

Sistemas de Medición de Combustible en las Centrales Termoeléctricas del Ecuador

C. del Hierro

R. Sánchez

M. Farinango

Corporación Centro Nacional de Control de Energía - CENACE

Resumen - Este Trabajo describe el alcance del proyecto de implementación del “Sistema de Gestión y Control de uso de Combustibles en el Sector Eléctrico” (SICOMB) que está desarrollando el CENACE.

Se presenta el resumen de la elaboración de las especificaciones de ingeniería básica para los sistemas de medición estáticos y dinámicos de combustible en las centrales termoeléctricas del país y la utilización de normas internacionales de medición de combustible.

Se pretende familiarizar a los profesionales del sector eléctrico con los sistemas de manejo de combustible, que abastecen a las centrales termoeléctricas, las limitaciones de medición existentes, así como la oportunidad de mejora que existe en este ámbito en el país.

Finalmente, se recalca la importancia de disponer sistemas de medición de combustible adecuados para obtener en tiempo real el stock de combustible en el país, a fin de mejorar los procesos de planificación operativa, despacho y facturación de combustible.

Palabras clave - Gestión, Control, Incertidumbre, Volumen Bruto, Volumen Neto, Condiciones Estándar, variables de proceso, Sistema de Medición Estático, Sistemas de Medición Dinámico, Normas Internacionales, API, Transferencia de custodia, Plot Plant, P&ID, Isométrico, Caidas de Presión.

1. INTRODUCCIÓN

Como parte del Plan de Soberanía Energética que busca realizar el control y auditoría del combustible subsidiado por el Estado, CENACE ha sido delegado como responsable de la implementación del “Sistema de Gestión y Control de Uso de Combustibles en el Sector Eléctrico”, la cobertura de este Proyecto incluye las empresas termoeléctricas estatales y privadas y tiene 3 etapas importantes que son:

- 1) Definición de las especificaciones técnicas para la medición de las señales del proceso asociadas a la gestión y control de combustibles de las centrales termoeléctricas del Sistema Nacional Interconectado.
- 2) Implementación del sistema de medición local en las centrales termoeléctricas del país para el correspondiente envío de estas señales en tiempo real a CENACE.
- 3) Desarrollo de un sistema de información de combustibles en CENACE que permita la integración de la información de combustibles enviada por las centrales termoeléctricas; el procesamiento de esta información y la correspondiente difusión a los siguientes organismos: EP PETROECUADOR, Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), Ministerio de Recursos no Renovables, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos, CONELEC.

Las etapas I y III son responsabilidad directa del CENACE y presentan un alto nivel de avance. Este artículo se referirá principalmente a la etapa I de este proyecto, la cual ha sido finalizada para todas las centrales térmicas del país.

Para la implementación de los sistemas de medición se requiere la elaboración de la ingeniería conceptual básica y de detalle donde se define el proceso de manejo de combustibles, las especificaciones técnicas de la instrumentación asociada a los sistemas de medición, los estándares de seguridad física y medioambiental, los métodos de montaje de la instrumentación, el cableado y la arquitectura de comunicación.

Los diseños de ingeniería básica realizados en este proyecto contemplan las recomendaciones de instituciones internacionales como la ANSI, IEEE, API, ISA, NEMA, ASTM, IEC, UL, ISO, NEC y OILM.



Figura 1: Logotipos de las normas aplicadas

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO “SISTEMA DE GESTIÓN Y CONTROL DE COMBUSTIBLES”

El objetivo general es disponer un sistema de información centralizado que contenga las mediciones de combustible subsidiado que reciben las centrales termoeléctricas para generación eléctrica, las mediciones del combustible consumido por cada unidad de generación y las mediciones de stock existente en cada central.

Los objetivos específicos son:

- Implementación de sistemas de medición de combustible en cada una de las centrales termoeléctricas del Ecuador. (Fig. 2).

