diferentes unidades de trabajo y los grupos de tareas o las dependencias entre las unidades de trabajo.

Desde su introducción los diagramas de Gantt se han convertido en una herramienta básica en la gestión de proyectos de todo tipo, con la finalidad de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto o para mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente. En la siguiente sección se muestra el diagrama de Gantt correspondiente.



Figura 10. Cronograma de Gantt de la Instalación del sistema de medición





## 6.2 Diseño y planos del sistema de sujeción

### 6.2.1 Evaluación de la fuerza de arrastre alrededor de los elementos de sujeción

El arrastre que un fluido en movimiento ejerce sobre un cuerpo sumergido, consiste en una fuerza dinámica causada por dos factores: uno es que el esfuerzo cortante que produce fuerzas tangenciales sobre la superficie del cuerpo en razón de la viscosidad y del gradiente transversal de velocidades y el segundo es que las intensidades de presión, al variar sobre la superficie del cuerpo por efectos dinámicos o de turbulencia, producen fuerzas normales a la frontera. La suma vectorial de las fuerzas de superficie normales y tangenciales integradas sobre el total de la frontera del cuerpo, conduce a la fuerza resultante, la componente de esta fuerza en dirección de la corriente se denomina fuerza de arrastre, esta se divide en arrastre por fricción y arrastre por presión.

$$D_f = C_f \rho \frac{v_o^2}{2} A_f \quad (1)$$

$$D_p = C_{Dp} \rho \frac{v_o^2}{2} A_p \quad (2)$$

El arrastre total  $D$  generalmente se define por la relación:

$$D = C_D \rho \frac{v_o^2}{2} A \quad (3)$$

En donde el coeficiente  $C_D$  agrupa los efectos en la dirección del arrastre.

La instalación se llevará a cabo en concreto, por lo tanto, la forma de anclar el sistema de sujeción será con tornillos de acero inoxidable, es así que se presenta el análisis de fuerzas para saber si los tornillos son capaces de soportar la presión ejercida por el flujo de agua.



### 6.2.2 Análisis del sistema de sujeción, considerando la acción de flujo unidireccional sobre un elemento circular (tornillo)

Considerando un elemento circular, aplicando la ecuación de la energía entre una sección anterior al elemento 1-1' y otra posterior 2-2' (figura 11) así como la ecuación de cantidad de movimiento, se obtiene la expresión:

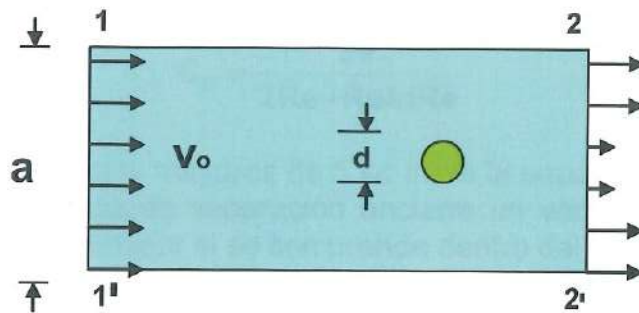


Figura 11. Esquema de acción de las fuerzas de arrastre

$$D = \frac{2}{3} \rho v_0^2 d \left[ \frac{1 - 3 \frac{d}{a}}{\left(1 - \frac{2d}{a}\right)^2} \right] \quad (4)$$

Si  $d/a \rightarrow 0$ ,  $C_D = 4/3$  entonces, la expresión anterior se reduce a:

$$D = \frac{2}{3} \rho v_0^2 d \quad (5)$$

Se tienen dos velocidades críticas, la velocidad media en la sección  $v_0 = 2.2204$  m/s y la velocidad en la pared  $v_p = 0.0762$  m/s, se encontrará la fuerza de arrastre con ambas velocidades, se identificarán con el subíndice o y/o p, respectivamente. También se considera una temperatura del agua igual a  $20^\circ$  C,  $d = 0.0079$  m (tornillo de 5/16").

$$D_o = (2/3) * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (2.2204 \text{ m/s})^2 * 0.0079 \text{ m} = 2.6476 \text{ Kg/m}$$

$$D_p = (2/3) * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (0.0762 \text{ m/s})^2 * 0.0079 \text{ m} = 0.0031 \text{ Kg/m}$$



### 6.2.3 Análisis del sistema de sujeción, considerando la acción de flujo sobre un elemento circular bidimensional (tornillo)

Esta forma de evaluar el arrastre está en función de la forma del cuerpo y del número de Reynolds del flujo, considerando que los efectos viscosos son importantes.

Para números de Reynolds muy bajos ( $Re = v_0 D / \nu < 0.5$ ) se tiene un flujo muy lento en donde las fuerzas de inercia son despreciables. En este caso se tiene una expresión analítica para evaluar el coeficiente de arrastre.

$$C_D = \frac{8\pi}{2Re - Re \ln Re}$$

A partir de números de Reynolds mayores de 5 se inicia la separación del flujo. Dentro del intervalo  $5 \leq Re < 50$ , la zona de separación encierra un vórtice localizado en la parte posterior del cilindro, siendo laminar si se comprende dentro del intervalo anterior.

Para números de Reynolds mayores ( $60 \leq Re < 5000$ ), las ondas en la estela se incrementan desprendiéndose en forma de dos líneas de vórtices alternados, caracterizándose por una periodicidad en la formación vorticiosa que induce vibraciones al cilindro, en este intervalo el coeficiente de arrastre es prácticamente constante e igual a 1. El límite superior 5000 corresponde a la terminación de las condiciones periódicas laminares. La formación de vórtices asimétricos detrás del cilindro da lugar a un empuje lateral o de sustentación que se alterna con una frecuencia  $f$ .

Para números de Reynolds mayores a 5000 la estela se puede considerar completamente turbulenta, aunque la capa límite sobre la porción anterior del cilindro permanezca laminar. En el intervalo de números de Reynolds, entre  $5 \times 10^3 < Re < 2 \times 10^5$  el flujo mantiene el aspecto descrito mientras que el coeficiente de arrastre permanece prácticamente constante e igual a 1.2.

#### a) Cálculo del número de reynolds

$$Re = v_0 D / \nu = 2.2204 \text{ m/s} * (0.0079 \text{ m}) / 1\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s} = 17541.16$$

$$Re = v_p D / \nu = 0.0762 \text{ m/s} * (0.0079 \text{ m}) / 1\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s} = 601.98$$

de la figura 11.5 (Sótelo Ávila, 1994),  $C_D = 1.2$  para  $D_0$  y  $C_D = 1$  para  $D_p$ . Haciendo el cálculo de la fuerza por unidad de longitud, se obtiene a partir de la ecuación:

$$D = C_D \rho \frac{V_0^2}{2} A \quad (6)$$



### b) Cálculo del arrastre

$$D_o = 1.2 * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (2.2204 \text{ m/s}^2 / 2) * 4.902 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.147863 \text{ Kg}$$

$$D_p = 1 * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (0.0762 \text{ m/s}^2 / 2) * 4.902 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.000145 \text{ Kg}$$

### c) Esfuerzo cortante simple

$\zeta = P/A = 0.147863 \text{ Kg} / 4.902 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 301.761 \text{ Kg/m}^2$ , mientras que el esfuerzo cortante que soporta una varilla de acero inoxidable de 5/16 es igual a  $31.65 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$

### 6.2.4 Esfuerzos actuantes a lo largo de la canaleta

Altura canaleta 0.0898 m    Área canaleta = 0.2694 m<sup>2</sup>  
Longitud canaleta 3.0 m

De la Tabla 11.5 (Sótelo, 1995) Cd para placas de longitud infinita, Cd=2.0

$$D_o = 2.0 * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (2.2204 \text{ m/s}^2 / 2) * 0.2694 \text{ m}^2 = 135.435 \text{ Kg}$$

$$D_p = 2.0 * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (0.0762 \text{ m/s}^2 / 2) * 0.2694 \text{ m}^2 = 0.1595 \text{ Kg}$$

$$\zeta = P/A = 135.435 \text{ Kg} / 0.2694 \text{ m}^2 = 502.73 \text{ Kg/m}^2$$

Cada tramo de canaleta es un ángulo por lo tanto 2 caras y está sujeta al doble del esfuerzo cortante resultante, además cada una se sujetará con 10 tornillos de acero inoxidable de 5/16" por lo que el esfuerzo cortante a la que está sujeta la canaleta se multiplicará por dos y se repartirá entre 10 tornillos:

$$\zeta = 1005.46 \text{ kg/m}^2 / 10 = 100.546 \text{ kg/m}^2$$

Como ya se anotó, un tornillo puede soportar un esfuerzo cortante igual a  $31.65 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \gg 100.546 \text{ Kg/m}^2$ . Por tanto, se concluye que los elementos de sujeción quedarán anclados con un factor de seguridad muy alto.

El mismo procedimiento aplica para calcular el empuje hidrodinámico en los registros. Se presenta el análisis para el registro más alto y que presenta mayor resistencia al flujo.

Ancho registro 0.2286 m    Área registrada = 0.1142 m<sup>2</sup>  
Longitud registro 0.4994 m

De la Tabla 11.5 (Sótelo, 1995) para una relación ancho/largo= 0.46; Cd/Cd longitud infinita=0.58 por lo tanto, Cd=1.16

$$D_o = 1.16 * (101.97 \text{ kgs}^2/\text{m}^4) * (2.2204 \text{ m/s}^2 / 2) * 0.1142 \text{ m}^2 = 33.30 \text{ Kg}$$

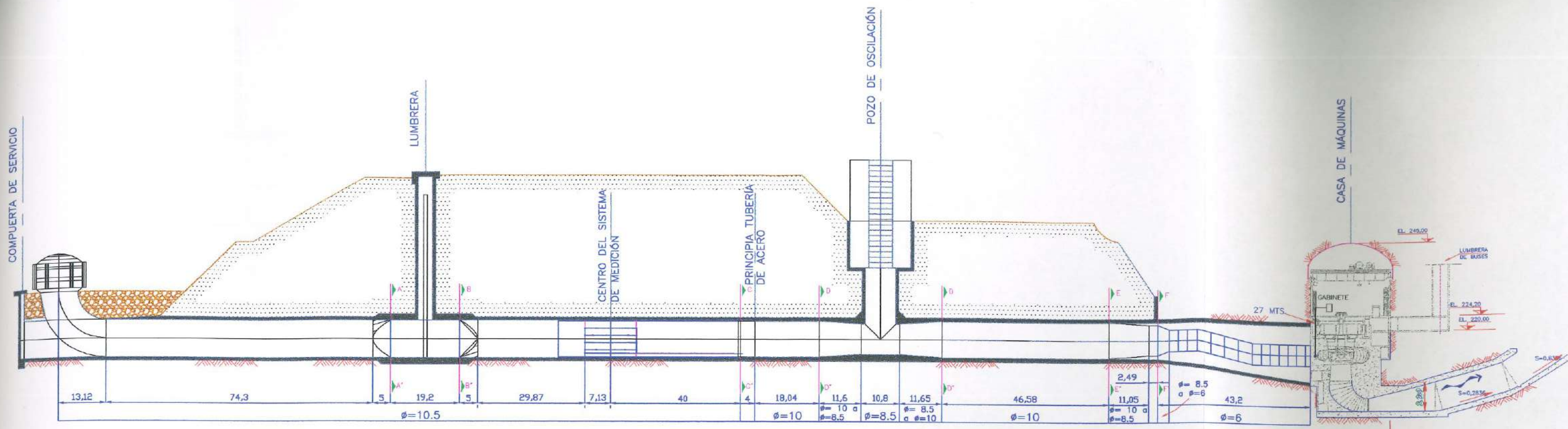


Ahora bien los registros están hechos de placa de fierro cuya resistencia al corte no se puede conocer por tablas, dado que no es fierro estructural, sin embargo se propone la mitad del valor del acero más común =  $2,200 \text{ Kg/cm}^2$ , o lo que es lo mismo  $22.0 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$ .

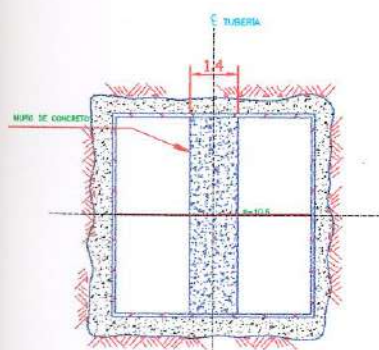
El empuje que puede soportar el registro es igual a  $22.0 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2 \times (0.1142 \text{ m}^2) = 2,512,400 \text{ Kg} \gggg 33.30 \text{ Kg}$ .

Esto indica que todo el sistema de sujeción es capaz de soportar los empujes hidrodinámicos generados por el flujo dentro del conducto a presión.

A continuación se muestran los planos de los elementos diseñados, aunque estructuralmente soportan esfuerzos mucho más grandes a los que estarán sometidos, las dimensiones no se redujeron por cuestiones de facilidad de manejo al momento de ser colocados.

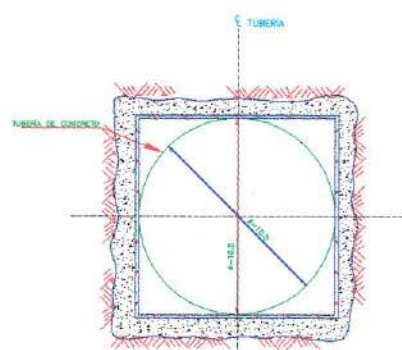


CORTE A-A'.



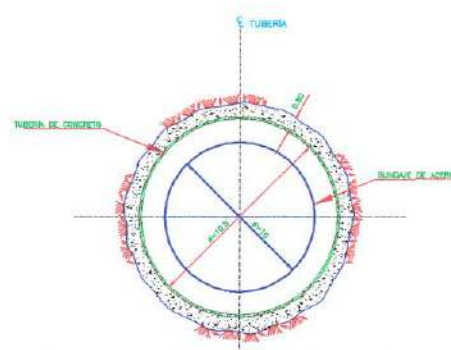
DETALLE DE MURO DE CONCRETO EN SECCIÓN CUADRADA DE 10.5 M.

CORTE B-B'.



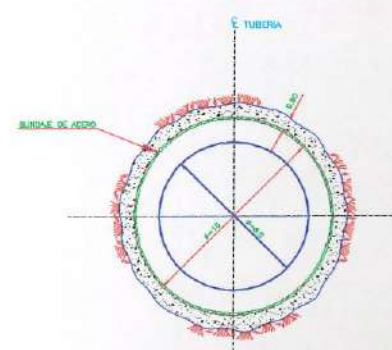
TRANSICIÓN DE SECCIÓN CIRCULAR CON φ=10.5 M. A SECCIÓN CUADRADA DE 10.5 M. EN SECCIÓN DE CONCRETO.

CORTE C-C'.



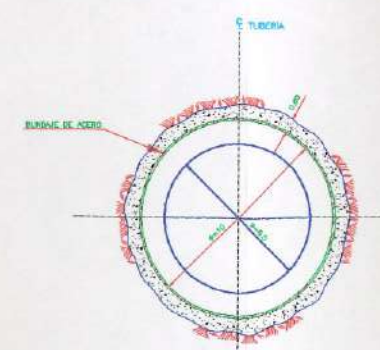
REDUCCIÓN DE φ=10.5 M. A φ=10 M. EN TRANSICIÓN DE CONCRETO A ACERO.

CORTE D-D'.



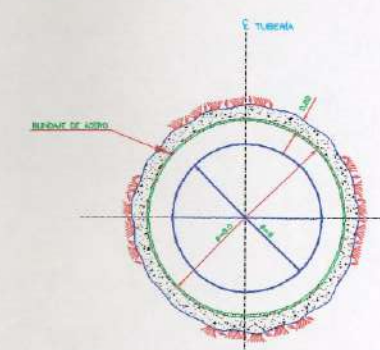
REDUCCIÓN-AMPLIACIÓN DE φ=10 M. A φ=8.5 M. Y DE φ=8.5 A φ=10 EN SECCIÓN DE ACERO.

CORTE E-E'.



REDUCCIÓN DE φ=10 M. A φ=8.5 M. EN SECCIÓN DE ACERO.

CORTE F-F'.



REDUCCIÓN DE φ=8.5 M. A φ=6 M. EN SECCIÓN DE ACERO.



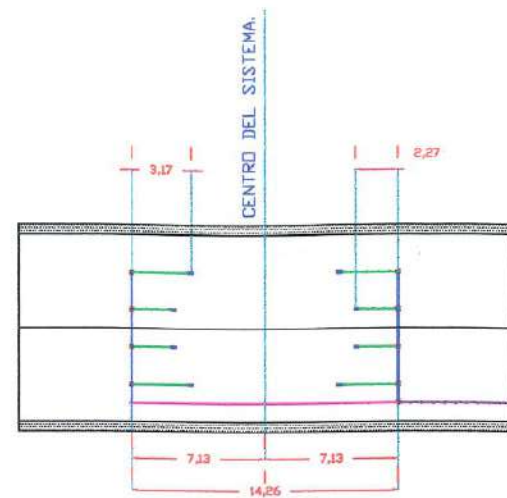
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE GASTOS TURBINADOS

CENTRAL HIDROELECTRICA "LA VILLITA"

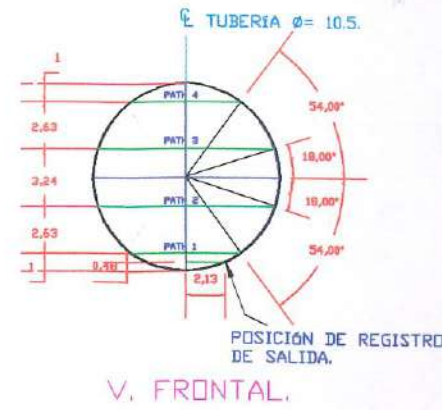
UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

ACOT.: m ESCALA: 1:1 FECHA: ABR., 2009 1

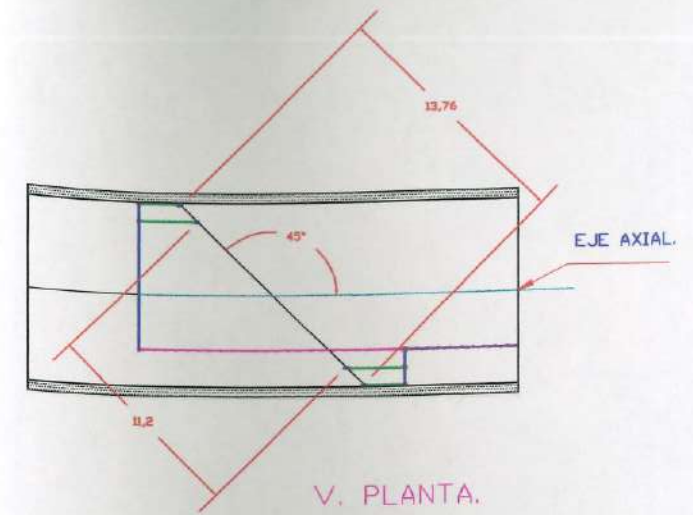
Dibujó: CPSUR, S.A. DE C.V. Revisó: M.I. C. M. B.



