

TÍTULO: Modelación Matemático – Informática de las Operaciones del Volumen de Combustible en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Holguín.

TITLE: Mathematical and informational modelation of the operations of fuel volume at Holguin City Fuels' Commercialise Company.

AUTORES:

Ing. Buenaventura Rigol Cardona. Profesor Instructor.*

Dr. Martín Antúnez Ramírez**

Ing. Ariel Cuba de la Cruz.***

PAÍS: Cuba

RESUMEN:

Presenta los resultados parciales de una investigación realizada por la Universidad de Holguín "Oscar Lucero" sobre un modelo de las cantidades de combustible trasegadas en los depósitos de la Empresa Comercializadora de Combustibles (CUPET) Holguín. Se consigue el control en tiempo real de las operaciones. El modelo proporciona el valor medio de las cantidades de combustibles claros y oscuros y la contabilización mediante procedimientos automatizados, que desplazan los mecanismos manuales cuya capacidad de respuesta es de 24 horas. Se implementó en Access 2000 una base de datos en tercera forma normal con una aplicación gestora de operaciones en Delphi 7.0.

PALABRAS CLAVES: MEDICIÓN, COMBUSTIBLE, APLICACIÓN, CÁLCULO, TRANSPORTACIÓN, FACTOR DE CORRECCIÓN VOLUMÉTRICO, PETRÓLEO, MODELACIÓN.

ABSTRACT:

It presents the partial results of an investigation carried out by the "Oscar Lucero" University of Holguín City, on a model of the quantities of fuel decanted in the deposits of the Holguín City Fuels' Commercialiser Company (CUPET). The control of all this process is obtained in real time operations. The pattern provides the average value of the quantities of clear and dark fuels and the counting by means of automated procedures that displace the manual mechanisms whose answer capacity is 24 hours. It was implemented in Access 2000 a database in third normal form with a management application of operations in Delphi 7.0.

KEY WORDS: MEASUREMENT, FUEL, APPLICATION, TRANSPORTATION, CALCULATION, VOLUME CORRECTION FACTOR, OIL, MODELATION

INTRODUCCIÓN

Actualmente las transferencias de combustible desde las 2 refinerías, las 3 empresas de perforación y extracción de petróleo y las 18 de distribución mayoristas, empresas comercializadoras o terminales provinciales hasta los

consumidores finales; se contabilizan mediante procedimientos manuales. Es pues, necesario implantar un sistema en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Holguín (ECC-H) para agilizar las operaciones con los combustibles (los mecanismos de recepción, conteo y despacho). Una vez validado el mismo, se podrá extender al resto de las Empresas citadas, por poseer uniformidad normalizativa.

De esta manera se conseguirá: una toma de decisiones más acertada que la actual; liberar al encargado de las operaciones de una carga mental agobiante que le permita desempeñar desahogadamente el resto de sus numerosas funciones; optimizar la contrapartida de las anotaciones de dicho encargado (se lleva una doble contabilidad en este proceso); que la toma de decisiones (correspondiente al área comercial) cuente con un sistema informativo como apoyo y que se conozca sin demoras la situación real de toda la unidad a través de la red de ordenadores de escritorio existente en la misma. Mediante este trabajo se obtendrá una herramienta que permita saber en tiempo real las existencias de combustible.

El trabajo responde al Programa Territorial Científico - Técnico (PTCT) 02: Eficiencia Empresarial y Diversificación de la Producción, de la Delegación holguinera del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente; en la Línea 2: la eficiencia empresarial y el Objetivo 3: "Desarrollar soluciones tecnológicas que (...) permitan incrementar la eficiencia energética del país (...)". Por esta razón se presentó como proyecto en la convocatoria actual y fue aprobado inicialmente, encontrándose en tramitación su ejecución.

Para la ejecución del proyecto en tiempo se requieren diferentes recursos materiales con un valor total de \$ 7879,00 MN y \$ 295,00 MLC. La moneda nacional la sufragará la Delegación Territorial del CITMA y la moneda libremente convertible la ha aportado la ECC-H.

El problema científico a solucionar son las demoras para proporcionar la información actualizada sobre las cantidades de combustibles trasegadas en la ECC-H. El objeto de estudio es el sistema de medición de combustibles existente en la ECC-H. El campo de acción es el subsistema de registro y control de combustibles existente en la ECC-H.

La hipótesis de trabajo es: si se logra implementar en un sistema automatizado una metodología con el modelo matemático de las operaciones que se realizan con los volúmenes de combustible, se conseguirá un incremento de la calidad del servicio y de la eficiencia empresarial en la ECC-H.

Los objetivos del trabajo son:

1. Elaborar una metodología con el modelo matemático de las operaciones del volumen de combustible en los depósitos de la ECC-H, para determinar su valor.
2. Desarrollar un sistema automatizado para contabilizar el movimiento diario de productos a granel en los depósitos de combustibles de la ECC-H.

Las actividades principales que se llevaron a cabo son:

1. Búsqueda bibliográfica y de patentes sobre las últimas tendencias internacionales en la medición de los combustibles.
2. Estudio del sistema de medición de combustibles empleado en Cuba.
3. Diagnóstico de las instalaciones del cliente.
4. Análisis de los procedimientos de almacenamiento y conteo de combustibles del cliente.
5. Aplicación de la Metodología “Métrica” para el Desarrollo de un Sistema Informativo en la ECC-H.
6. Capacitación a los operadores en el uso de la aplicación desarrollada.
7. Introducción y validación del sistema implementado.