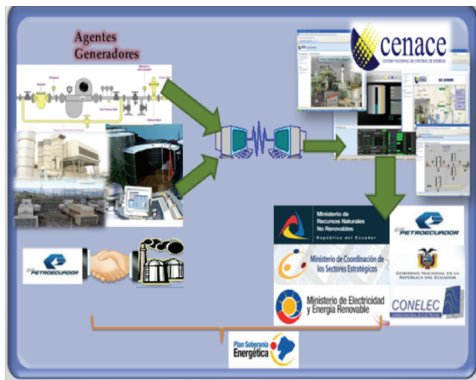


Figura 2: Proyecto SICOMB

- Medición de pérdidas de combustible subsidiado para generación eléctrica mediante la comparación entre las mediciones de combustible recibido y el combustible consumido por las unidades de generación.
- Medición de rendimientos de las unidades termoeléctricas de generación, en base a las mediciones de combustible consumido y la energía generada.
- Disminución de la incertidumbre en

la planificación en lo concerniente al requerimiento de combustible para cubrir la demanda eléctrica del país.

- Disminución de recursos de tiempo y personal para recepción de combustibles en cada central termoeléctrica.
- Asegurar la disponibilidad de combustible en los tanques de almacenamiento para evitar el déficit de combustible para generación térmica.

3. BENEFICIOS DEL “SISTEMA DE GESTIÓN Y CONTROL DE COMBUSTIBLES”

La Tabla 1 muestra los beneficios cuantificables, al implementar el sistema de gestión y control de uso de combustibles para el sector eléctrico.

Tabla 1: Beneficios cuantificables

BENEFICIOS	USD / AÑO
Optimización de la planificación operativa por disponibilidad de mediciones en tiempo real de stock de combustible en cada una de las centrales termoeléctricas.	\$1.352.754
Disminución de pérdidas de combustible en el proceso de generación térmica	\$1.352.754
Disminución de pérdidas por mayor exactitud en mediciones de combustible	\$4.063.286
Optimización de recursos de tiempo y personal para recepción de combustible	\$230.400
Optimización de los rendimientos de las unidades termoeléctricas	\$338.189
Total	\$7.337.383

Adicionalmente se identifican los siguientes beneficios intangibles:

- Cumplimiento del objetivo principal del Plan de Soberanía Energética que es garantizar el buen uso de los combustibles.
- Optimizar los procesos de registro y facturación de los combustibles.
- Generación de fuentes de trabajo, porque se requieren al menos 320 empleados durante la implementación del sistema y 48 empleados para la operación del mismo.
- Disponibilidad de información estratégica de stock de combustible para asegurar disponibilidad de combustible para generación térmica y evitar racionamiento.
- Disponibilidad de información estratégica de stock de combustible que permita planificar la adquisición del mismo con anticipación, evitando sobrecostos.

- Mejor control en los procesos de recepción y consumo de combustibles en las centrales termoeléctricas.
- Modernización de los equipamientos de medición de las centrales termoeléctricas.
- Capacitación especializada en el manejo de equipos de medición de combustible para el personal que opera las centrales termoeléctricas.

4. VOCABULARIO EN LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLES

4.1. Transacciones Comerciales

Cuando la propiedad del combustible, es transferido de una compañía a otra se da una transacción comercial. Los sistemas de medición sirven como una “caja registradora” y/o “balanza” en este intercambio.

4.2. Transferencia de Custodia

Es el hecho a través del cual se traslada a otra área o a un tercero el cuidado y conservación del hidrocarburo derivada de la entrega y recibo entre áreas o la entrega y recibo a terceros ya sea en título de tenencia o propiedad.

4.3. Incertidumbre de la Medición

Parámetro asociado al resultado de la medición que caracteriza la dispersión de los valores medidos que pudieran ser atribuidos a la magnitud de la medida [1].

4.4. Sistema de Medición

Conjunto de instrumentos de medición y otros dispositivos que interactúan para realizar las mediciones específicas de hidrocarburos.

4.5. Medición Estática

Método para medir el volumen bruto (GSV) almacenado en tanques utilizando sistemas manuales o automáticos como: Telemetría, radar sónico, electro prospectivo, gravimetría etc. [2].

Los equipos componentes de sistemas de medición estática automática son: Medidor de Nivel, sonda multipunto de sensores de temperatura, y sensor de nivel de agua libre al fondo del tanque (véase Fig. 3). De acuerdo a [3], [8], [17], [18].