V. LATERAL.

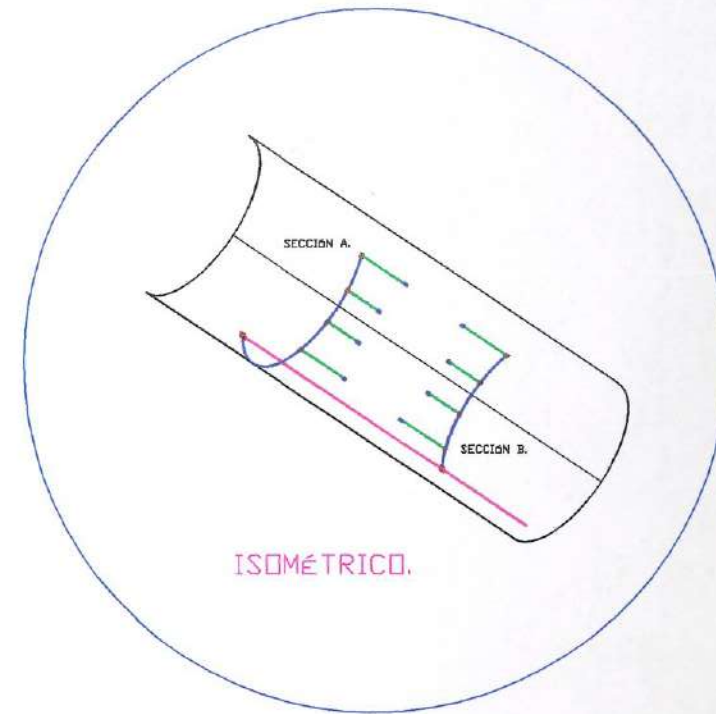


V. FRONTAL.



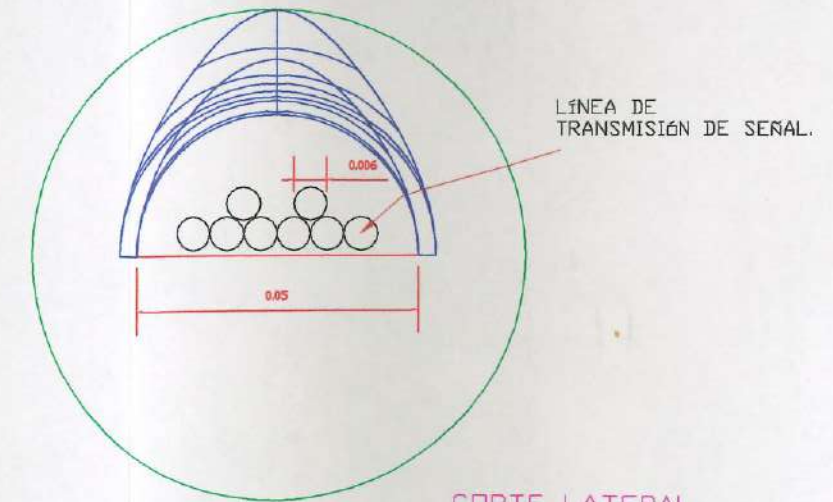
V. PLANTA.

LA UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN SE LLEVA A CABO DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60041: 1991.

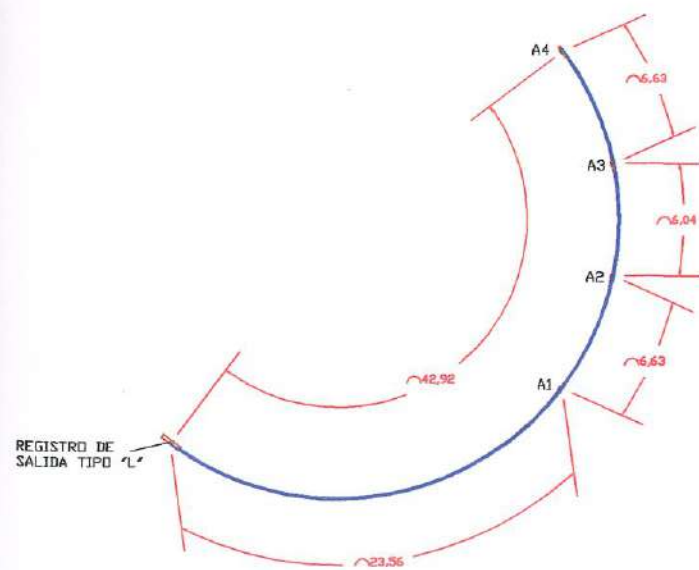


ISOMÉTRICO.

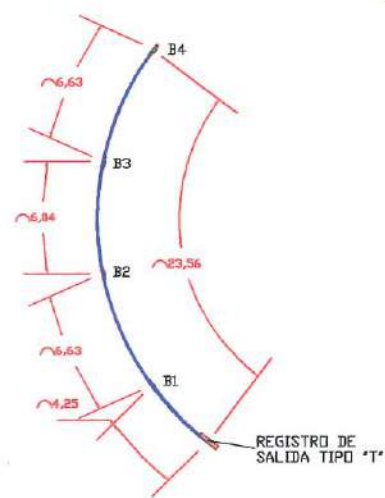
ANILLO COLECTOR COMO PROTECCIÓN MECÁNICA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE SEÑAL PROVENIENTES DE CADA UNO DE LOS SENSORES DEL SISTEMA.



CORTE LATERAL.



SECCIÓN "A".



SECCIÓN "B".

ANILLO COLECTOR.

ANILLO COLECTOR MANUFACTURADO A PARTIR DE TUBERÍA MECÁNICA CED 40, DE  $\phi = 2"$ , PERFIL ROLADO MEDIA CAÑA, EN TRAMOS DE 1.5 M DE LONGITUD DE ARCO Y SOLERAS DE FIJACIÓN CADA 0.30 M.



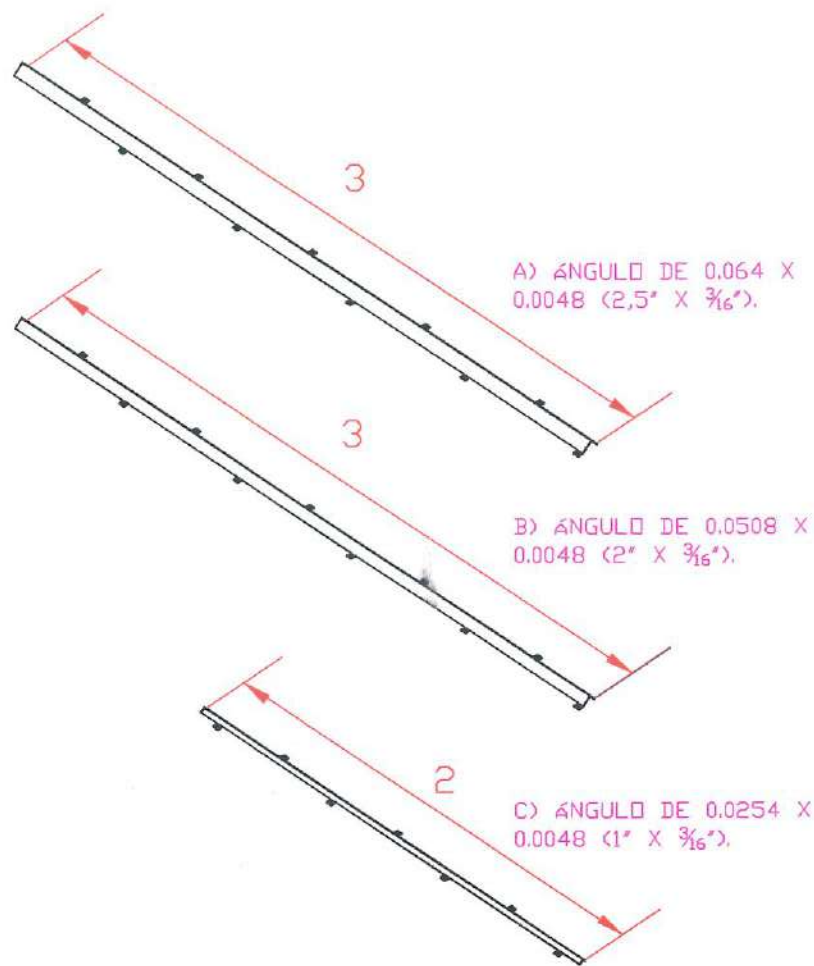
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE GASTOS TURBINADOS

CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA MILLITA"

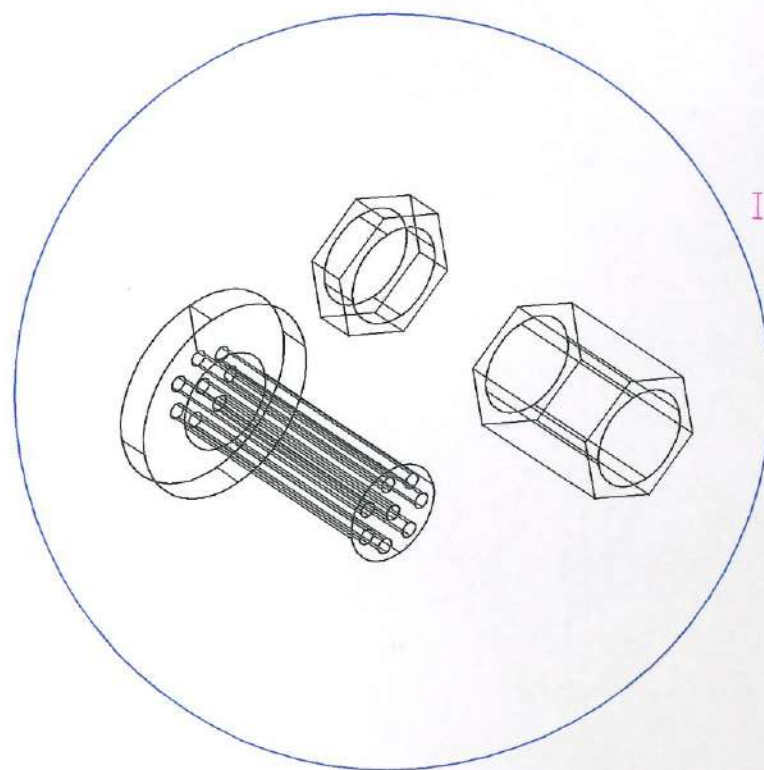
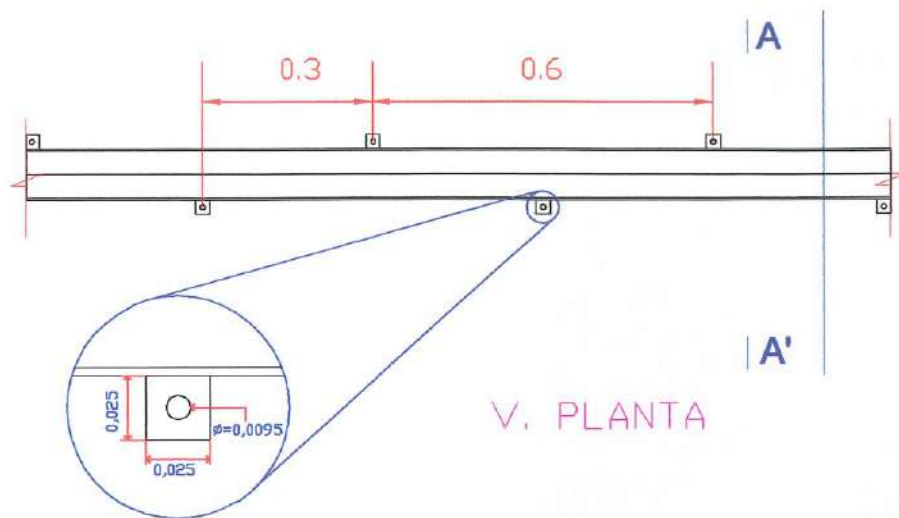
SISTEMA DE MEDICIÓN DE TIPO ULTRASONÍCO

ACOT.: m ESCALA: 1:1 FECHA: ABR., 2009 2

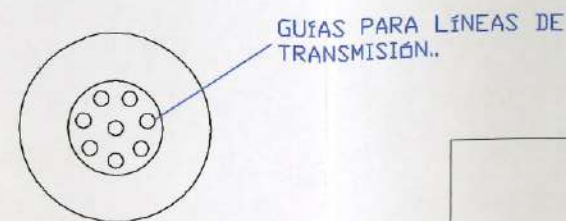
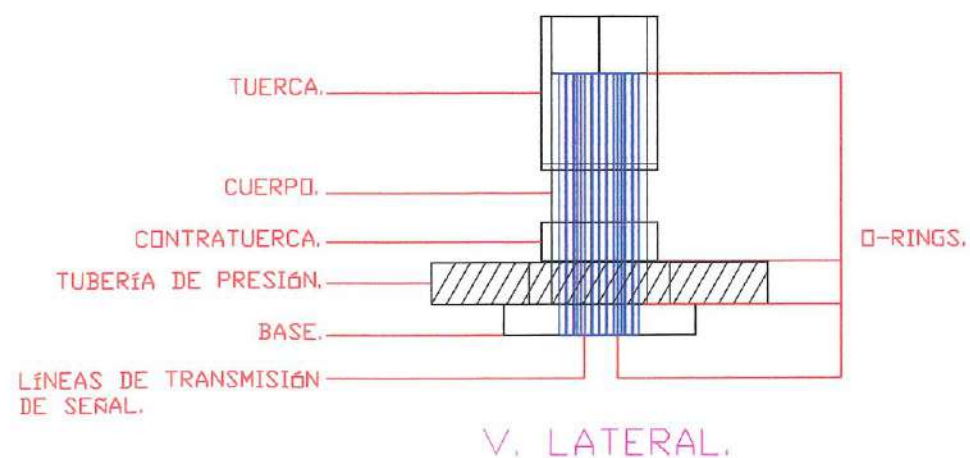
Dibujó: CPSUR, S.A. DE C.V. Revisó: M.I. C. M. B.



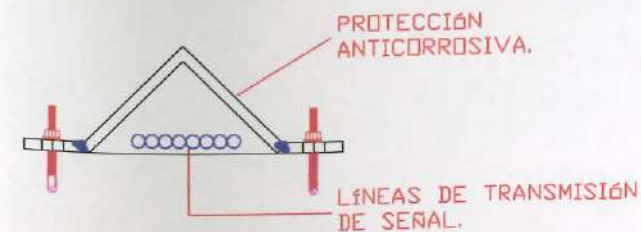
PROTECCIONES MECÁNICAS MANUFACTURADAS A PARTIR DE ANGULO ESTRUCTURAL DE 2 Y 3 M. DE LONGITUD, SEGUN SU UBICACIÓN EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN, CON SOLERAS DE FIJACIÓN CADA 0.30 M.



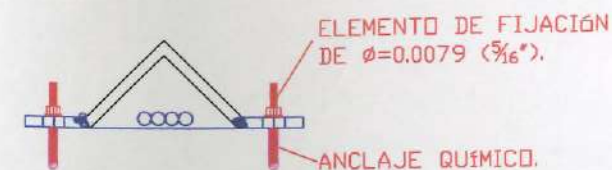
SISTEMA PASACABLES.



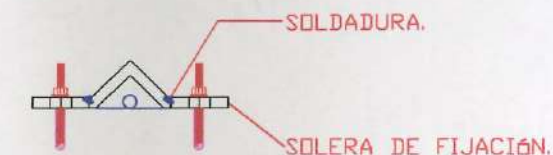
CORTE A - A'



A) SALIDA PRINCIPAL DE CABLEADO.

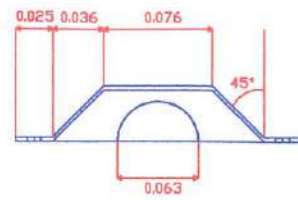


B) INTERCONEXIÓN ENTRE SECCIÓN A Y SECCIÓN B DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.

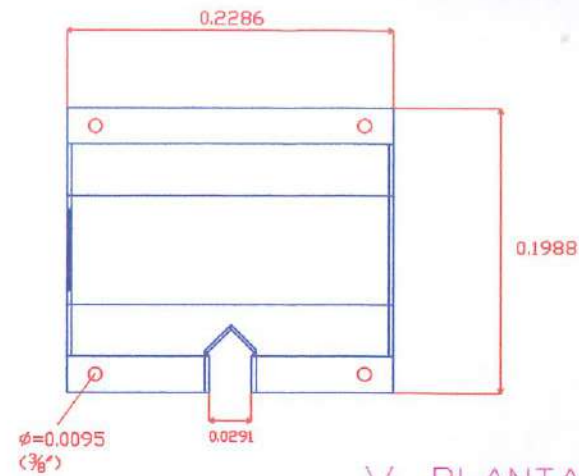


C) INTERCONEXIÓN ENTRE ANILLO COLECTOR Y EL ELEMENTO SENSOR.

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE LOS GASTOS TURBINADOS			
CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA"			
COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN			
ACOT.: m	ESCALA: S/E	FECHA: ABRIL 2009	3
Dibujo: CPSUR, S.A. DE C.V.		Revisó: M.I. C. M. B.	

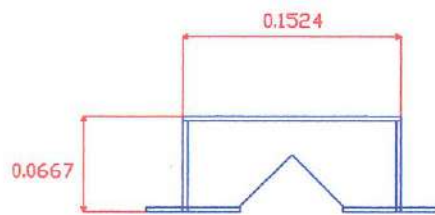


V. FRONTAL



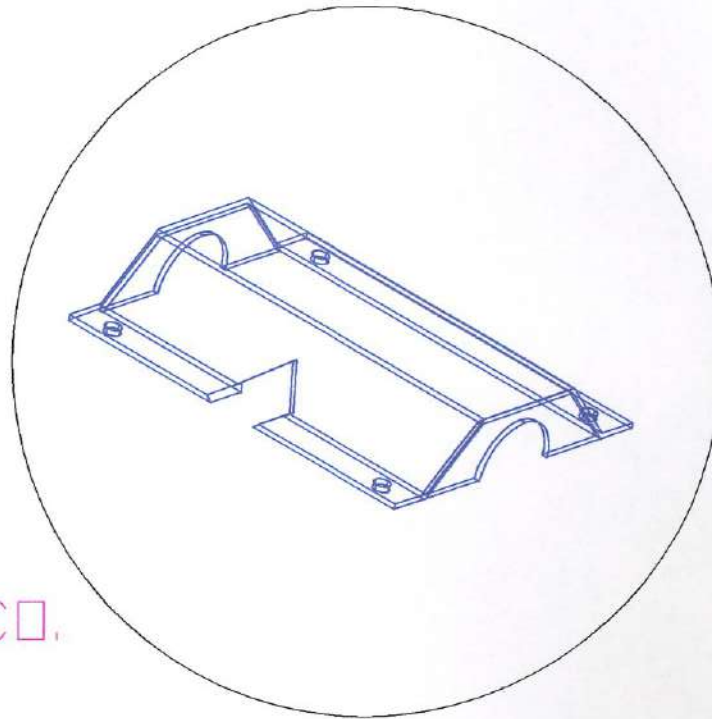
V. PLANTA.

MANUFACTURA DE REGISTROS DEFLECTORES A PARTIR DE PLACA DE ACERO A-11 DE 0.0032 M (1/8") DE ESPESOR.



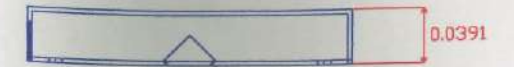
V. FRONTAL

ISOMÉTRICO.



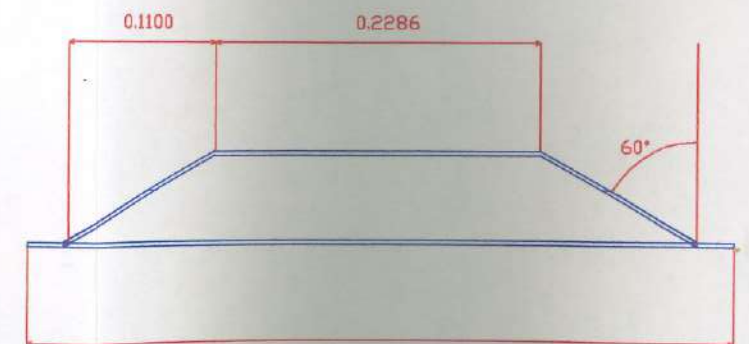
V. PLANTA.

REGISTRO DEFLECTOR TIPO "L".



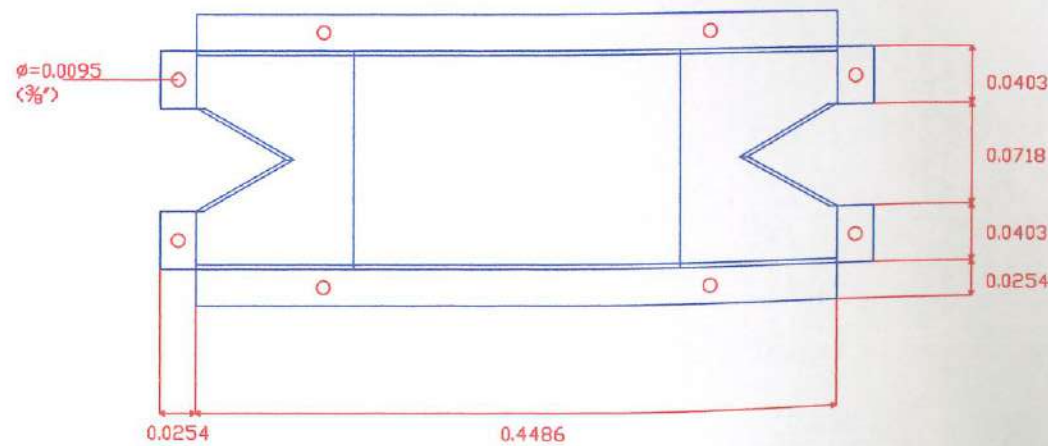
V. LATERAL.

REGISTRO DEFLECTOR TIPO "T".



V. LATERAL.

REGISTRO DEFLECTOR DE PASO.



PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE LOS GASTOS TURBINADOS  
 CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA"  
 COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

ACOT.: m	ESCALA: S/E	FECHA: ABR., 2009	4
Dibujó: CPSUR, S.A. DE C.V.		Revisó: M.I. C. M. B.	

TUBERÍA DE CONCRETO

PLACA ACERO AL CARBÓN

TORNILLO ACERO INOXIDABLE 5/16"

ABRAZADERA TIPO OMEGA

PERNO AUTOSOLDABLE ACERO INOXIDABLE 5/16"

ANCLAJE QUÍMICO

PLACA BASE

PERFORACIÓN  $\phi = 3/8"$

PERFIL

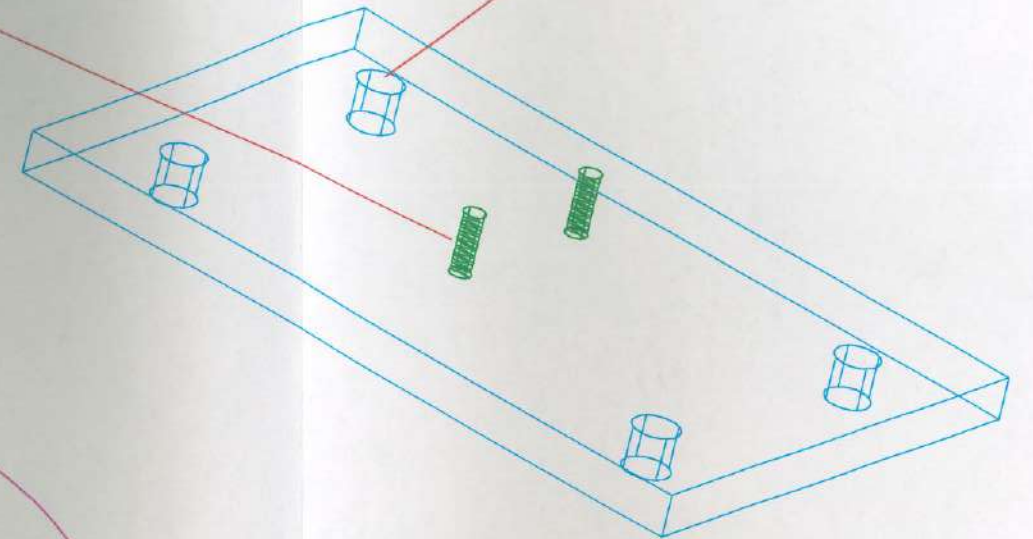
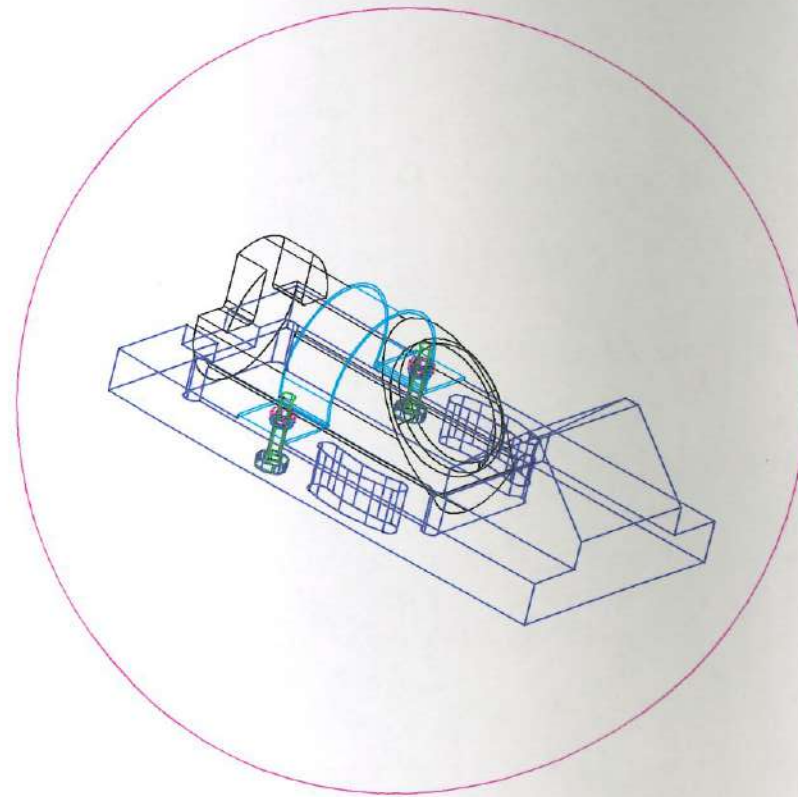
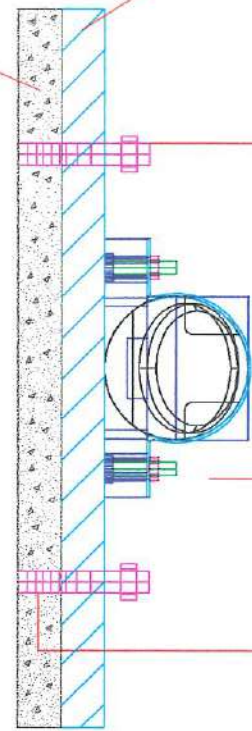
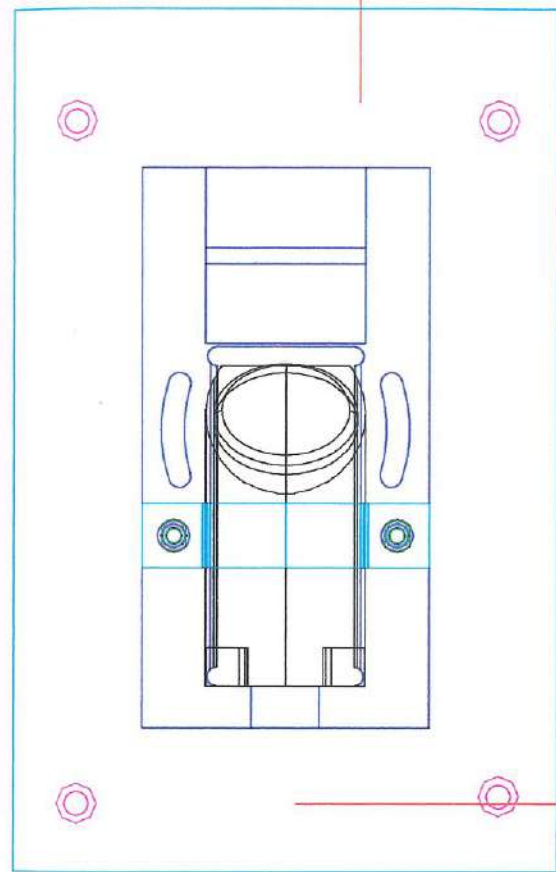
RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO

PLANTA

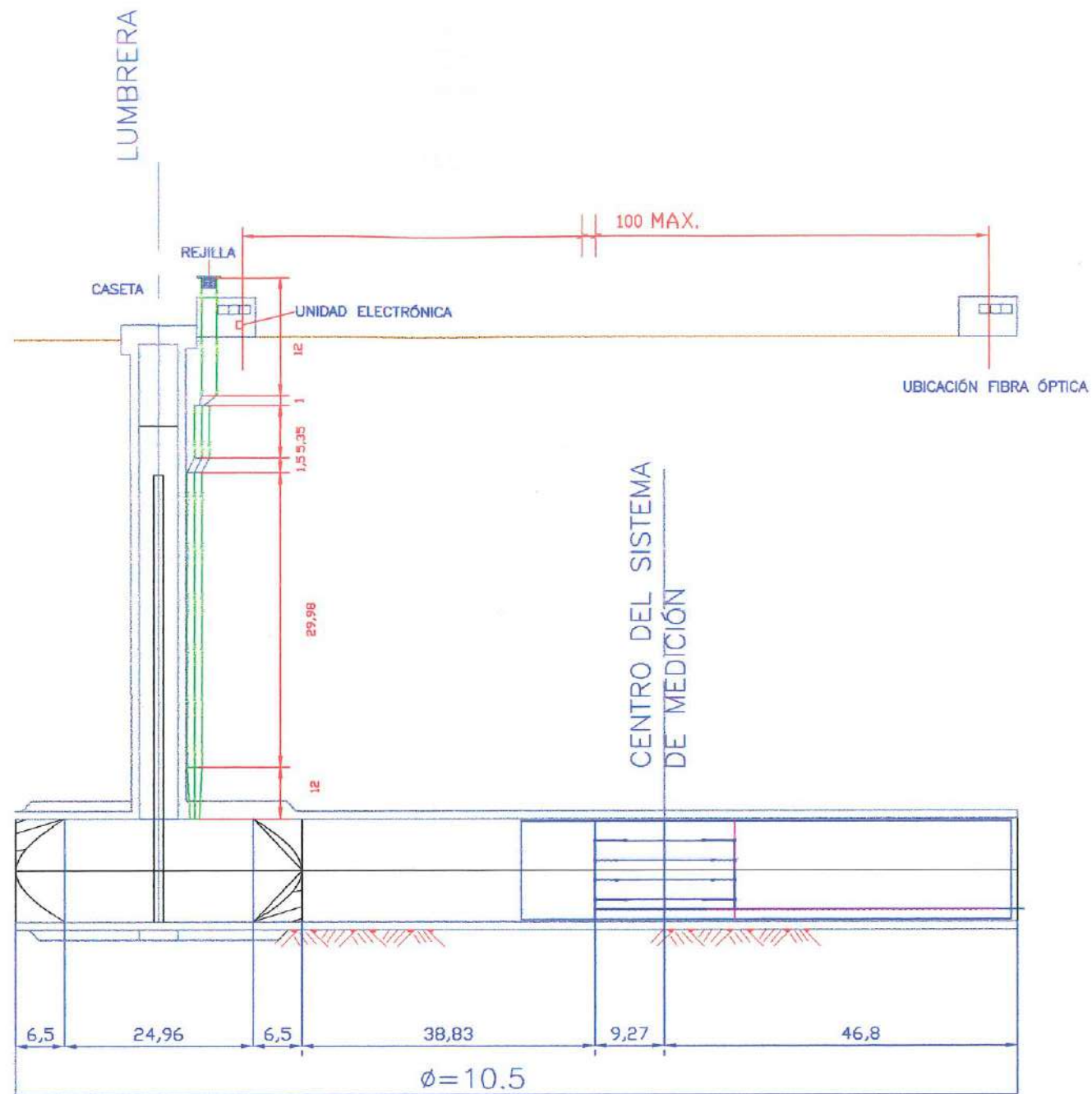
PLACA BASE.

PARA LA MANUFACTURA DE LA PLACA BASE DEL SENSOR, SE UTILIZA PLACA DE ACERO AL CARBÓN DE 1/4" DE ESPESOR.

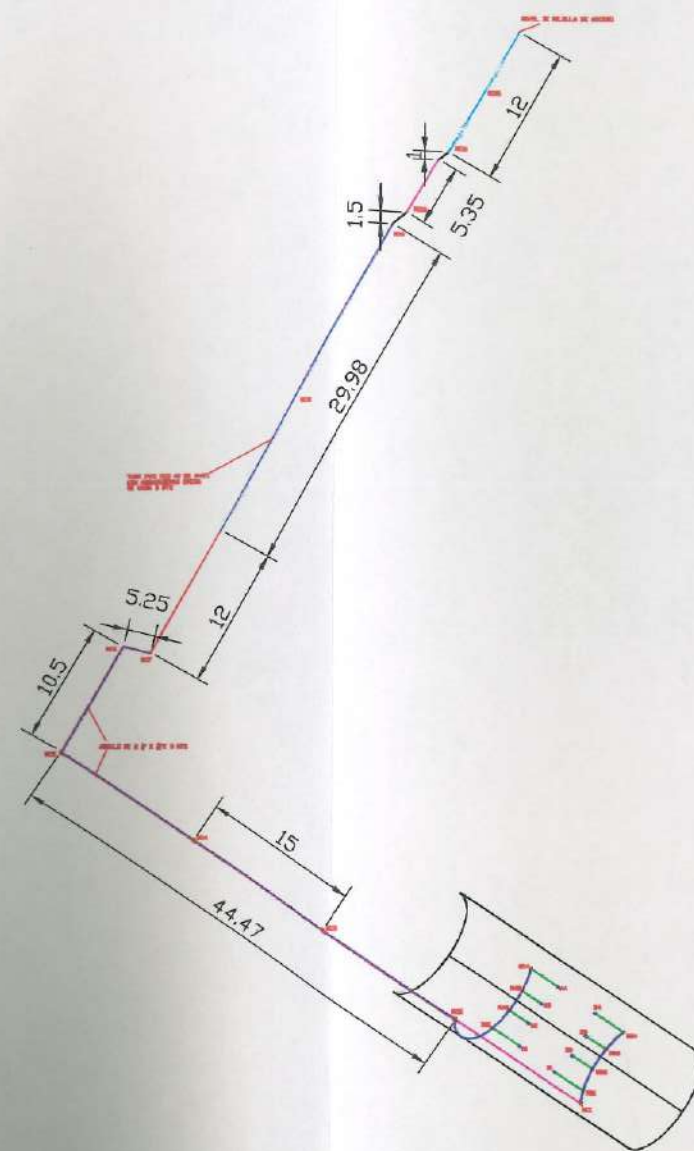
SENSOR ULTRASÓNICO



			
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE LOS GASTOS TURBINADOS CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA VILLITA". DETALLES DE FIJACIÓN DE SENSORES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.			
ACOT: m	ESCALA: S/E	FECHA: ABR., 2009	5
Dibujó: CPSUR, S.A. DE C.V.		Revisó: M.I. C. M. B.	



VISTA FRONTAL.



ISOMÉTRICO  
PROTECCIONES MECÁNICAS.

			
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA Comisión Federal de electricidad			
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA INSTALACIÓN DE UN MEDIDOR DE GASTOS TURBINADOS			
CENTRAL HIDROELECTRICA "LA VILLITA"			
SALIDA DE CABLES			
ACOT.: m	ESCALA: 1:1	FECHA: JUN.2009	6.
Dibujó: CPSUR, S.A. DE C.V.		Revisó: M.I. C. M. B.	



## 6.3 FABRICACIÓN DE PIEZAS ESPECIALES

### 6.3.1 Soportes triangulares para cables

Se fabricaron 38 soportes para cable con ángulo de fierro estructural en diferentes medidas de ángulos y de longitudes, a los que se les soldaron soleras con forma cuadrada en distancias iguales y alternadas en los lados del ángulo para crear la propiedad conmutativa en la colocación de los soportes.

Cant	Unidad	Angulo (Pulgadas)	Espesor (Pulgadas)	Longitud (Mts)
10	Pzs	1"	3/16"	2.0
06	Pzs	2"	3/16"	3.0
22	Pzs	2 1/2"	3/16"	3.0

Fue necesario cortar ambos extremos para asegurar el acabado en las caras de los elementos al momento de colocarlos en el *dispositivo de ajuste*.



Fotos 1-2. Corte de elementos de sujeción (ángulos)

Para la fabricación de estos soportes se realizó un *dispositivo de ajuste* que nos asegurará la equidistancia entre los grupos de soleras.



Fotos 3-4. Detalle del dispositivo de ajuste



En el proceso de fabricación de las soleras que servirían de soporte, fue necesario manufacturar un dispositivo para la sujeción de las piezas ya cortadas con el fin de mantener la distancia entre las perforaciones y acelerar el proceso de barrenado.



Fotos 5-9. Proceso de barrenado

Finalmente se aplicó el recubrimiento de Napko A-27 a dos manos para asegurar el adecuado espesor de las piezas al momento de ser instaladas.



Fotos 10-11. Secado de piezas

### 6.3.2 Soportes de media caña para cables

Para el área de la circunferencia de la tubería de la C.H. fueron fabricados soportes a base de tubo de a.c. de 2" de diámetro sch 40 rolando con un radio de 5,25 mts cortadas en 12 secciones de 3,0 mts en el desarrollo de su circunferencia, cortado a media caña para hacer la función de canaleta para alojar cables; se colocaron soleras de 1" x 1" x 3/16" con barreno central de 3/8" a cada 25 cm (aprox.) en forma equidistante y alternada, ya que todos los tramos deberán coincidir en las distancias y perforaciones de manera tal que sean intercambiables. Los tubos fueron cortados con un dispositivo semiautomático de corte por oxi-acetileno el cual fue montado en un riel para asegurar su correcto desplazamiento a lo largo de la tubería asegurando la simetría en el corte de las medias cañas. El dispositivo nos permitió dar un mejor acabado a las piezas que servirían de canaletas. Posteriormente se realizó el rolando de las secciones de 3,0 metros en una roladora semiautomática de 3 rodillos de 15 toneladas con los dados adecuados para el perfil de la tubería. Con esta máquina nos fue posible dar el perfil necesario en las secciones de media caña en tan solo dos pasos.



Fotos 12 y 13. Fabricación de elementos de sujeción de media caña



### 6.3.3 Registros rectangulares de Acero Inoxidable

Se fabricaron 23 registros rectangulares de 6" x 9" x 2 ½" en material de SS T304 Cal 12 con distintas orientaciones en las perforaciones triangulares y circulares para el alojamiento de la tubería de PVC y los tres tipos de soportes de ángulo. A continuación una descripción de las distintas orientaciones y su posición.