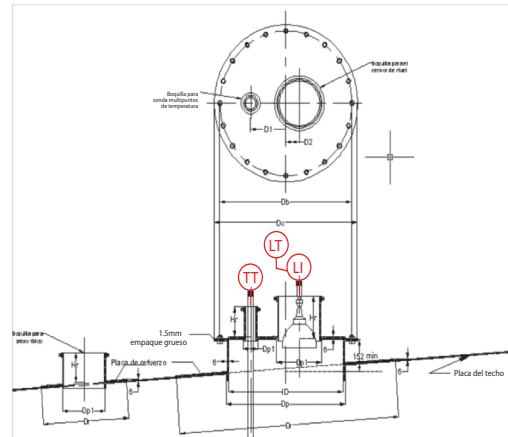


Figura 3: Típico de montaje Sistema de Medición Estática

4.6. Medición Dinámica

Método para medir el volumen bruto (GSV) transferido entre tanques utilizando equipos de medición con movimiento alternativo o rotatorio [4], [5], [6], [7]. Y mediante un computador de flujo, obtener el volumen neto (NSV), según lo indicado en [13].

Los equipos del sistema de medición dinámica son: Válvulas de corte tie-ins, filtro, indicador de presión diferencial, elemento medidor de flujo, transmisor de flujo, transmisor de temperatura, indicador de temperatura, termo pozo, para calibración, transmisor de presión, indicador de presión, válvula de doble sello y purga, válvula de expansión térmica, facilidades para la conexión de un probador, válvula anti retorno (véase Fig. 4).

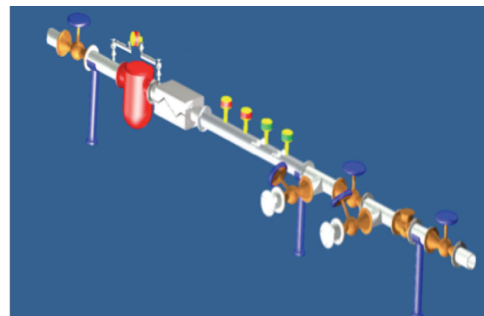


Figura 4: Típico de montaje Sistema de Medición Dinámico

4.7. Medición de Calidad del Combustible

Las mediciones de calidad son aquellas referentes al conjunto de características físico - químicas inherentes al hidrocarburo y que cumplen con los requisitos especificados por el cliente o por la organización.

4.8. Liquidación de Hidrocarburos

Es un procedimiento estándar normativo en el cual se emplea la medición de cantidad y calidad para obtener un volumen neto a Condiciones Estándar (NSV) de cualquier producto o hidrocarburo es decir volumen de combustible calculado a 60 °F y 0 PSIG. Este procedimiento está referido en [9] y [10].

5. ELABORACIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA CADA TERMOELÉCTRICA

La elaboración de la ingeniería básica o especificaciones técnicas de los sistemas de medición local de combustibles entregadas por CENACE a cada una de las centrales de generación define una solución de sistemas de medición de combustible con las especificaciones técnicas mínimas de los sistemas de medición, y además una arquitectura de comunicación que permitirá realizar tele medición dinámica y estática de combustible y transmitirlos al CENACE.

La ingeniería básica está compuesta por los siguientes documentos:

- Situación Actual
- Criterios de Diseño
- Solución Propuesta
- Especificaciones Generales
- Hojas de Datos
- Planos
 - ♦ Isométrico Levantado
 - ♦ P&ID Diseñado (Piping & identification)
 - ♦ Plot Plant Diseñado
 - ♦ Típicos de montaje
 - ♦ Simbología
- Presupuesto referencial
- Cronograma de ejecución
- Recomendaciones Prácticas
- Anexos, cálculo de caídas de presión en el sistema de combustible de la central.

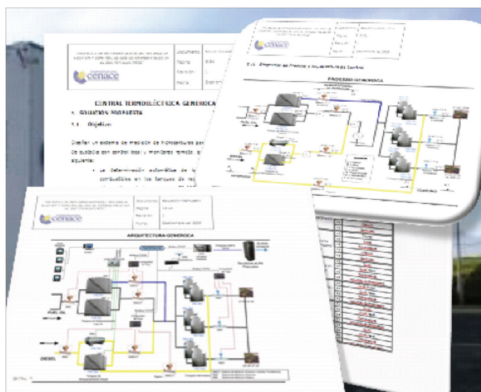


Figura 5: Documentos de Ingeniería Básica

Cada diseño corresponde al análisis de proceso de manejo y uso de combustibles en cada una de las centrales, y al estado actual del proceso.