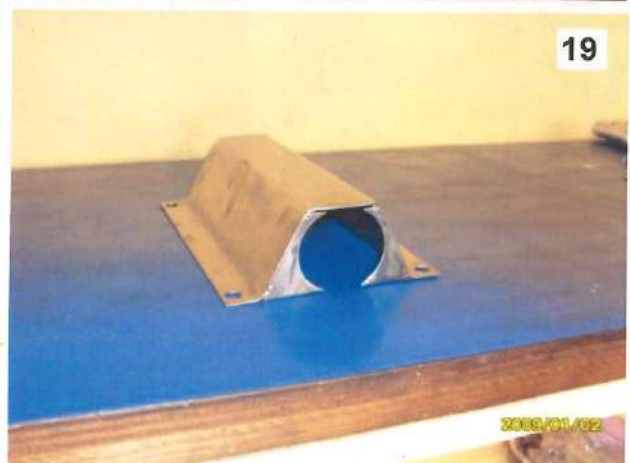
Tabla 2. Identificación de registros para el cableado del sistema de medición

Descripción del tipo de registro	Código de su posición	Cantidad	Unidad
Registro tipo "L" de 6" x 9" x 2 ½" con perforación de 1 ½"	RA4, RB4	02	Piezas
Registro tipo "L" de 6" x 9" x 2 ½" con perforación de 2"	RC1	01	Piezas
Registro tipo "L" de 6" x 9" x 3" con perforación de 2 ½"	RC5, RC6, RC7	03	Piezas
Registro tipo "T" de 6" x 9" x 2 ½" con perforación de 1 ½"	RA1, RA2, RA3 RB1, RB2, RB3	06	Piezas
Registro tipo "T" de 6" x 9" x 2 ½" con perforación de 2" y 2 ½"	RC2	01	Piezas
Registro de paso con perforación de 2 ½"	RC3, RC4	02	Piezas
Registro de paso con perforación para tubo de 2"	RC8, RC9, RC10, RC11, RC12 (+3 repuestos)	08	Piezas

Las dimensiones generales fueron similares por lo cual fue posible cortar plantillas de secciones de lámina para ser sometidas a dobles conservando los mismos dados en la máquina dobladora y posteriormente realizar las perforaciones además de los cortes correspondientes a cada tipo de registro. Las tapas laterales de cada uno de los registros fueron maquinadas por separado para poder realizar los cortes con mayor libertad y posteriormente unidas al cuerpo ya perfilado de los registros mediante proceso de soldadura TIG. Los perfiles para las formas circulares que alojaran los tubos de PVC se realizaron con una plantilla de las dimensiones del tubo para; del mismo modo se utilizó una plantilla para corroborar el correcto ajuste de las diferentes medidas de ángulos que se alojarían en los registros.



Fotos 14-15. Corte en planillas

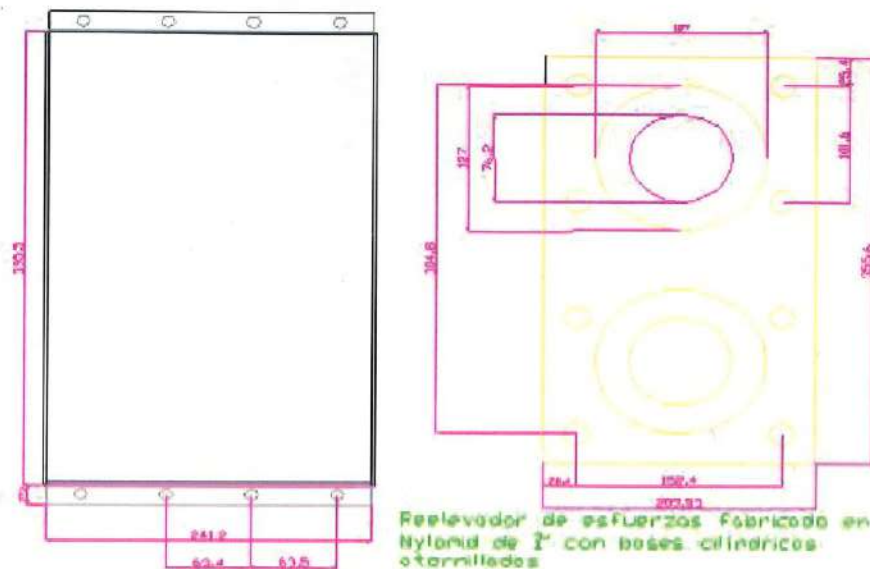


Fotos 16-19. Registros para el cableado.



### 6.3.4 Relevadores de esfuerzos

Se fabricaron 3 reelevadores de esfuerzos en placa de  $\frac{3}{4}$ " de plástico de ingeniería (Nylamid) con dos barras sólidas del mismo material en diámetro de 3" y rodajas ciegas sobre estas barras de 5" de diámetro por  $\frac{3}{4}$ " de espesor. Cada uno de los arreglos antes descritos lleva una tapa rectangular en material SS T304 Cal 12.



20



21



22

Fotos 20-22. Reelevadores terminados.

### 6.3.5 Abrazaderas de acero inoxidable

Se fabricaron 35 abrazaderas para sujetar tubería de PVC de 2  $\frac{1}{2}$ ". Para ello fueron cortadas mediante cizalla de una placa de SS T304 Cal 12 diversas soleras para posteriormente darle forma con un dispositivo que nos permitiera rodear perfectamente el tubo asegurando así su firme anclaje al momento de atornillar.



Fotos 23-24. Reelevadores terminados.

### 6.3.6 Placa pasa muros

Se fabricó una placa redonda con las perforaciones para los ocho cables de los sensores en material de SS T304 con n espesor de  $\frac{1}{2}$ " y los barrenos de  $\frac{3}{8}$ ". La placa lleva un perfil que obedece a la circunferencia del interior del tubo, de tal manera que hubo que someterla al proceso de deformación mediante una prensa hidráulica y una plantilla que nos permitiera dar la curvatura necesaria.



Fotos 25-26. Placa pasa cable terminada.

Los trabajos fueron entregados en un embalaje que evitará el desgaste de las piezas al ser transportadas y con la precaución de mantener en todo momento las condiciones de diseño con las cuales fueron fabricadas. Para ello se colocaron secciones de madera en ambos extremos para anclar con tornillos series de cuatro y cinco –ángulos formando así un grupo más compacto de elementos haciendo más simple su manejo y evitando el choque de unos contra otros.



Sujetadores de madera en cada extremo

Los demás elementos fueron colocados en cajas de cartón por grupos de piezas, asegurando que no fuesen a ser golpeados durante el viaje.



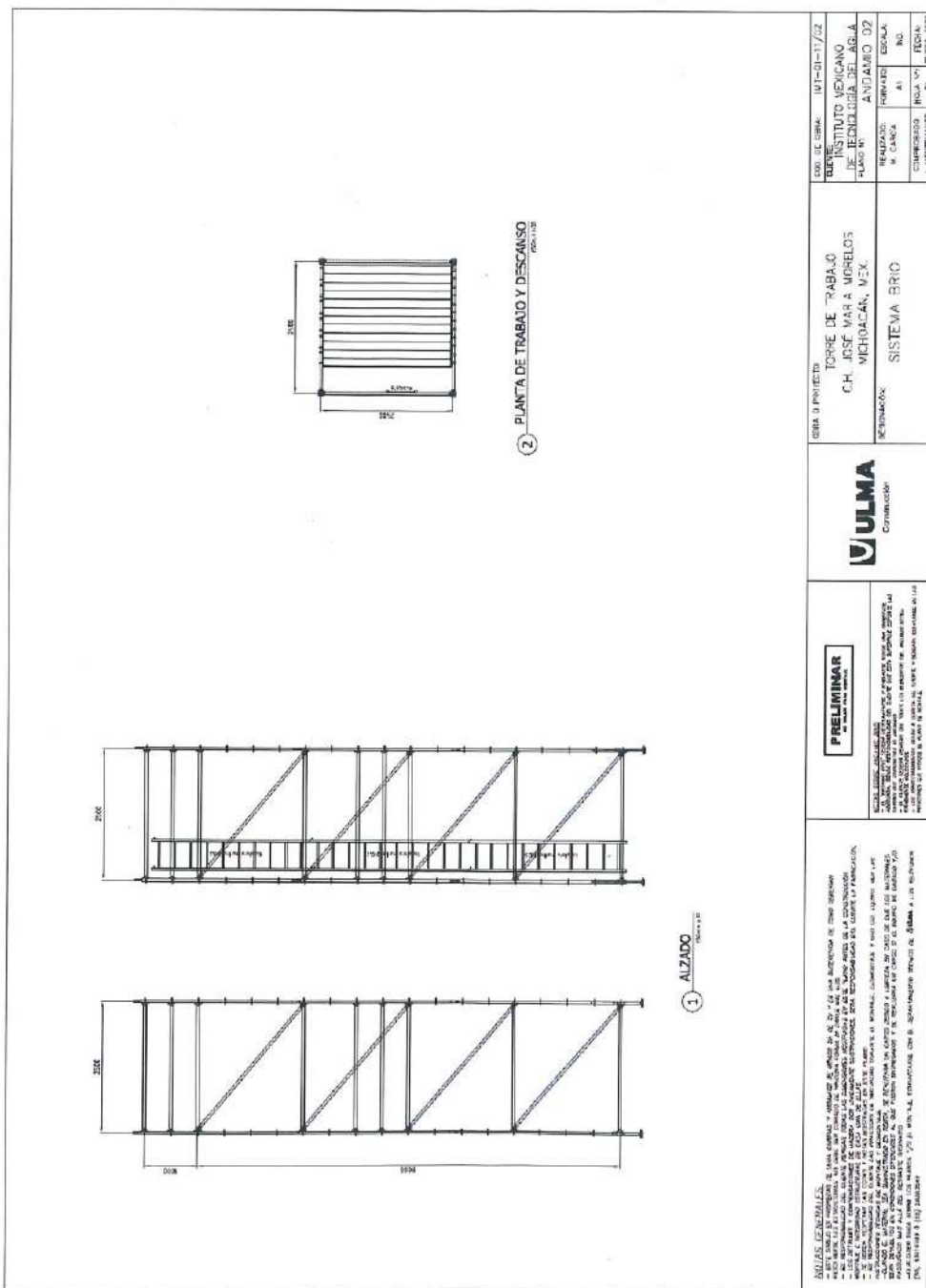
Fotos 26-31. Embalaje de los elementos del sistema de sujeción para su traslado al sitio de instalación.



### 6.4 Diseño del andamio

Se le explicó la naturaleza de los trabajos a efectuar al arrendador de andamios, los cuales proporcionaron el diseño del andamio más adecuado a las actividades por desarrollar. Se encargaron dos andamios, el primero, tipo torre para ascenso/descenso por el tubo de aireación y el segundo, para la instalación de los sensores.

Figura 12. Diseño del andamio tipo torre



<p>NO. DE DISEÑO: IMT-01-17/02          CLIENTE: INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA          PLANTA: ANDAMIO 02          PROYECTO: M. CLASO          CATEGORÍA: A1          BO: BO          REVISIÓN: BO          APROBACIÓN: BO</p>	<p>OBRA DE PROYECTO: TORRE DE TRABAJO C.H. JOSÉ MARÍA MORELOS MEHOACAN, MEX.          METODOLOGÍA: SISTEMA BRIC</p>	<p><b>VULMA</b>          Construcción</p>	<p><b>PRELIMINAR</b>          Este documento es preliminar y no debe utilizarse para la construcción de obras de infraestructura. Se reserva el derecho de modificarlo sin previo aviso. No se garantiza la exactitud de la información contenida en este documento.</p>	<p><b>NOTAS GENERALES:</b>          - Este documento es preliminar y no debe utilizarse para la construcción de obras de infraestructura. Se reserva el derecho de modificarlo sin previo aviso. No se garantiza la exactitud de la información contenida en este documento.          - El presente documento es preliminar y no debe utilizarse para la construcción de obras de infraestructura. Se reserva el derecho de modificarlo sin previo aviso. No se garantiza la exactitud de la información contenida en este documento.          - Este documento es preliminar y no debe utilizarse para la construcción de obras de infraestructura. Se reserva el derecho de modificarlo sin previo aviso. No se garantiza la exactitud de la información contenida en este documento.</p>
---	---	---	--	---



**IMTA**  
Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua

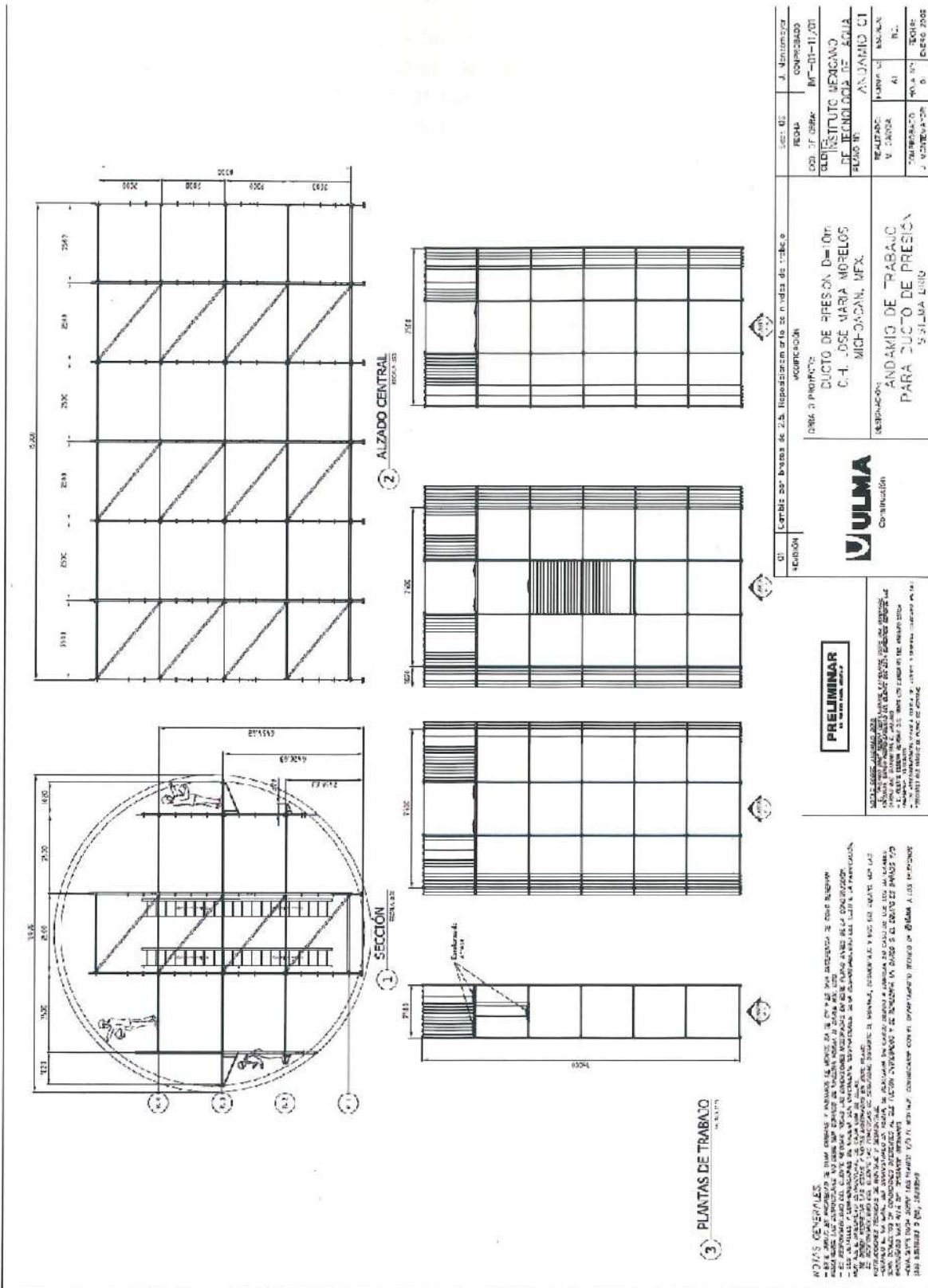
Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

Figura 13. Diseño del andamio general para la instalación de sensores





## 6.5 Actividades preliminares en sitio

Las primeras actividades al llegar al sitio en campo fueron revisar las condiciones de acceso a la obra de toma en la Central, sin embargo, debido a que no se tenían las condiciones adecuadas tanto para entrar como para iniciar los trabajos programados, se trabajó en estos dos frentes. A continuación se reproducen los reportes de actividades.

### NOTA INFORMATIVA.

04 DE NOVIEMBRE DE 2009

Hubo un retraso de la entrega de la unidad hasta el día 26 de octubre para el mantenimiento de la unidad consistente en las labores de sand-blast, sin embargo, en la zona en donde el IMTA llevaría a cabo las actividades relacionadas con el proyecto permaneció anegada por un tirante de agua de aproximadamente 40 cm hasta el día 30 de octubre, fecha en la que se habló con la superintendencia de la Central para que se achicará dicha zona hasta dejar un tirante menor a 15 cm, lo anterior es porque se tienen que armar andamios, habrá trabajos de soldadura, y extensiones de corriente.

El otro motivo fue que pese a que se acordó en reuniones previas con la Central el acceso por el cual el IMTA introduciría tanto personal como materiales y además se acordó que la Central colocaría un winch o malacate, dicha actividad no fue llevada a cabo se entiende, por el exceso de trabajo y recorte de personal que tiene la Central. Por lo cual, el IMTA se avocó a la búsqueda de renta malacates que pudieran izar pesos de hasta 3 toneladas a un mínimo de 85 m, tarea que consumió al casi 4 días ya que prácticamente no existen malacates en renta en buenas condiciones en la ciudad y el único proveedor que cuenta con maquinaria en buen estado tiene precios muy altos. Finalmente, personal del Instituto encontró uno que al cual se le dio mantenimiento y se habilitó con 100 m de cable nuevo de acero de 5/16" de diámetro.

El malacate se habilitó y probó el día 03 de noviembre de 2009, la Central apoyó con un HIAB y sus operadores para elevarlo a la plataforma en que será instalado. Se espera entrar a la unidad los días 03 y 04 de noviembre para determinar la zona de trabajo y pedir el achique correspondiente a la Central.

Después de tener una reunión con el contratista que lleva a cabo el sand-blast, en la cual se trataron puntos sobre la seguridad de trabajo en sitios confinados y mitigación de vapores orgánicos producto del anticorrosivo y dado que en la noche los trabajos principales del contratista será sacar arena, el IMTA propuso trabajar de noche por la seguridad de su personal. Asimismo, pidió a la Central la supervisión tanto de los trabajos de la instalación como de seguridad e higiene. En este punto, se **solicitó** a la Central apoyo para que coordine los trabajos entre el IMTA y los Departamentos de Ingeniería Civil y Mecánico de la Central, para que por un lado se achique en el sitio de trabajo y se ponga la cortina de costales u otro tipo de pantalla que evite que pase el polvo y vapores del anticorrosivo en forma excesiva al mismo, se adjunta oficio correspondiente (Anexo A).

Por otro lado, de las primeras visitas que se hicieron a la Central para recopilar datos para incorporar las señales de la medición ultrasónica del caudal al sistema de monitoreo local ya existente, se notó que algunos dispositivos están desconectados o no tienen alimentación eléctrica, por ejemplo el sensor del desfogue, y que el sistema tampoco está guardando ningún registro de variables. A este respecto, se informa que el IMTA subcontrató el desarrollo de una aplicación informática capaz de adquirir datos de dichas señales para ser presentados en pantalla así como las operaciones derivadas de estas. Por lo tanto, solicitó a la Central que habilite dichas señales para que se puedan incorporar al sistema de monitoreo local que se habrá de dejar operando, si éstas no se encuentran al momento de implementar la mencionada interfase, el IMTA sólo dejará funcionando lo correspondiente al sistema de medición de tipo ultrasónico.

#### REPORTE DE ACTIVIDADES. 05 DE NOVIEMBRE DE 2009

*Reporte de actividades con relación a los trabajos de instalación del sistema de medición de tipo ultrasónico, que se desarrollan en la unidad 1 de la C.H. José María Morelos "La Villita".*

Debido a desperfectos en las líneas de desagüe, la unidad permaneció inundada aproximadamente tres días, desde el 02 al 05 de noviembre, fecha en que al menos la sección de acero fue achicada completamente, sin embargo, en la zona de concreto hasta medio día de hoy permanecía con un tirante de al menos 60-80 cm, sin embargo, se espera que para mañana el tirante de agua de esta sección baje considerablemente, debido a que las bombas siguen operando.



Fotos 1 y 2. Alimentación eléctrica al malacate y descenso de la canastilla



Se hicieron las primeras pruebas de funcionamiento del malacate y canastilla para acceder al conducto de presión (fotos 1 y 2). Derivado de esto, se concluyó que se hará una canastilla de menores dimensiones y de forma cilíndrica para evitar que gire y que se atore en las aristas del vano de la compuerta (foto 4). La Central ha facilitado el uso de su taller para llevar a cabo esta actividad.



Fotos 3 y 4. Supervisión del funcionamiento del malacate por el Jefe de seguridad de la Central. Descenso de la canastilla, se nota el giro de ésta y el riesgo de que se atore en el vano.

Se acordó con el Departamento de Ing. Civil de la Central que mañana se hará un recorrido por el interior del túnel en la zona en que se instalará el sistema de medición (concreto) para determinar el sitio de colocación de la ataguía que permita tener condiciones de trabajo adecuadas para llevar a cabo las actividades correspondientes a la instalación.

Elaboró:

Ing. Víctor Mejía Astudillo

M.I. Cecia Millán Barrera

---

REPORTE DE ACTIVIDADES.  
06 DE NOVIEMBRE DE 2009

*Reporte de actividades con relación a los trabajos de instalación del sistema de medición de tipo ultrasónico, que se desarrollan en la unidad 1 de la C.H. José María Morelos "La Villita".*

Este día se presentó un imponderable más en relación a los trabajos que se llevan a cabo en la conducción de presión de las unidades 1 y 2, se desprendió calafate del sello de la compuerta de servicio de la conducción, por lo tanto, toda la tubería se inundó, especialmente el tramo de concreto en donde se cree que hay un tirante aproximado de 2 metros, por tal motivo la Central decidió que la compuerta se vuelva a calafatear, para tal



efecto, se solicitó los servicios de los buzos que se encontraban la Central Hidroeléctrica "El Infiernillo". Se trasladaron a la Central Hidroeléctrica La Villita.

Los buzos sellaron con éxito las fugas de la compuerta, se dejaron trabajando las bombas toda la noche, esperando que el tirante de agua en toda la unidad. Dependiendo si el calafate resiste o no, es decir si se presentan fugas o no, los buzos harán otra inmersión para asegurarse de sellar todas las fugas.

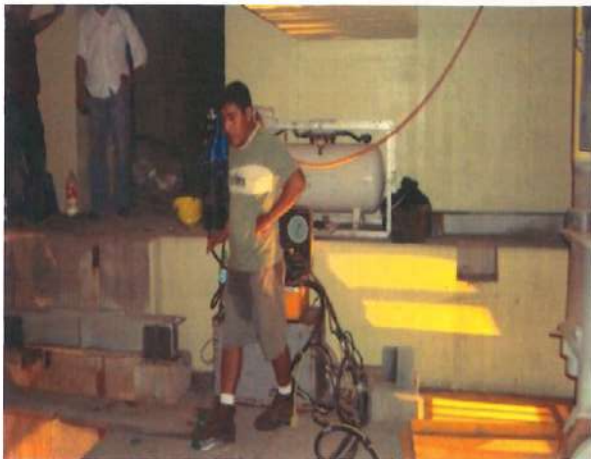


Foto 1 y 2. Equipo de compresión de aire y Equipo de buceo respectivamente.

El Departamento de Ingeniería civil planea ingresar a la unidad mañana en conjunto con personal del IMTA para definir el sitio donde se erigirán las ataguías para dejar el área de trabajo con el menor tirante posible. Se tiene un atraso de 11 días respecto al cronograma de actividades.

Elaboró:

Ing. Víctor Mejía Astudillo

M.I. Cecilia Millán Barrera

---

## REPORTE DE ACTIVIDADES. 07 DE NOVIEMBRE DE 2009

Reporte de actividades con relación a los trabajos de instalación del sistema de medición de tipo ultrasónico, que se desarrollan en la unidad 1 de la C.H. José María Morelos "La Villita".

Tal como se planeó el día de ayer, aparte de dejar drenando las bombas toda la noche en la mañana los buzos hicieron otra inmersión para verificar el calafate colocado ayer y corregir cualquier fuga. Las fugas de la compuerta se corrigieron en un alto porcentaje. Sin embargo, a medio día el tirante la zona de concreto era de aproximadamente 2.0 m.



Fotos 1 y 2. Buzos saliendo de la verificación del calafateo de las compuertas

Para drenar ese volumen de agua y poder entrar para definir el sitio de la ataguía y así dejar esa zona en condiciones adecuadas, tomara al menos 4 días, pero debido a que se llevan 13 días de retraso, ya no es posible amortiguar todo ese tiempo (17 días) y salir de la unidad en la fecha programada ( 29 de noviembre ). Sobre todo porque aún cuando se pudiera entrar antes, habría que cambiar la logística de la instalación.

Ante esas situaciones se firmó una minuta con la Superintendencia de la Central Hidroeléctrica La Villita, en el sentido de que no es posible llevar a cabo los trabajos de la instalación del SMU dada la alta probabilidad de que se vuelva a inundar, el riesgo de trabajo, el poco tiempo disponible para concluir los trabajos y el cambio en la logística de la instalación.

Dado lo anterior, el IMTA comenzó con la remoción del malacate que se había puesto para acceder por el vano de una de las compuertas:



Fotos 3 y 4. Remoción del malacate.

En los próximos días, se desalojará la caseta habilitada como bodega y se entregará a la Superintendencia de la Central un inventario de los bienes que se darán en resguardo a la CFE.

Elaboró:

Ing. Víctor Mejía Astudillo

M.I. Cecilia Millán Barrera



Tal como se menciona en el reporte de actividades anterior, la superintendencia de la Central Hidroeléctrica y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua firmaron dos minutas de trabajo, la primera relacionada con la postergación de los trabajos de instalación del sistema de medición y la segunda en relación al resguardo de bienes propiedad de la CFE entregados por el IMTA a la Central en cuestión. Tales documentos se adjuntan en el anexo A, en este mismo, se adjunta la entrega oficial del sistema de medición por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

## **6.6 Desarrollo de la aplicación informática para el desarrollo del monitoreo local**

El desarrollo de la actualización del sistema de monitoreo local para incorporar las variables de la medición ultrasónica al sistema existente en la Central, se subcontrató con la empresa HIDRONICA S.A. DE C.V. cuyo reporte se transcribe a continuación:

### **6.6.1 Antecedentes**

De la visita realizada a campo, el día 21 de enero de 2009, a la Central Hidroeléctrica José María Morelos "La Villita" en Lázaro Cárdenas, Michoacán, cuyo reporte se encuentra en el documento: *F7.3\_07-Nota Técnica - I - La Villita*; así como de la reunión que se tuvo en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el 15 de mayo de 2009; se recabó la información con la cual se fundamentó el desarrollo del proyecto.

### **6.6.2 Descripción general del Sistema**

#### **6.6.2.1 Requerimientos**

Se requiere realizar la actualización del sistema de monitoreo local, con el que cuenta actualmente la Central Hidroeléctrica La Villita; incorporar los datos, tanto de los sensores instalados en la central, como del medidor de flujo tipo ultrasónico (tiempo de tránsito) que será instalado por el IMTA, con quien se desarrolla el presente proyecto.

El desarrollo deberá adaptarse a las necesidades del cliente, de acuerdo a la instalación actual; tomando en cuenta los siguientes puntos:

Panel de monitoreo, con alimentación 115 [VAC] @ 5 [A]

- Interruptor central
- Borneras de alimentación de energía
- Switch de conexión Ethernet interno
- Fuente de alimentación Phoenix Contact 24[VDC] @ 5[A], Trio-Power
- Controlador Central: cFP-2000
- Con módulo de entradas analógicas cFP-AI-118
- Tarjeta de conexiones externa
- Borneras de conexiones de señales
- Fuentes de alimentación de sensores:
  - Amplificador/acondicionador de señal analógica ICP-CON 3081
  - Amplificador/aislador de señal analógica MCR-C-UI-UI-DCI
- El cable utilizado en las conexiones internas es de 4 hilos (malla a tierra), calibre 24 AWG.

Comunicaciones: Ethernet

Sensores: Presión manométrica, presión diferencial, nivel ultrasónico (2), potencia, temperatura, apertura de compuerta y flujo (ultrasónico tiempo de tránsito).

Entradas: Analógicas, comunicaciones RS232/RS485

Señalización: LEDs del controlador, pantalla en las oficinas de la central.

### 6.6.2.2 Diagrama de bloques

El sistema tiene la siguiente topología:

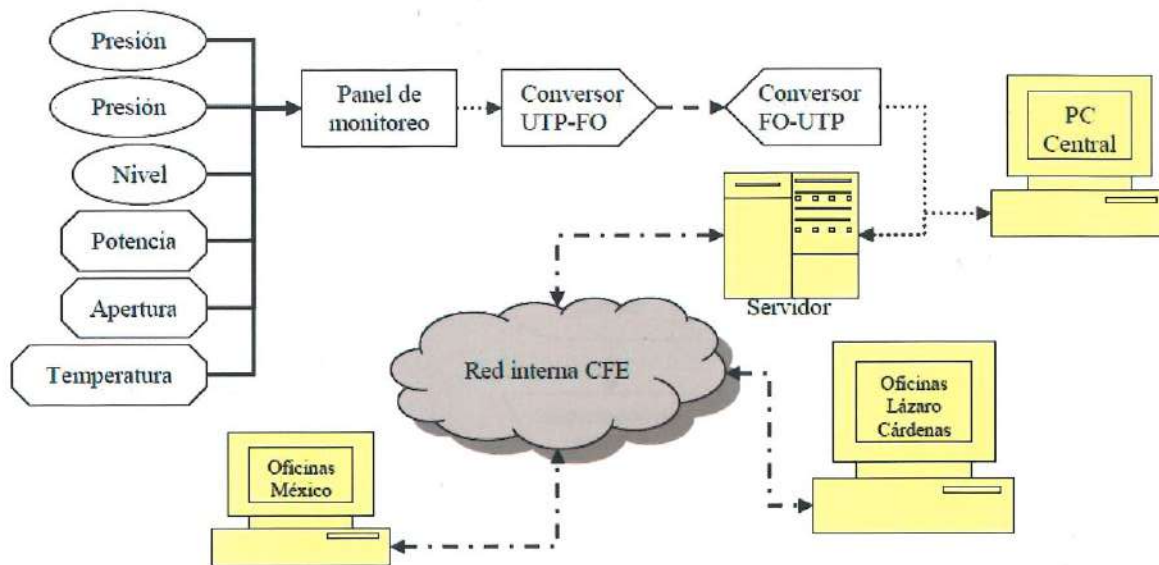


Figura 14. Topología del Sistema

El sistema recibe las señales de los sensores, las cuales pasan por una etapa de acondicionador de señal; posteriormente se leen en el FieldPoint, el cual envía los valores a la computadora, que se encarga de realizar el procesamiento y almacenamiento de información en la base de datos del Servidor; el cual publica la información generada, mediante una aplicación php, montada en un servidor Apache; a la cual se puede acceder desde cualquier computadora que se encuentre dentro de la Red interna de CFE.

### 6.6.2.3 Alcance

El alcance del proyecto se limita a establecer el sistema de monitoreo local, almacenando la información en la base de datos que ya se encuentra instalada en campo; tanto la aplicación de despliegue vía web y de replicación de información no serán modificadas ni actualizadas.

### 6.6.2.4 Diagrama de flujo

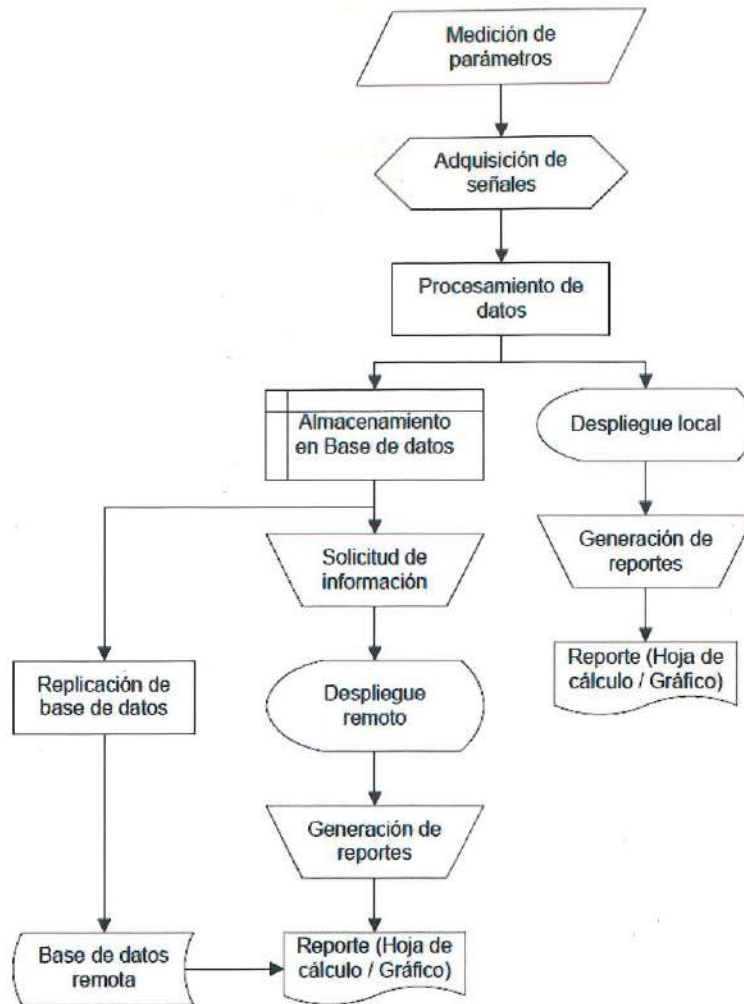


Figura 15. Diagrama de flujo del Sistema de Monitoreo actual

### 6.6.2.5 Descripción General y Funcional

Se cuenta con un sistema de adquisición de datos, instalado por la empresa *Lees Lab S. A. de C. V.*, el cual, al momento de la visita a las instalaciones, no se encontraba funcionando, aparentemente por cuestiones de cableado; ya que, en esas fechas, se estaba realizando una reestructuración del cableado interno; además de que, según se nos informó por parte del personal de la central, el sistema funcionaba con normalidad.



**Se requiere que el sistema se encuentre funcionando correctamente para poder iniciar los trabajos de actualización de *firmware* y *software*; en caso contrario, se tendría que hacer un análisis completo de la instalación de los sensores y su cableado correspondiente.**

### 6.6.2.5.1 Medición de parámetros

El sistema monitorea ocho parámetros distintos, las características principales de ellos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Parámetros de monitoreo

Variable	Parámetro	Instrumento	Señal	Rango	Escala
Qacousonico	Flujo	Ultrasonico en tiempo de travesia	Analógica	4-20 [mA]	0-280 [m³/s]
J	Nivel de embalse	Ultrasónico de nivel	Analógica	4-20 [mA]	0-20 [m]
H	Nivel de desfogue	Ultrasónico de nivel	Analógica	4-20 [mA]	0-15 [m]
Pe	Presión estática	Transmisor de presión estática	Analógica	4-20 [mA]	0-5 [bar]
Pd	Presión Diferencial	Transmisor de presión diferencial	Analógica	4-20 [mA]	0-10 [mbar]
T	Temperatura	Termopar tipo J	Analógica	4-20 [mA]	
Pge	Potencia activa	Transmisor de potencia central (AVR)	Analógica	4-20 [mA]	0-125000 [kW]
Apertura	Posición	Transmisor de apertura del distribuidor	Analógica	0.8-9.2 [mA]	0-100 %



Se requiere comprobar, tanto la escala como el estado de cada sensor, para la correcta ejecución del sistema de monitoreo. El Instrumento de medición de flujo no se encuentra instalado actualmente; por lo que sus datos pueden cambiar, dependiendo del que sea instalado.

### 6.6.2.5.2 Constantes

A continuación se presenta una tabla en la cual se indican las constantes que se requieren para realizar los cálculos de variables del sistema de la central.

Tabla 4. Parámetros de cálculo

Variable	Parámetro	Referencia	Valor*
Hmax	Caídas netas de referencia	Fabricante de turbinas	52.4 [m]
Hn		Fabricante de turbinas	41.85 [m]
Hmin		Fabricante de turbinas	37.8 [m]
q**	Diferencia del nivel del transmisor de la presión estática y del centro del distribuidor	Central Hidroeléctrica	6.575 [m]
k	Constantes del método Winter-Kennedy	Corelación de un flujo con la presión en los puntos W-K	4.47827
n			0.4567183
Zc	Nivel del centro de distribución	Central Hidroeléctrica	10.2 [msnm]
L	Latitud	Central Hidroeléctrica	18.23°
Pgen	Potencia nominal del generador eléctrico	Central Hidroeléctrica	120000 [kW]
s	Elevación del sensor de nivel de embalse	Central Hidroeléctrica	64.9 [msnm]
b	Elevación del sensor de nivel de desfogue	Central Hidroeléctrica	22.042 [msnm]
Ae	Área de entrada a turbina	Central Hidroeléctrica	41.4763 [m²]
As	Área de salida de turbina	Central Hidroeléctrica	100.434 [m²]
v	Velocidad de diseño de la turbina	Fabricante de turbinas	105.9 [rpm]
Qaux	Flujo del sistema de enfriamiento	Central Hidroeléctrica	0.2 [m³/s]
Ax***	Constantes de la curva de eficiencia	Central Hidroeléctrica	
	Curvas de eficiencia de la turbina de referencia****	Fabricante de turbinas	

- Notas:
- \* Deberá de verificarse con la información que proporcione la Central Hidroeléctrica.
  - \*\* Se obtiene de restar el valor de elevación del centro del transmisor de presión estática menos la elevación del centro de la turbina.
  - \*\*\* Constantes obtenidas del ajuste a un polinomio de grado n, de los valores de prueba o de diseño de la eficiencia del generador eléctrico en función de la potencia del mismo.
  - \*\*\*\* Generalmente el fabricante entrega tres curvas de eficiencia para las caídas netas máxima, nominal y mínima o el diagrama de colina; las cuales se ajustan para obtener los polinomios que describen su comportamiento.



Se requieren verificar los valores de las constantes para realizar la configuración final en campo.

### 6.6.2.5.3 Relación de Cálculos

A continuación se presenta una tabla con la relación de las variables calculadas y sus fórmulas respectivas; se muestra, además, las variables de procedencia para poder realizar el cálculo.