La ingeniería realizada para cada termoeléctrica se ajusta dependiendo del tipo de combustible utilizado en la central, los hidrocarburos usados son:

- Fuel Oil 4 y 6
- Diesel 2
- Nafta
- Crudo Reducido
- Gas Metano

La Tabla 2 muestra las centrales termoeléctricas donde se realizó la ingeniería básica.

Tabla 2: Centrales Térmicas donde se realizaron los Estudios de Ingeniería básica

EMPRESA TERMOELÉCTRICA	CENTRAL TÉRMICA
CELEC TERMOPICHINCHA	SANTA ROSA
	GUANGOPOLO
	LA PROPICIA
	MIRAFLORES
CELEC TERMOESMERALDAS	ESMERALDAS
CELEC ELECTROGUAYAS	GONZALO ZEVALLOS
	TRINITARIA
	ENRIQUE GARCÍA
	PASCUALES II
EE QUITO	GUALBERTO HERNÁNDEZ
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	ANÍBAL SANTOS
	ÁLVARO TINAJERO
E.E. AMBATO	LLIGUA
E.E. RIOBAMBA	RIOBAMBA
ELECAUSTRO	EL DESCANSO
E.E. REGIONAL SUR	CATAMAYO
KEPPEL	TERMOGUAYAS GENERATION
GENEROCA	GENEROCA
INTERVISATRADE	VICTORIA II
LAFARGE CEMENTOS	LA FARGE
MACHALA POWER	MACHALA POWER

En la Fig. 6 se muestra un ejemplo de la solución de los sistemas de medición propuesta de la central CELEC Dr. Enrique García, su solución de arquitectura de comunicación se muestra en la Fig. 7.

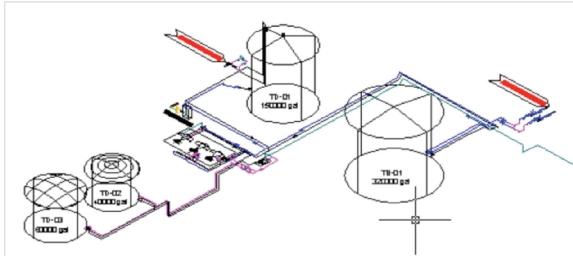


Figura 9: Plano Isométrico de tubería de combustible levantado en campo

5.1.4. Diseño

Se utilizan como herramientas de diseño:

- Las recomendaciones de normativa internacional de instituciones como API MPMS, NEC, ANSI, ASME etc.
- Software dedicado para cálculos de parámetros específicos de la mecánica de fluidos, para garantizar la fluidez del combustible en los procesos (Fig. 10).
- El resumen de variables de proceso para especificar los equipos relacionados a los sistemas de medición estáticos y dinámicos.

Fluid Data		Natural Gas Orifice Data		Mar-22-2010
Specific Gravity	Gas = 0.5700	Tapping	= Flange	
Flowrate (Volume)	= 1347814.0 Scf/hr	Orifice material	= Stainless (300-Series)	
Daily Flowrate	= 3.325E+07 Scf/day	Pipe material	= Carbon steel	
Flowrate (Mass)	= 16.359 lbm/s	Pipe Diameter (ID)	= 7.625 in	
Upstream Orifice Pressure	= 384.70 Psia	Pipe-ID Temp-corrected	= 7.626 in	
Differential Pressure	= 199.0 in H2O	Pipe-Reynolds number	= 3985583.0	
Operation Temperature	= 100.5 °F	Discharge Coefficient	= 0.6034	
Viscosity	= 0.0122 cP	K-factor (Q=K Sqrt(dp P/T))	= 117560.400	
Molecular Weight	= 16.509 lbm/mole	Velocity of Approach Factor	= 1.0492	
Compressibility Factor	= 0.9594	Flow Coefficient Alpha	= 0.6331	
Gas Density	= 1.1012 lbm/ft3	Expansion Factor	= 0.9945	
Specific Heat-ratio (Cp/Cv)	= 1.2903 @ T, Std.P	Beta ratio	= 0.5501	
Real Isentropic Coefficient	= 1.3106 @ T and P	Orifice diameter @ Temp	= 4.195 in	
(Used in the program instead of Cp/Cv)		Orifice diameter @ 68°F	= 4.194 in	
		Orifice diameter @ 68°F	= 106.521 mm	

Figura 10: Resultados Software ISO 5167, Cálculo de Flujo de Gas Natural Metano y Tecnología Placa Orificio

Posterior al diseño, se selecciona el modelo de sistema a implementar y de esta manera, elaborar las correspondientes hojas de datos de los instrumentos asociados de acuerdo a las recomendaciones de la norma ISA [19]. Todos los diseños se deben implementar siguiendo las recomendaciones de clasificación de áreas peligrosas indicada en [15] y [16].