Tabla 5. Valores Calculados

Variable	Descripción	Fórmula	Variables Utilizadas		
			Medidas	Constantes	Calculadas
$g_L$	Gravedad local de la central	$g_L = 9.7803 \left[ 1 - 0.0053 \cdot \text{sen}^2(L) \right] - 3 \times 10^{-8} \cdot Z_d$ $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$		L, Z <sub>d</sub>	
Q	Curva Indexada	$Q = k \Delta P^b$	$\Delta P$	k, n	
Q <sub>p</sub>	Flujo de agua turbinada	$Q_p = Q_{acustonic} - Q_{aux}$ $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$	Q <sub>acustonic</sub>	Q <sub>aux</sub>	
P <sub>g.e.</sub>	Potencia del generador eléctrico	$P_{g.e.} = \left[ \frac{P_{ge} \text{ [W]}}{120000} \right] \cdot 100$ $\left[ \frac{W}{-} \right]$	P <sub>ge</sub>	P <sub>gen</sub>	
$\eta_{g.e.}$	Eficiencia del generador eléctrico	$\eta_{g.e.} = -6.020626E-20 P_{g.e.}^{-4} - 2.266431E-14 P_{g.e.}^{-3} + 3.240186E-09 P_{g.e.}^{-2} + 2.146902E-04 P_{g.e.} - 9.282462E+01$	P <sub>ge</sub>	A <sub>x</sub>	
P <sub>tur</sub>	Potencia de la turbina	$P_{tur} = \frac{P_{g.e.}}{\eta_{g.e.}} \cdot 100$ $\left[ \frac{W}{-} \right]$			P <sub>g.e.</sub> , $\eta_{g.e.}$
P <sub>ec</sub>	Presión de entrada a la turbina corregida	$P_{ec} = P_e \pm \frac{q}{10} \cdot 0.980665$ $\left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	P <sub>e</sub>	q	
$\rho_{H_2O}$	Densidad del agua*	$\rho_{H_2O} = 1000 \cdot \left[ \sum_{i=0}^3 R_{ij} \cdot (T - T_0)^i \cdot e_{ref} + 200 \cdot (T - T_0)^{-1} \right]$ $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$			
$\gamma_{H_2O}$	Peso específico del agua	$\gamma_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot g_L$ $\left[ \frac{N}{m^3} \right]$			$\rho_{H_2O}$ , g <sub>L</sub>
V <sub>e</sub>	Velocidad del agua a la entrada de la turbina	$V_e = \frac{Q_p}{A_e}$ $\left[ \frac{m}{s} \right]$		A <sub>e</sub>	Q <sub>p</sub>
V <sub>s</sub>	Velocidad del agua de salida de la turbina	$V_s = \frac{Q_p}{A_s}$ $\left[ \frac{m}{s} \right]$		A <sub>s</sub>	Q <sub>p</sub>
Z <sub>e</sub>	Nivel del embalse	$Z_e = s - J$ $\left[ \frac{msnm}{-} \right]$	J	s	
Z <sub>h</sub>	Nivel de desfogue	$Z_h = b - H$ $\left[ \frac{msnm}{-} \right]$	H	b	
S	Sumergencia de la turbina	$S = Z_d - Z_h$ $\left[ \frac{h}{-} \right]$		Z <sub>d</sub>	Z <sub>h</sub>
H <sub>p</sub>	Caída neta de prueba	$H_p = \frac{P_{ec} \cdot 1 \times 10^5}{\gamma_{H_2O}} + \frac{V_e^2 - V_s^2}{2 \cdot g_L} \pm s$ $\left[ \frac{h}{-} \right]$			P <sub>ec</sub> , $\gamma_{H_2O}$ , V <sub>e</sub> , V <sub>s</sub> , g <sub>L</sub> , S
P <sub>H</sub>	Potencia hidráulica	$P_H = \frac{Q_p \cdot \gamma_{H_2O} \cdot H_p}{1000}$ $\left[ \frac{W}{-} \right]$			Q <sub>p</sub> , $\gamma_{H_2O}$ , H <sub>p</sub>
$\eta_t$	Eficiencia de la turbina	$\eta_t = \frac{P_{tur}}{P_H} \cdot 100$ $\left[ \frac{\%}{-} \right]$			P <sub>tur</sub> , P <sub>H</sub>
Dif	Diferencia entre caída neta de prueba y referencia	$Dif = \frac{H_p - H_{ref}}{H_{ref}} \cdot 100$ $\left[ \frac{\%}{-} \right]$		H <sub>ref</sub> (H <sub>max</sub> , H <sub>in</sub> , H <sub>min</sub> )	H <sub>p</sub>
P <sub>turc</sub>	Potencia de la turbina corregida	$P_{turc} = P_{tur} \left( \frac{H_{ref}}{H_p} \right)^3$ $\left[ \frac{W}{-} \right]$		H <sub>ref</sub> (H <sub>max</sub> , H <sub>in</sub> , H <sub>min</sub> )	P <sub>tur</sub> , H <sub>p</sub>
Q <sub>c</sub>	Flujo turbinado corregido	$Q_c = Q_p \left( \frac{H_{ref}}{H_p} \right)^2$ $\left[ \frac{m^3}{s} \right]$		H <sub>ref</sub>	Q <sub>p</sub> , H <sub>p</sub>
CEP	Consumo específico de agua de prueba	$CEP = \frac{Q_{acustonic}}{P_{ge}} \cdot 3600$ $\left[ \frac{m^3}{kWh} \right]$	Q <sub>acustonic</sub> , P <sub>ge</sub>		
		$CEP = \frac{Q_p + Q_{aux}}{P_{ge}} \cdot 3600$ $\left[ \frac{m^3}{kWh} \right]$	P <sub>ge</sub>	Q <sub>aux</sub>	Q <sub>p</sub>
CEC	Consumo específico de agua corregido	$CEC = \frac{Q_c + Q_{aux}}{P_{ge}} \cdot 3600$ $\left[ \frac{m^3}{kWh} \right]$	P <sub>ge</sub>	Q <sub>aux</sub>	Q <sub>c</sub>

Tabla 3. Variables calculadas.



\*Los valores i, j, pabs, T, T<sub>0</sub> y R<sub>ij</sub>, para la determinación de la densidad del agua, se encuentran en la tabla 2.4.D página 9 del ASME PTC 18-2002.



Para el caso del cálculo de la densidad del agua, se está realizando mediante la fórmula que se encuentra en la norma 2.4.D el ASME PTC 18-2002

#### 6.6.2.5.4 Despliegue local de la información

El despliegue, actualmente, se realiza en una aplicación que se encuentra corriendo en el servidor que se tiene en las oficinas de la Central Hidroeléctrica; este despliegue está constituido por varias ventanas, como las que se muestran a continuación.



Figura 33. Pantalla de monitoreo – aplicación actual

El proyecto incluye la modificación del formato de presentación de los datos calculados, manteniendo el esquema de presentación de información actual, en base a indicadores numéricos, lógicos y gráficos; para con esto lograr que la información sea más clara y la navegación entre las diferentes ventanas se realice de forma más intuitiva y fácil para el operador.

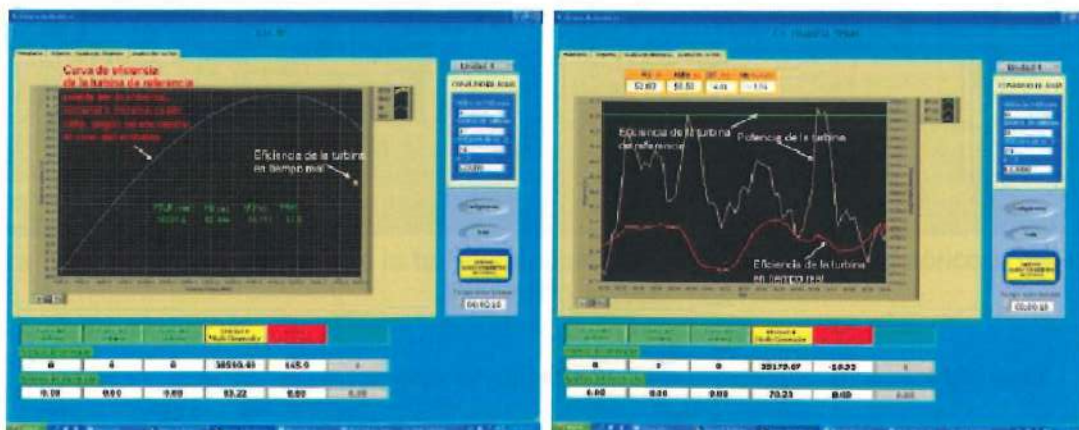


Figura 34. Gráficos de eficiencia (izquierda) y Pantalla de monitoreo (derecha)- Aplicación actual

#### 6.6.2.5.5. Almacenamiento

Por lo que se pudo investigar en la visita que se realizó a campo, así como de la información entregada por el cliente, las variables son almacenadas en la base de datos CITADEL, la cual se utiliza comúnmente en aplicaciones de *National Instruments* para almacenar datos en forma continua, sin que ellos se pierdan o puedan ser susceptibles a modificaciones.

Debido a que no se tiene más información respecto al diseño, tablas y configuración de la base de datos, se realizará un análisis de la constitución de dicha base de datos y se almacenará la información de acuerdo a las variables que se almacenan actualmente.

No se modificará ni actualizará la base de datos, para evitar que ocurran conflictos en la replicación de la información a la base de datos de las oficinas de la Ciudad de México; de esta forma, la actualización será transparente para el cliente.

#### 6.6.2.5.6. Reportes históricos

La generación de reportes históricos se realizará de la misma forma como está actualmente en el sistema, pero, con la posibilidad de ser exportados a plantillas de hoja de cálculo (Excel), las cuales cumplan con los formatos para presentación de la información. Para poder realizar esta funcionalidad, se debe de contar con un ejemplo de reporte, o bien, con los datos que se desea incluya el reporte.



Figura 35. Eficiencia histórica de la turbina (izquierda) y tabla de datos históricos (derecha) – Aplicación actual.



Se deberá de contar con un paquete para hojas de cálculo, como por ejemplo Microsoft Office para poder visualizar la exportación de los datos.

#### 6.6.2.5.7. Despliegue remoto de información

El despliegue remoto de la información se realiza mediante un servidor de red APACHE; el cual muestra la información en una página implementada bajo el lenguaje *PHP*; en esta página se pueden ver gráficos de eficiencia, consumo de agua, generar históricos, etc. Esta aplicación no será modificada ni actualizada.



Figura 36. Despliegue remoto de información - aplicación actual

### 6.6.3 Hardware

#### 6.6.3.1 Requerimientos

La instalación realizada por *Lees Lab S. A. de C. V.*, tiene los siguientes elementos:

- Gabinete IP65
- Energía en sitio de 115 [VAC]
- Interruptor termo-magnético de seguridad.
- Fuente de alimentación 24[V] @ 5 [A]
- Salida de sensores de 4-20 [mA]
- Cableado interno calibre 24 AWG, 4 hilos con malla.

#### 6.6.3.2 Diagramas de Bloques

La instalación actual de hardware, realizada por *Lees Lab S. A. de C. V.*, cuenta con el siguiente diseño y distribución:

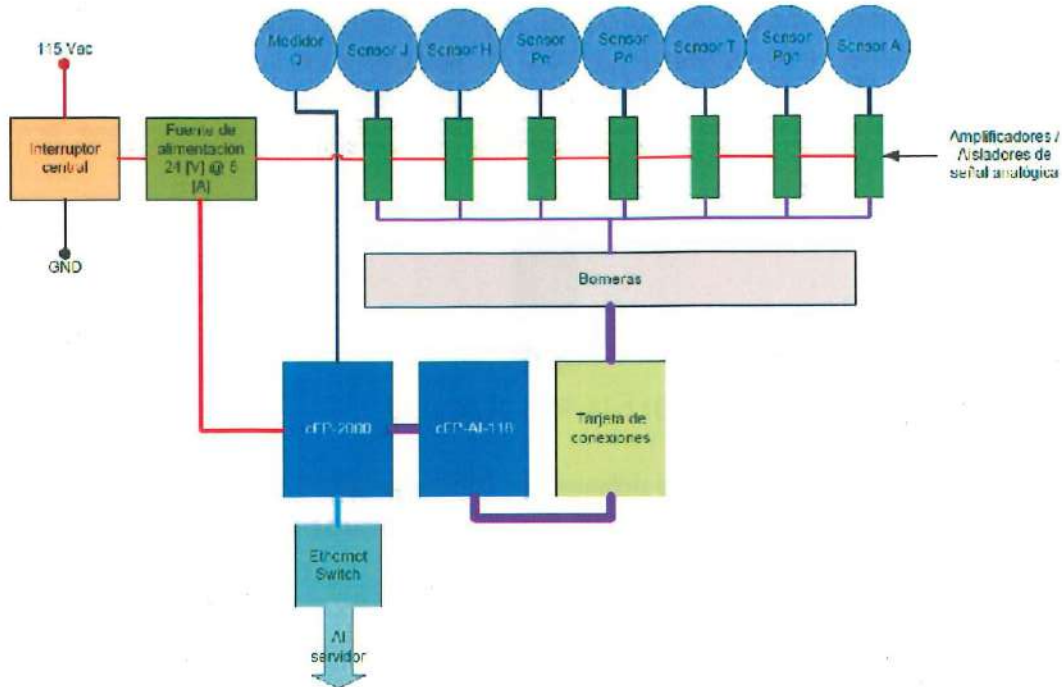


Figura 37. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo

### 6.6.3.3 Descripción funcional

A continuación se realiza una descripción de los componentes principales del hardware, que se encuentra instalado en campo.

#### 6.6.3.3.1. Adquisición de señales

Las señales se encuentran cableadas desde el instrumento hasta el panel de monitoreo central, constituido por amplificadores aisladores de señal del tipo *MCR-SL-1-1*; los cuales reciben señales analógicas y las aíslan de forma galvánica para evitar que haya interferencias y problemas con los acoplamientos de tierra.



Figura 38. MCR-SL-1-1.



Las señales del sensor de posición y de la potencia activa pasan a través de los amplificadores descritos anteriormente y posteriormente son enviadas al Compact FieldPoint, conectándolas a la tarjeta de conexiones del módulo cFP-AI-110. Las señales de los otros sensores se conectan directamente a la tarjeta de conexiones del mismo módulo.



Figura 39. cFP-AI-110.



**El Compact FieldPoint cFP-2000 únicamente tiene disponible un puerto de comunicaciones RS-232; por lo que, en el caso del instrumento de medición de flujo, esta es la única interfaz disponible para realizar las comunicaciones.**

#### 6.6.3.3.2. Procesamiento de datos

Para poder conocer el comportamiento del sistema de generación de energía, se requieren conocer 25 variables, algunas son las obtenidas con el sistema de adquisición de datos y otras a través de cálculos realizados utilizando estos datos, junto con las constantes propias del lugar donde se instalará el sistema.

Se realizará el procesamiento de información y cálculo de variables, utilizando la capacidad del procesador1 del Compact FieldPoint, el cual puede realizar operaciones de punto flotante con gran capacidad de almacenamiento para los datos; esta información se publicará en variables compartidas, las cuales serán leídas por la aplicación del panel central, la cual será la encargada de generar gráficos y de almacenar toda la información.



Figura 40. cFP-2000

#### 6.6.4. Firmware

A continuación se describe la aplicación de firmware desarrollada por la empresa Hidrónica para la actualización del sistema de monitoreo.



#### 6.6.4.1. Requerimientos

Se requiere de una aplicación que corra en tiempo real, capaz de realizar la adquisición de datos y cálculos; tal como se describe en la sección 2.4 de este documento; además de que publique vía red los resultados de las mediciones para que el centro de monitoreo pueda realizar la publicación y almacenamiento de los mismos.

#### 6.6.4.2. Diagramas de Flujo

A continuación se muestran los diagramas de flujo correspondientes a la función principal del *firmware* desarrollada para el proyecto.

##### 6.6.4.2.1. SIMOCH – cFP 1.vi

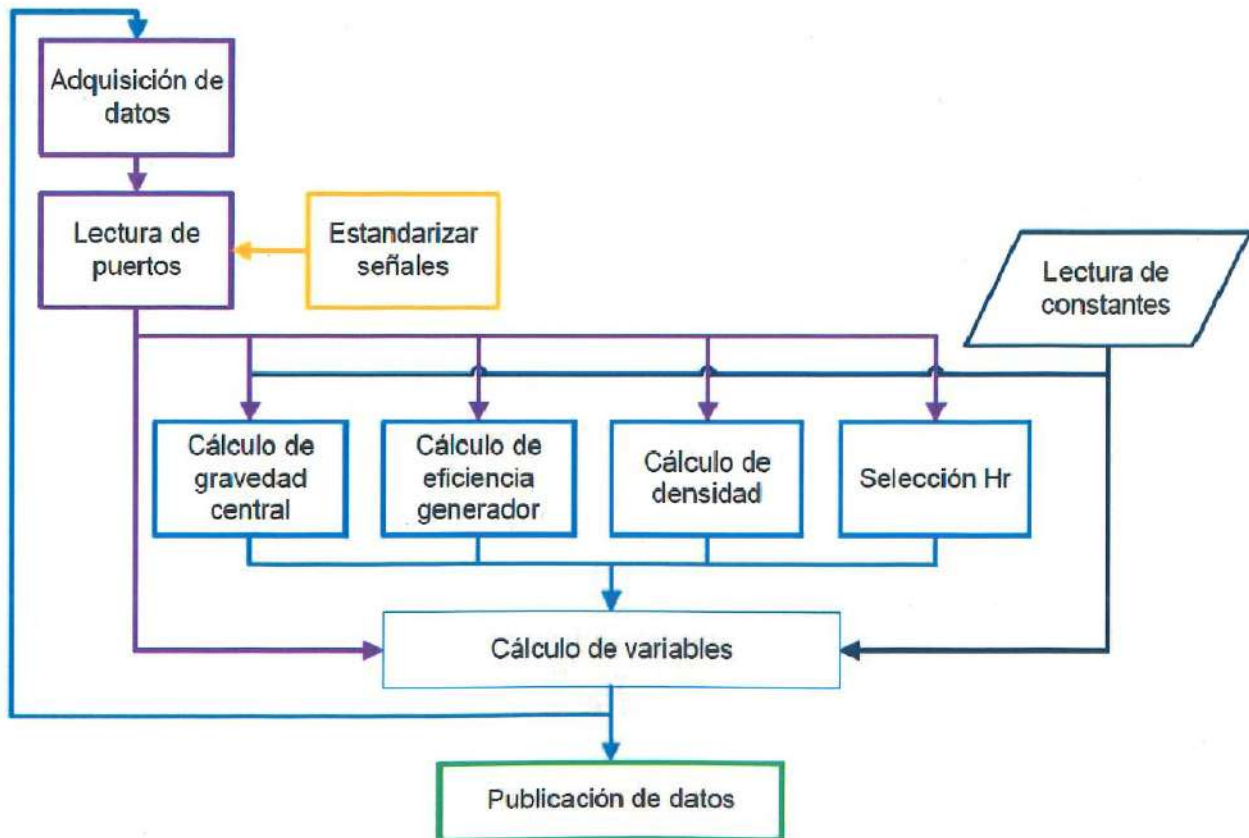


Figura 41. Diagrama de flujo de la función principal del firmware



#### 6.6.4.3 Descripción Funcional del Firmware

Para la actualización del firmware, Hidrónica desarrolló una aplicación que correrá de forma embebida, dentro del Compact FieldPoint instalado en campo; de esta forma, se busca utilizar al máximo los recursos disponibles para la implementación del sistema de monitoreo de la Central Hidroeléctrica.

El programa *SIMOCH – cFP 1.vi*, realiza la adquisición de los datos, mediante la función *lectura – puertos.vi*, a través de la cual se lee el puerto y se hace la linealización de la señal, de acuerdo a la escala y tipo de señal que están dados de alta en el sistema en la estación central.

Los valores medidos pasan a las funciones: *cálculo eficiencia generador.vi*, *calcula gravedad central.vi*, *densidad.vi* y *selección Hr.vi*; además de los cálculos que se realizan dentro de la función principal, los cuales siguen las operaciones que se encuentran dentro de la tabla 3.

Todos los datos numéricos se almacenan en variables tipo *double*, para tener mayor precisión en los valores, tanto que son calculados, como los registrados por los instrumentos de medición de campo. La publicación de los resultados se realiza mediante variables compartidas dentro del proyecto, escribiendo los resultados, los cuales son leídos en la estación central.

#### 6.6.5. Software



*A continuación se describe la aplicación de software desarrollada por la empresa Hidrónica para la actualización del sistema de monitoreo.*

##### 6.6.5.1. Requerimientos

Se requiere una aplicación, amigable con el usuario, la cual muestre los datos medidos y calculados de forma clara y concisa al usuario, cumpliendo con las necesidades del usuario, acercándose lo más posible a la aplicación con la que actualmente cuenta la central hidroeléctrica.



### 6.6.5.2. Diagramas De Flujo

A continuación se incluyen el diagrama de flujo de la función principal de la aplicación de la estación central de monitoreo.