Finalmente definida la instrumentación a instalar y el modelo de sistema de medición, se elabora un presupuesto referencial el cual deberá ser ajustado con la ingeniería de detalle.

Esta información es presentada en su totalidad en la carpeta de ingeniería básica a cada una de las centrales termoeléctricas.

6. IMPORTANCIA DE IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLES

La incertidumbre en la medición está definida como el resultado que caracteriza la dispersión de valores que podrían ser atribuidos al valor medido.

Las fuentes de incertidumbre y error en la medición pueden venir de:

- El instrumento de medición.
- El objeto a ser medido.
- El proceso de medición.
- Incertidumbres “importadas”, por calibración.
- Habilidad del operador.
- Muestreo adecuado.
- Condiciones ambientales.

En la Fig. 11 se muestra en color rojo el impacto económico que representa una medición con una alta incertidumbre, mientras que en color verde el impacto económico para mediciones con menor incertidumbre.

IMPACTO FINANCIERO DE LA INCERTIDUMBRE AL AÑO (DÓLARES AMERICANOS)						
PRECIO POR GALÓN	MEDICIÓN DINÁMICA CUMPLIENDO ESTÁNDARES		MEDICIÓN ESTÁTICA CUMPLIENDO ESTÁNDARES		NO CUMPLE ESTÁNDARES	
	CORIOLIS		TELEMETRÍA		MEDICIÓN SIN ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	
\$ 1,00						
PRECISIÓN	± 0,1%	± 0,2%	± 1,2%	± 1,3%	± 2,0%	± 3,0%
10.000	\$ 3.650	\$ 7.300	\$ 43.800	\$ 47.450	\$ 73.000	\$ 109.500
50.000	\$ 18.250	\$ 36.500	\$ 219.000	\$ 237.250	\$ 365.000	\$ 547.500
100.000	\$ 36.500	\$ 73.000	\$ 438.000	\$ 474.500	\$ 730.000	\$ 1.095.000
300.000	\$ 109.500	\$ 219.000	\$ 1.314.000	\$ 1.423.500	\$ 2.190.000	\$ 3.285.000

Figura 11: Impacto Financiero por reducción en la incertidumbre

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

En base a los beneficios que se obtienen con la implementación de este proyecto la tasa de retorno es del 68%, con el precio del galón de combustible subsidiado y sin impuestos. Este valor de tasa de retorno es aun mayor con precios reales de combustible. Por lo tanto el proyecto es altamente rentable y beneficioso para el país.

La implementación de los sistemas de medición de combustible junto a otros sistemas afines permitirá obtener el stock de combustibles a nivel nacional por parte del CENACE, lo que aportará información para la planificación energética.

La aplicación de las mejores prácticas internacionales en la implementación de los sistemas de medición locales, como SCADA tiene un impacto en la reducción de la incertidumbre, que se reflejará económicamente en un pago justo de combustible recibido para generación térmica y su utilización óptima supervisando el rendimiento en tiempo real de las unidades generadoras.

7.2. Recomendaciones

Se recomienda que las empresas termoeléctricas continúen con la implementación de los sistemas diseñados, siguiendo la normativa internacional referida al manejo de combustibles líquidos y gaseosos derivados del petróleo.

Se recomienda, que en cada central se designe un grupo multidisciplinario para el seguimiento e implementación del sistema de gestión y control de combustibles, ya que el proceso de manejo de combustibles desde su recepción en la central hasta la generación eléctrica involucra disciplinas como ingeniería eléctrica, electrónica, mecánica, química, etc.

Además se recomienda que el personal de la central, se familiarice con el control estadístico de procesos para el manejo de inventarios de combustible.

AGRADECIMIENTOS

Al CENACE y a sus autoridades, por el apoyo y confianza que brinda al desarrollo de proyecto, para que este sea una realidad y se convierta en el primer sistema SCADA de Gestión y Control de combustibles para beneficio de toda la nación ecuatoriana.

A todos nuestros compañeros de la dirección de Sistemas de Información. Por ser guía y soporte por brindarnos su apoyo técnico y moral en búsqueda de soluciones para este proyecto.

A las Centrales termoeléctricas donde se desarrollaron los estudios de ingeniería básica, por su apoyo al proyecto mediante el personal técnico designado para brindar las facilidades del lugar y la seguridad requerida al grupo de levantamiento del CENACE.

A todos los estudiantes de la EPN y ESPE de ingeniería mecánica y electrónica que participaron en los grupos de levantamiento y fueron soporte para el desarrollo de la Ingeniería Básica. Por su compromiso en el desarrollo de las tareas encomendadas, y ser un ejemplo de trabajo en grupo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 1 Vocabulary, 2nd edition, year 1994.
- [2] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 2.2A, Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Strapping Method, 1st edition, year 1995, reaffirmed 3/2002.
- [3] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 3. Tank gauging, 2nd edition, year 2001.
- [4] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 5.1 General Considerations for Measurement by Meters 4th 2005.
- [5] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 5.2 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Displacement Meters 3rd 2005.
- [6] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 5.3 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Turbine Meters 5th.
- [7] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 5.6 Measurement of Liquid Hydrocarbons by Carioles Meters 1st 2002.
- [8] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 7 Temperature Determination 1st 2001.
- [9] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 11.1 Temperature and Pressure Volume Correction Factors for Generalized Crude Oils, Refined Products, and Lubricating Oils 2004.
- [10] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 12.1.1 Calculation of Static Petroleum Quantities, Part 1—Upright Cylindrical Tanks and Marine Vessels.
- [11] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch.

14.1 Collecting and Handling of Natural Gas Samples for Custody Transfer 6th 2006.

- [12] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 14.3.1 Concentric, Square-Edged Orifice Meters, Parte 1 General Equations and Uncertainty Guidelines 3rd 1990.
- [13] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Ch. 21.2 Electronic Liquid Volume Measurement Using Positive Displacement and Turbine Meters.
- [14] American Petroleum Institute (API), Manual of Petroleum Management Standard (MPMS), Using Electronic Metering Systems, Inferred Mass.
- [15] American Petroleum Institute (API), RP 500 Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2 2nd 1997.
- [16] American Petroleum Institute (API), RP 540 Electrical Installations in Petroleum Processing Plants 4th 1999.
- [17] American Petroleum Institute (API), Std 620 Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks 11th 2008.
- [18] American Petroleum Institute (API), STD 650 Welded Tanks for Oil Storage 11th 2007.
- [19] ISA The International Society of Automation P&ID Symbols.



Carlos del Hierro Cadena.- Nació en Quito, Ecuador en 1978. Recibió su título de Ingeniero Electrónico con especialidad en Automatización y Control de la Escuela Politécnica del Ejército en 2001.

Como experiencia profesional ha desarrollado actividades en el campo de la industria de fabricación de sanitarios, pastas alimenticias, sistemas de seguridad y control vehicular.

Al momento, es parte de la Dirección de Sistemas de Información del CENACE en el área de Sistema Remoto y también participando en las actividades relacionadas con el Proyecto de “Gestión y Control de Combustibles en el Sector Eléctrico”.



Roberto Sánchez Albán.- Nació en Quito en 1986. Obtuvo el título de bachiller técnico industrial en la especialización de electrónica en el Automatización y Control en el 2004. Actualmente trabaja en el área de Sistema de Tiempo Real en la Dirección de Sistemas de Información del CENACE y en el Proyecto de “Gestión y Control de Combustibles en el Sector Eléctrico”. Recibió su título de Ingeniería Electrónica en el 2010.



María de Lourdes Farinango Cisneros.- Nació en Quito en 1971, recibió su título de Ingeniera en Sistemas Eléctricos de Potencia en 1996 en la Escuela Politécnica Nacional y la distinción de Mejor Graduada de Ingeniería Eléctrica de la promoción 1996. Egresada de la Maestría de Ciencias de Ingeniería Eléctrica.

Sus temas de interés son: Sistemas Eléctricos de Potencia, Análisis de Red Eléctrica. Sistemas SCADA/EMS, Sistemas de Tiempo Real.

Ha participado como parte del grupo base que realizó la implementación y actualización del Sistema SCADA/EMS del CENACE.

Actualmente trabaja en el área de Sistema de Tiempo Real en la Dirección de Sistemas de Información del CENACE y en el Proyecto de “Gestión y Control de Combustibles en el Sector Eléctrico”