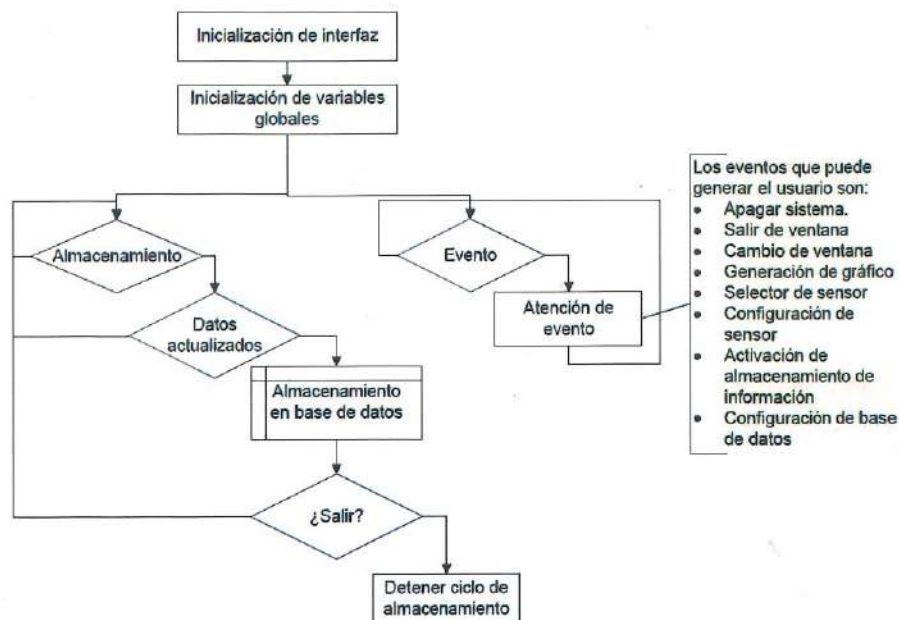


Figura 42. Diagrama de flujo de la función principal del software



La decisión mostrada como **¿Salir?** dentro del ciclo de almacenamiento, es generada por la atención de un evento del panel frontal, activado por el usuario.

### 6.6.5.3. Descripción funcional

Las primeras etapas de esta aplicación se refieren a la inicialización de las variables de despliegue de información, así como las variables globales del sistema de monitoreo; posteriormente se tienen dos ciclos tipo while que corren en paralelo, los cuales ejecutan el almacenamiento de información y la atención a los requerimientos del usuario.

Esta aplicación se comunica, a través de la red local de comunicación implementada para el sistema de monitoreo; actualizando los datos mediante conexiones tipo data binding, las cuales leen los datos directamente de las variables compartidas creadas para el proyecto.

#### 6.6.5.4. Ventanas/indicadores, interfaz usuario

A continuación se incluyen las pantallas principales, desarrolladas para la aplicación; se excluyen las ventanas de mensaje de usuario.

##### 6.6.5.4.1. barra de progreso

En esta pantalla se muestra una barra de progreso, la cual le indica al usuario el avance en las operaciones derivadas de los eventos generados. En la parte superior se encuentra el menú de opciones que se le presenta al usuario.

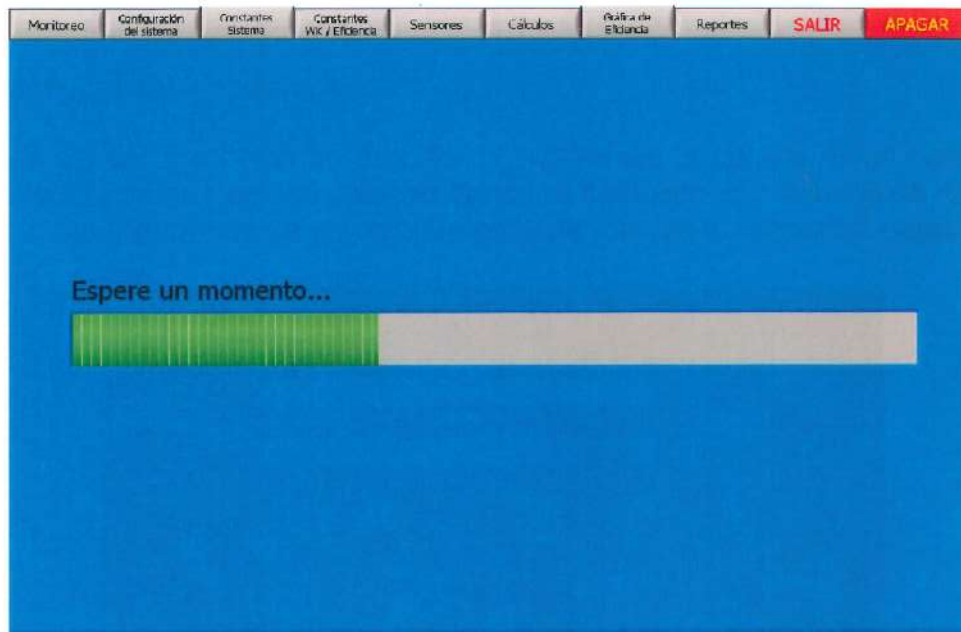


Figura 43. Pantalla de la barra de espera.

##### 6.6.5.4.1. Monitoreo.

En la pantalla de monitoreo se encuentran los indicadores numéricos y gráficos de las variables de los instrumentos de medición instalados en campo, estos datos se actualizan con los datos registrados por la aplicación del compact FieldPoint.

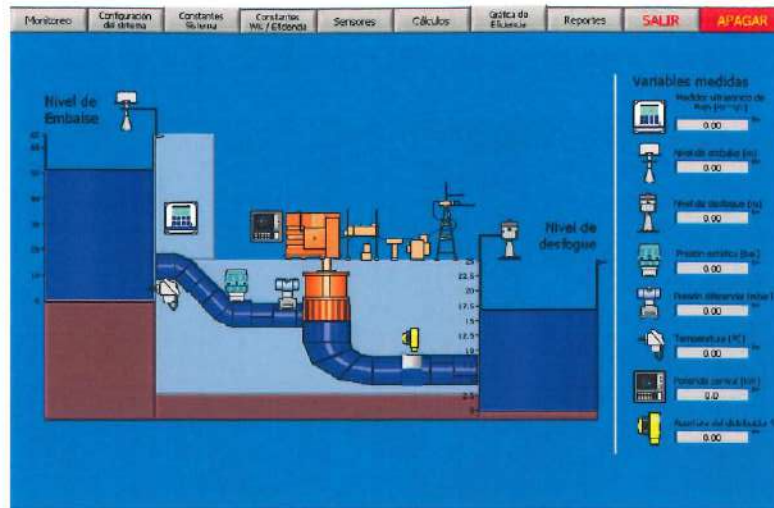


Figura 44. Pantalla monitoreo

#### 6.6.5.4.2. Configuración del sistema.

En la pantalla de configuración se dan de alta datos de la central, tales como nombre y ubicación, además de que se seleccionan tanto las conexiones a la base de datos como el directorio de respaldo, donde se guardarán los archivos con los reportes generados.

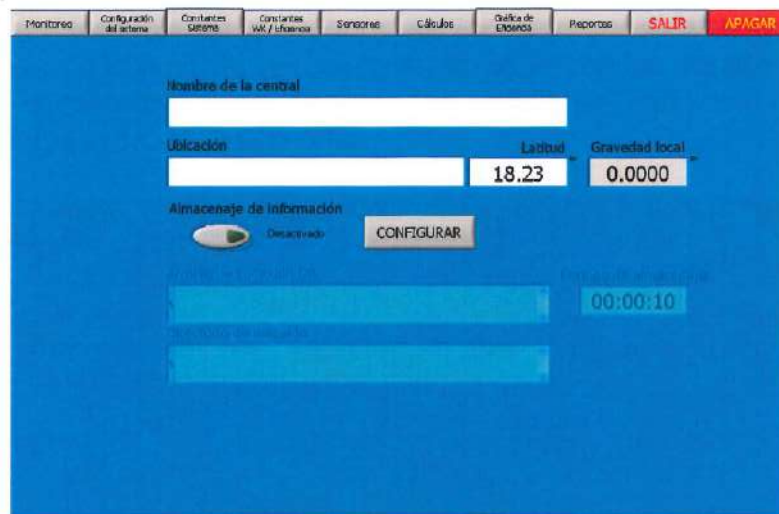


Figura 45. Pantalla de configuración del sistema

#### 6.6.5.4.3. Constantes del Sistema.

En la pantalla de constantes del sistema se ajustan los valores constantes, propios de la central, utilizados para realizar los cálculos propios de la aplicación; cuando el usuario modifica estos valores, automáticamente se actualizan las variables compartidas, a través



de las cuales la aplicación del compact FieldPoint realiza los cálculos. Esta pantalla provee ayuda visual al operador para identificar claramente a que se refiere cada constante.

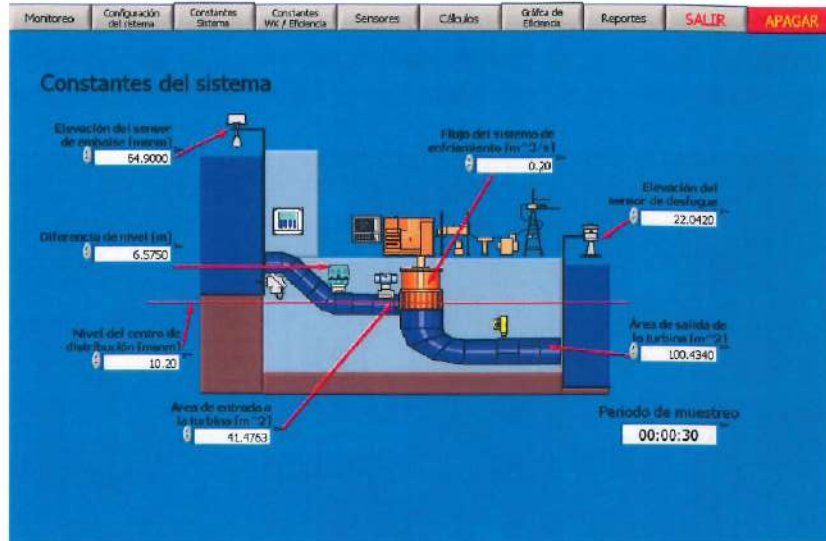


Figura 46. Pantalla de constantes del sistema

#### 6.6.5.4.4. Constantes W-K / eficiencia.

En esta pantalla, a diferencia de la anterior, se incluyen constantes que no se refieren a factores físicos, sino de diseño de los equipos, como lo son las constantes para el cálculo de flujo mediante el método Winter-Kenedy, las curvas de eficiencia de referencia de la turbina, su velocidad de diseño, entre otras.



Figura 47. Pantalla de constantes WK / Eficiencia

#### 6.6.5.4.5. Sensores.

En esta pantalla se muestra el ícono indicador de los sensores, tal como se encuentran identificados los mismos en la pantalla de monitoreo, así como la configuración actual del sensor; al hacer clic sobre el ícono se puede hacer la selección gráfica de los diferentes sensores, cada selección actualizará los datos de acuerdo a su configuración.

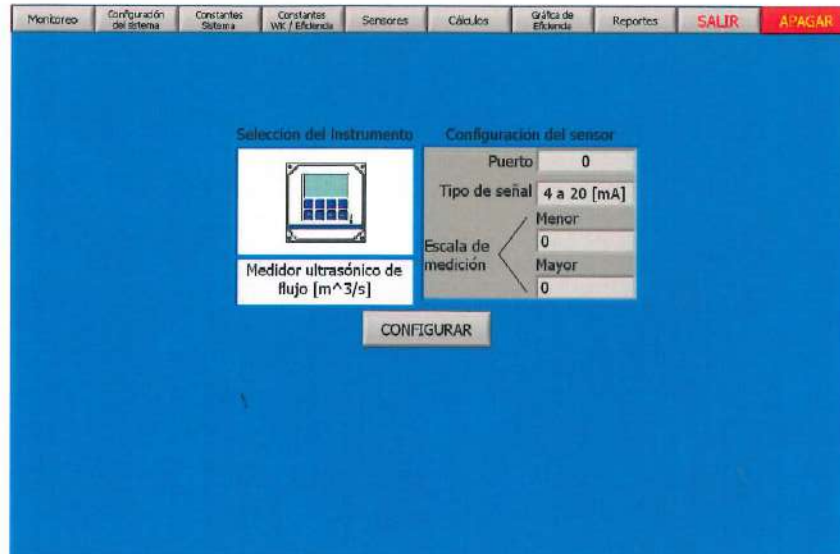


Figura 48. Pantalla de identificación y configuración de sensores.

Mediante el botón de configuración, se puede acceder a la ventana de configuración, donde el usuario puede ajustar los valores de acuerdo a los datos provenientes de la documentación propia de los sensores.

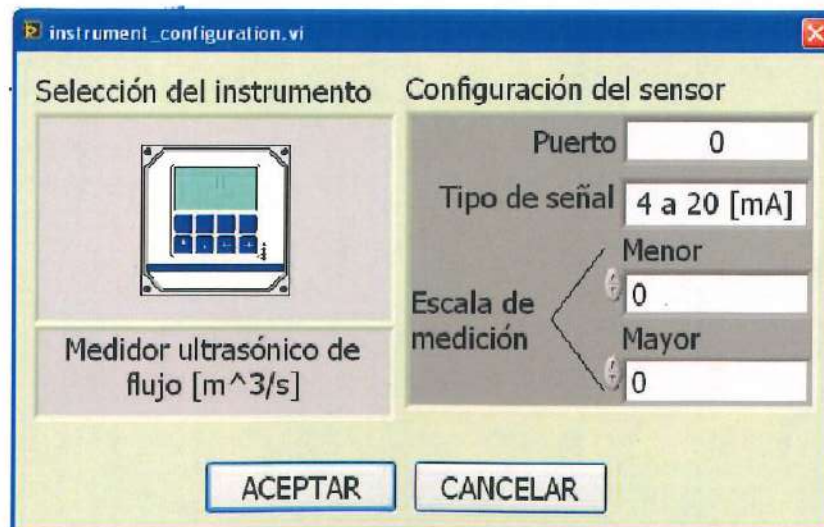


Figura 49. Pantalla de configuración de sensores.



#### 6.6.5.4.6 Cálculos.

En esta pantalla se muestran todas las variables que son calculadas por el sistema, la actualización de los datos depende de los cambios generados, tanto en las constantes, como en los valores medidos por los instrumentos y sensores; estas variables son actualizadas y almacenadas de forma automática, sin que el usuario tenga acceso a ellas para realizar modificaciones.

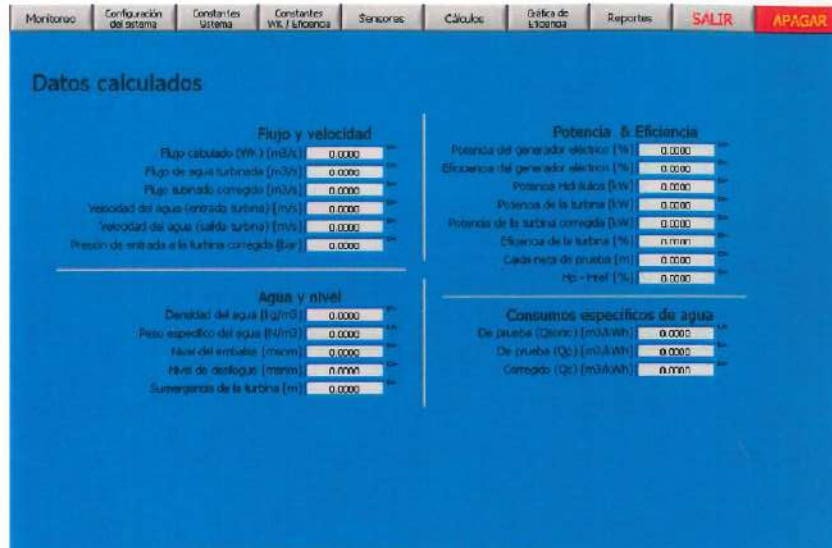


Figura 50. Pantalla de datos calculados.

#### 6.6.5.4.7. Gráfico de Eficiencia.

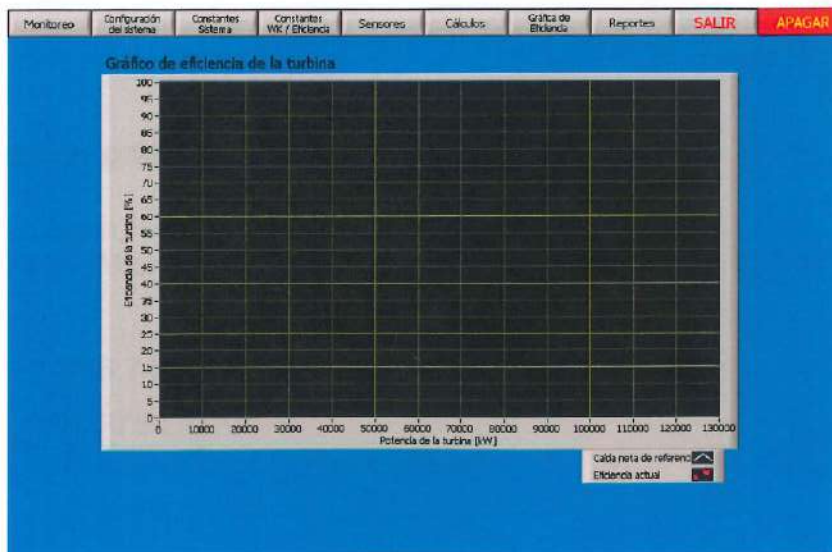


Figura 51. Gráfico de eficiencia.



Esta pantalla muestra la gráfica de Eficiencia de la turbina vs. Potencia de la turbina, la cual se actualiza dependiendo los últimos datos generados por el sistema; esta gráfica sirve para monitorear el estado de la turbina y su generación de energía.

#### 6.6.5.4.8 Gráfico de variables.

Esta pantalla muestra los datos graficados, seleccionados por el usuario a través del botón Configurar, donde se pueden seleccionar hasta cuatro diferentes variables para graficar su comportamiento a través del tiempo. De este gráfico de históricos, también pueden guardarse los datos en un archivo de hoja de cálculo, el cual puede utilizarse para reportes externos de la aplicación.

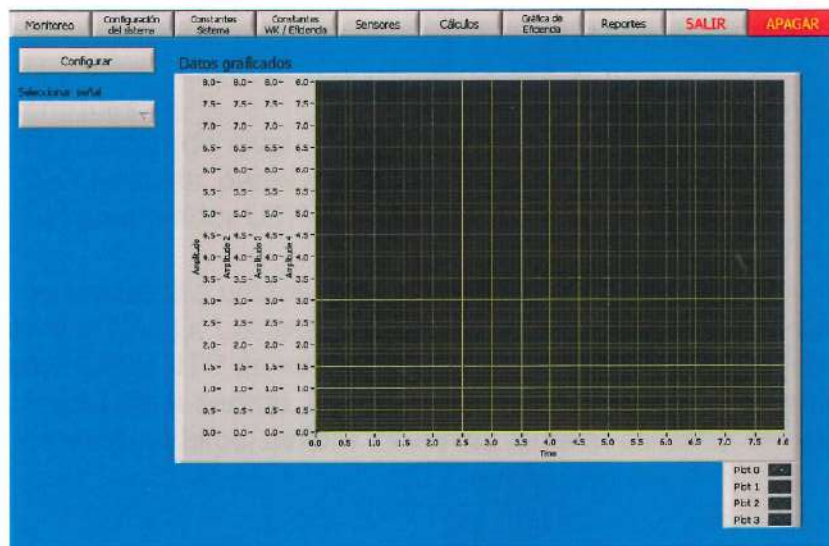


Figura 52. Gráfico de variables.

#### 6.6.6. Ubicación Geográfica

En la siguiente imagen, se puede ver la panorámica de la Central Hidroeléctrica La Villita en Lázaro Cárdenas, Michoacán; ubicada bajo las coordenadas geográficas:

- Latitud: 18° 2'46.74"N
- Longitud: 102° 10'58.17"O



Figura 53. Sensor de presión diferencial



Figura 54. Cableado interno de la Central Hidroeléctrica.

1. Oficinas Centrales
2. Ubicación del sensor de nivel
3. Ubicación de sensores, panel de monitoreo (piso generadores)
4. Ubicación del convertidor UTP-FO

Los puntos 1 y 4 se encuentra unidos mediante Fibra óptica, en cada punto se tiene un convertidor de señal UTP-FO. Los puntos 3 y 4 (5 pisos de distancia) se encuentran enlazados mediante cable UTP de red, no blindado, se encuentra tendido dentro de la estructura de cableado de la central. El enlace entre los puntos 2 y 3, probablemente, se realiza mediante cable de 4 hilos, calibre 24 AWG; igual al utilizado en las conexiones del panel.

## 7 CONCLUSIONES

La instalación de un sistema de medición conlleva una serie de actividades casi artesanales ya que cada instalación está hecha en función de las condiciones geométricas y/o imperantes de cada Obra Hidráulica.

Se llevaron a cabo actividades preliminares tales como: Planeación de la instalación cuyos resultados fueron la Ruta crítica y el diagrama de Gantt; diseño y planos de los elementos del sistema de sujeción, la fabricación de piezas especiales, diseño y renta del andamio, actividades preliminares en sitio: habilitación del acceso a través de la instalación de un malacate eléctrico y el desarrollo de la aplicación informática para incorporar las variables de medición del caudal turbinado al sistema de monitoreo local de la Central Hidroeléctrica.

Aunque los preparativos para la instalación estuvieron a punto, desafortunadamente la instalación no se completó por cuestiones imponderables como lo fueron las múltiples fugas en la compuerta, que impidieron el desagüe hasta un nivel adecuado de la zona en



donde se instalaría el sistema de medición (concreto) que permitiera trabajar libremente y que garantizara la seguridad personal de los trabajadores que ejecutarían la instalación.

Se hizo entrega a la Superintendencia de la Central Hidroeléctrica "La Villita" del sistema de medición del tipo ultrasónico que el IMTA adquirió para la Comisión Federal de Electricidad así como todos los elementos del sistema de sujeción.

Las actividades faltantes son la instalación física del sistema y la implementación del software desarrollado para incorporar las señales de medición del gasto turbinado al sistema de monitoreo local. Se espera que se concreten todas las gestiones necesarias para llevar a buen término este proyecto el año siguiente, previo acuerdo con las entidades correspondientes.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Endress & Hauser. *Manual de Medicion de Caudal* ISBN 3-9520220-5-5. E&H Flowtec AG, CH-1453 Reinach/BL, Barcelona, 2005. 464 pp.
- Crane. División de Ingeniería. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*, México, 1998. Ed. Mcgraw-Hill.
- Editorial Limusa (ed.) Sotelo A.G. *Fundamentos de Hidráulica General. Vol. 1.* 559 pp México, 1994.
- Project Management Instituto. *Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 3a. edición en español* ISBN 1-930699-73-5. USA, 2005.
- Gaceta oficial del Distrito Federal. *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas.* México, 2004.



## ANEXO A. DOCUMENTOS ADMINISTRATIVOS DEL PROYECTO

### A.1 Solicitud de Supervisión de Seguridad del IMTA.

Lázaro Cárdenas, Michoacán, a 29 de Octubre de 2009.

Ing. Roberto E. Vázquez Ortiz  
Superintendente de la Central Hidroeléctrica  
José María Morelos "La Villita"  
Presente

Por este medio el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través de su personal que llevará a cabo la instalación del sistema de medición de tipo ultrasónico en el conducto a presión que actualmente está en mantenimiento, solicita atentamente que personal de la Central a su cargo supervise las maniobras de instalación y seguridad del malacate eléctrico que será colocado en el vano de la compuerta de servicio para ascenso y descenso de personal, equipos y materiales, y la supervisión y seguridad de la instalación del equipo de medición en el conducto a presión. Esto con el fin de garantizar la seguridad de los trabajadores en todo momento, así como para cumplir con los requisitos de los procedimientos de seguridad personal, seguridad en espacios confinados, seguridad en los trabajos de altura, de la Central Hidroeléctrica.

Asimismo, solicitamos alimentación eléctrica de 220 V para el malacate, la grúa tipo HIAB para la elevación del mismo, la alimentación eléctrica en el conducto a presión y ataguías para el desagüe o achique en la zona a trabajar.

Agradeciendo de antemano su atención y colaboración, quedo de Usted.

Atentamente,  
  
M.I. Cecilia Millán Barrera  
Jefe de Proyecto

- C.c.p. Ing. Ramón Archila, Encargado de la Subgerencia de Operación de la Coordinación de Generación de la C.F.E.
- C.c.p. Ing. Hugo Salgado Bello, Superintendente del Depto. de Ingeniería Civil de la C.H. La Villita.
- C.c.p. Ing. Juan L. Cabrera Orozco, Superintendente del Depto. De Ingeniería Mecánica de la C.H. La Villita.

  
29/10/09

Recibi  
29.10.2009  


Recibi  
  
29/10/2009



## A.2 Minuta de trabajo relacionada con la continuidad de los trabajos de instalación del sistema de medición en la Central Hidroeléctrica "La Villita".

**Minuta de trabajo relacionada con los trabajos de instalación de un sistema de medición ultrasónico de tipo tiempo de tránsito en la tubería a presión No. 1 por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, solicitado por la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Subdirección de Generación.**

**Lugar, fecha y hora:** Oficinas administrativas de la C.H. La Villita, Michoacán.  
a 07 de noviembre de 2009 a las 14:00 horas.

**Motivo:** Comentar los resultados obtenidos del calafateo de la compuerta para decidir si son viables los trabajos de instalación del SMU en la tubería 1 de la C.H. La Villita.

### Actividades:

1. Los buzos entraron a calafatear la compuerta, los días 06 y 07 de noviembre reduciendo las fugas en forma significativa, sin embargo persiste un tirante de 2.0 m en la zona de concreto.

### Comentarios:

1. Se necesita tener una cubeta grande que se planea inducir mediante la colocación de una ataguía a 30 m. en la parte cercana a la compuerta, por lo tanto, no es viable bajar y armar andamios ni en la zona del vano de la compuerta o en la del tubo de aireación, ambas localizadas en la zona de concreto, por que estas zonas estarían inundadas en forma permanente por la acción de la ataguía.
2. El que la zona del vano de compuertas y del tubo de aireación siempre esté cubierta de agua, obliga a buscar una alternativa de acceso, misma que sólo puede ser el pozo de oscilación, lo anterior, modificaría toda la planeación de la instalación: longitud del cableado y del sistema de sujeción y protección del mismo, número de registros y localización de éstos, longitud del cableado digital (de la unidad electrónica hasta el cuarto de control). Físicamente se tienen 175 m de cable de señal por cada sensor, pero si se cambia el acceso, tanto para la instalación como la salida de cables, la longitud mínima necesaria es de 190 m.
3. Debido al alto nivel del embalse, la presión sobre la compuerta hace que se desprenda el calafate, por lo cual no se puede asegurar que la zona no se vuelva a inundar, ya que la zona de concreto es contigua a las compuertas de obra de toma y difícil de mantener con un tirante bajo. Si esto llegara a suceder una vez iniciados los trabajos, retrasaría dos o tres días el avance, este retraso no es posible amortiguarlo ni con más brigadas de trabajo, dado el poco tiempo que se tiene para llevar a cabo dicha instalación. Además de lento, el acceso al área de trabajo es de



**Minuta de trabajo relacionada con los trabajos de instalación de un sistema de medición ultrasónico de tipo tiempo de tránsito en la tubería a presión No. 1 por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, solicitado por la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Subdirección de Generación.**

alto riesgo lo que podría afectar a la integridad física del personal que se encuentre labrando en los alrededores de la compuerta.

4. La geometría del conducto a presión en campo difiera de la del proyecto ejecutivo, por tal motivo, la Central gestionará el levantamiento topográfico de la sección de concreto y en la sección de acerc de la tubería a presión.

**Conclusiones:**

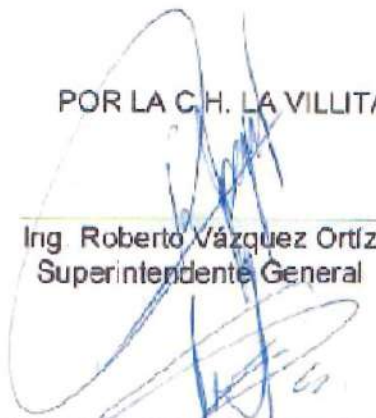
Debido a estos imponderables, los trabajos de instalación de un sistema de medición de tipo ultrasónico en el conducto a presión de las unidades No. 1 y No. 2, de la C. H. La Villita no es posible llevarlo a cabo en este periodo de mantenimiento. Es posible reprogramarlo para el año siguiente previa negociación con la Coordinación de Generación por parte del IMTA. Por parte de la Central, se gestionará en la negociación de metas programada para el mes de noviembre del año en curso.

**Cierre de la minuta:**

Leída la presente por los que en ella intervienen y habiendo sido aceptada en todos sus puntos, se firma de conformidad y al calce.

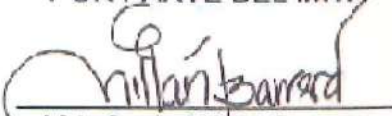
**FIRMAS**


POR LA C. H. LA VILLITA

  
Ing. Roberto Vázquez Ortiz  
Superintendente General

Ing. Hugo Salgado Solís  
Departamento de Ing. Civil

POR PARTE DEL IMTA

  
M.I. Cecilia Millán Barrera  
Jefe de Proyecto

  
M.I. Guillermo Reza Arzate  
Especialista en Hidráulica



### A.3. Minuta de trabajo relacionada con entrega de bienes a resguardo por parte del IMTA a la Central Hidroeléctrica "La Villita".

Minuta de trabajo relacionada con los trabajos de instalación de un sistema de medición ultrasónico de tipo tiempo de tránsito en la tubería a presión No. 1 por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, solicitado por la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Subdirección de Generación.

**Lugar, fecha y hora:** Oficinas administrativas de la C.H. La Villita, Michoacán, a 11 de noviembre de 2009 a las 12:00 horas.

**Motivo:** Traspaso de resguardo, los bienes propiedad de Comisión Federal de Electricidad (sistema de medición) así como los elementos del sistema de sujeción.

**Actividades:**

1. Se realiza la lista de bienes y la parte que recibe los verifica.

**Lista de bienes:**

1. Unidad electrónica del medidor marca Rittmeyer modelo Risonic 2000, junto con un módulo Riflex y un módulo Scada Pack.
2. 4 (8 sensores) pares de sensores de tipo ultrasónico de marca Rittmeyer, junto con 8 bases y tornillos para instalación.
3. 8 rollos de cable de señal de la marca Rittmeyer de 175 m de longitud cada uno.
4. Dos gabinetes NEMA 4X marca Himel, para alojar el cableado y para alojar la unidad electrónica.
5. 10 piezas de Ángulos de 1 1/2" protegidos con epóxico catalizado de alto espesor CFE-A27.
6. 28 piezas de ángulos de 2" protegidos con epóxico catalizado de alto espesor CFE-A27.
7. 12 piezas metálicas de media caña de 2 1/2", conformadas al diámetro de la obra de toma, protegidos con epóxico catalizado de alto espesor CFE-A27.
8. 3 Relevadores de esfuerzos con sus respectivas tapas, 1 dispositivo para salida de cableado con su tapa, todo, de acero inoxidable.
9. 23 tapas registro, 390 taquetes-arpón de 3 1/2" x 5/16" con tuerca y arandela de presión, 110 taquetes-arpón de 2 1/4" x 1/4", 20 taquetes-arpón de 3 1/2" x 1/4" con tuerca y arandela de presión, 100 rondana plana de 5/16", 100 rondanas planas de 1/4", 100 tuercas de 5/16", 100 tuercas de 1/4", de 8 varillas de 0.90 m y 35 abrazaderas, todo, de acero inoxidable.
10. 20 tramos de Tubería conduit de 3/4" de 3 m de longitud con codos coples y 1 pieza de riel eléctrico.

**Conclusiones:**

Se traspasa el resguardo la lista anterior de estos bienes a la Central. El sistema de medición fue adquirido por el IMTA para la Comisión Federal de



**Minuta de trabajo relacionada con los trabajos de instalación de un sistema de medición ultrasónico de tipo tiempo de tránsito en la tubería a presión No. 1 por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, solicitado por la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Subdirección de Generación.**

Electricidad y se hace entrega del mismo a esta Central. Asimismo, dado que este equipo es delicado y costoso, se recomienda que se guarde en un sitio con más seguridad y libre de polvo, al igual que el sistema de sujeción compuestos por ángulos y medias cañas. Actualmente se deja en la caseta de control de la obra de toma No.1.

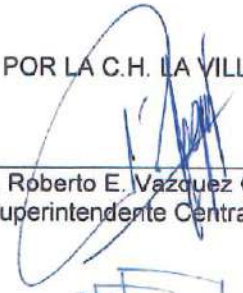
Asimismo se solicita el apoyo de la Central para cargar el andamio en dos camiones de 3 ½ Toneladas que el IMTA rentará. No hay disponibilidad de unidades en este momento, de lo contrario se cargaría antes de que el IMTA se retire de la Central. El IMTA avisará a la Superintendencia de la Central, así como a sus Departamentos Civil y Mecánico, la fecha exacta en que se requeriría el apoyo solicitado.

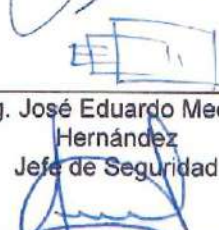
**Cierre de la minuta:**

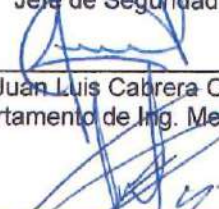
Leída la presente por los que en ella intervienen y habiendo sido aceptada en todos sus puntos, se firma de conformidad y al calce.

**FIRMAS**

POR LA C.H. LA VILLITA

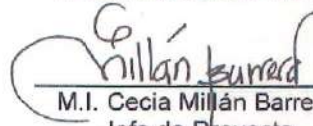
  
Ing. Roberto E. Vázquez Ortiz  
Superintendente Central I


  
Ing. José Eduardo Medina  
Hernández  
Jefe de Seguridad

  
Ing. Juan Luis Cabrera Orozco  
Departamento de Ing. Mecánico

  
Ing. Hugo A. Salgado Solís  
Departamento de Ing. Civil

POR PARTE DEL IMTA

  
M.I. Cecilia Millán Barrera  
Jefe de Proyecto

  
M.I. Guillermo Reza Arzate  
Especialista en Hidráulica



**IMTA**  
Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua

Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

#### A.4 Acta de Entrega oficial del Sistema de medición adquirido por el IMTA para la Comisión Federal de Electricidad.



Acta administrativa que se formula para hacer constar la formalización de la entrega-recepción de equipo de medición (ver anexo 1) por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con el propósito de dar cumplimiento al convenio de colaboración 800413889 con el objeto de "Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual Sistema de Monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita".

Lugar y fecha: Previa lectura y con pleno conocimiento de su contenido, la presente acta se extiende por triplicado que de conformidad suscriben las partes en la Cd. de Lázaro Cárdenas, Michoacán, el día 11 de diciembre de 2009, conservando un ejemplar cada una de ellas.

Intervienen: Por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el Dr. Nahún Hamed García Villanueva Coordinador de Hidráulica, el Dr. Ariosto Aguilar Chávez, Subcoordinador de Hidráulica Ambiental; por parte de la Comisión Federal de Electricidad, el Ing. Roberto E. Vázquez Ortiz, Superintendente de la Central.

##### Declaraciones

El Dr. Nahún Hamed García Villanueva Coordinador de Hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, declara que con fecha 12 de marzo de 2009, se firmó en la Ciudad de México, Distrito Federal un convenio de colaboración con el objeto de "Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual Sistema de Monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita" (anexo 2).

Que de conformidad con lo descrito en el Anexo Técnico, del convenio de colaboración entre la CFE y el IMTA, específicamente en el apartado de Resultados esperados: Suministro de un sistema de medición de tipo ultrasónico de 4 pares, en el que se especifica que el equipo de medición a adquirir es propiedad de la Coordinación de Generación Hidroeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad. Para efectos de que sea instalado, se entrega el equipo de Medición Ultrasónico de tiempo de travesía, con cuatro pares sensores de velocidad de tipo intrusivo que incluye unidad electrónica y cables de señal a la Comisión Federal de Electricidad, mismos que se detallan en el anexo 1.

Que de conformidad al numeral cinco del apartado 7 "Desarrollo de los lineamientos" del Lineamiento para el control y entrega de bienes muebles nuevos a los clientes del IMTA, se firmó el acuerdo número 40 de fecha 17 de noviembre de 2008, con el Director General del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con el que se autoriza la entrega de los equipos de medición adquiridos por el Instituto para ser entregado a la Comisión Federal de Electricidad (anexo 5).

Que de conformidad al numeral seis del apartado 7 "Desarrollo de los lineamientos" del Lineamiento para el control y entrega de bienes muebles nuevos a los clientes del IMTA, la M.I. Cecilia Millán Barrera, Jefe de proyecto, entregó el equipo de Medición Ultrasónico, mediante recibo de conformidad de fecha 11 de noviembre de 2009, al Ing. Roberto E. Vázquez Ortiz, Superintendente de la Central Hidroeléctrica "La Villita" (anexo 4).



**IMTA**  
Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua

Suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio de medidor de flujo por ultrasonido e integración al actual sistema de monitoreo en la Central Hidroeléctrica La Villita.



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT



Instituto Mexicano de  
Tecnología del Agua



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES


SEMARNAT


----- Anexos -----

- Anexo 1. Relación de bienes a entregar a la Comisión Federal de Electricidad -----
- anexo 2. Copia del Convenio 800413889 entre la Comisión Federal de Electricidad y el IMTA (proyecto HC-0917.3)-----
- anexo 3. Copia del Anexo Técnico del Convenio específico de colaboración: 800413889 entre la Comisión Federal de Electricidad y el IMTA (proyecto HC-0917.3)-----
- anexo 4. Copia del recibo de conformidad de los bienes-----
- anexo 5. Copia del acuerdo del Director General del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-----

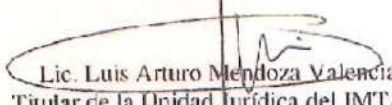
Cierre del acta: Se procedió a leer el acta y habiendo sido aceptada en todos sus puntos, por los que en ella intervienen, firman de conformidad al margen y al calce para su constancia y trámite correspondiente siendo las 12:00 horas del día 11 de diciembre de 2009.-----

Por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

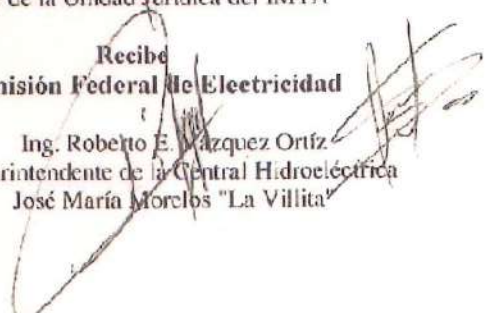
  
Dr. Nahán Hamed García Villanueva  
Coordinador de Hidráulica

  
Dr. Ariosto Aguilar Chávez  
Subcoordinador de Hidráulica Ambiental

Vn. Bo.

  
Lic. Luis Arturo Mendoza Valencia  
Titular de la Unidad Jurídica del IMTA

Recibe  
Comisión Federal de Electricidad

  
Ing. Roberto E. Vázquez Ortiz  
Superintendente de la Central Hidroeléctrica  
José María Morelos "La Villita"