MATERIALES Y METODOS.

Teniendo en cuenta las distintas etapas por la que se tuvo que pasar, se comprendió que en la praxis investigativa se considerara un método por varias partes.

1. Método de obtención de los datos: responde a todas las necesidades y primeros elementos esenciales, mediante el cual se determinó y obtuvieron los resultados deseados, utilizándose métodos matemáticos [6] que sirvieron de base a la discusión de los resultados y la extracción de las conclusiones, además de un método histórico – lógico a partir de la misma elección del tema del trabajo, de una consulta de asesoramiento, una búsqueda y revisión bibliográfica, de la realización de las tareas previstas en el procedimiento de ejecución y del estudio conceptual sobre los aspectos que permitieron obtener la información necesaria para llegar ulteriormente a conclusiones.

2. Método de procesamiento y análisis de la información: se obtiene un resumen de toda la información cuantitativa, una presentación esquemática mediante tablas, gráficos y resumen escrito de los procesos que ocurren y resultados obtenidos ayudando a catalogar dicha información que sirvió de base para la discusión de los resultados y la extracción de las conclusiones, para el procesamiento y análisis de la información se dispuso de técnicas computacionales y matemáticas que permitieron alcanzar la infamación pretendida.

- **Breve caracterización de los combustibles.**

El estudio de la composición química del petróleo crudo puso de manifiesto que es una de las sustancias más complejas elaboradas por la naturaleza y está compuesto casi totalmente por combinaciones orgánicas de carbono e hidrógeno, los hidrocarburos. Los mismos proceden de tres familias: parafínica, nafténica y aromática. Es necesario partir de una clasificación diferente del predominio de una familia u otra en las fracciones ligeras, pues la proporción

de las familias en los crudos varía notablemente y depende del origen del crudo.

El Instituto Americano del Petróleo (API) establece la clasificación más difundida mundialmente [1, 9]. Dicho Instituto considera que los combustibles derivados del petróleo son sustancias que en estado líquido se clasificarán según la gráfica del coeficiente de expansión térmica y el inverso del cuadrado de la densidad, en 5 poblaciones: el crudo y 4 grupos de productos, que aparecen en la tabla No. 1. Se aprecian los rangos de densidades:

Tabla No. 1. Rangos de densidades de las sustancias derivadas del petróleo.

Sustancia:	Densidad (°API):	Densidad (kg / m³):	Producto	
			claro	oscuro
Gasolina y naftenos	[50;85]	[779,3;653,5]	X	
Jet fuels y kerosina	[37;50]	[839,3;779,3]	X	
Fuel oils, diesels y heating oils	[0;37]	[1075,4;839,3]		X
Lubricating oils	--			X
Crudos				X

La densidad expresada en °API tiene su cero en 1,0760 de densidad relativa a 60 °F y el punto 100 a 0,6112. La ecuación No. 1 relaciona el grado API con la densidad:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{\text{densidad } 60 / 60^{\circ}F} - 131,5$$

- **Disponibilidad de combustibles de la base de tanques de la entidad.**

El área para tanques o “patio de tanques” de la ECC-H almacena sus productos según el criterio anterior, en tanques de almacenamiento cilíndricos verticales [7]; que constituyen la población y la muestra a estudiar. La capacidad de estos la determina el Servicio Metrológico Estatal y se reporta en litros a 15 °C a presión atmosférica, condiciones establecidas para ello [3, 5]. La densidad y la temperatura se reportan en el Sistema Internacional.

Los combustibles trasegados en la ECC-H son: diesel, diesel fuel, gasolina, queroseno y petróleo combustible pesado (PCP). La tabla No. 2 muestra las capacidades aproximadas de los tanques operados y la capacidad total de éstos:

Tabla No. 2. Capacidad de almacenamiento de la ECC-H según el tipo de sustancia.

Tipo de producto:	Diesel	Diesel fuel	Gasolina	Queroseno	PCP
Capacidad de tanques en operaciones (m^3)	2000	200	2000	1000	700
Capacidad total de los tanques (m^3)	3000	200	2000	2000	700

De esta población, los tanques agrupados por producto se relacionan en la tabla No. 3:

Tabla No. 3. Identificación de los tanques de la ECC-H según el tipo de producto.

Producto:	Diesel	Diesel especial	Gasolina	Queroseno
Tanque:	2, 16	11	1,12	3, 4, 10, 14

Para determinar las magnitudes físico - químicas de los productos como son el volumen y la densidad, se consultan las Tablas 53 [10] y 54 [11] del API. Esta vía ha demostrado ser la más efectiva para dichas tareas. Pero la manipulación de las tablas es una tarea voluminosa que consume muchas horas de trabajo, teniendo en cuenta que ambas matrices planas de datos son de obligatoria consulta, en el orden citado y tantas veces como tanques existan en operaciones y mediciones en cada uno se realicen. Como son dos mediciones (en la mañana y en la tarde), definitivamente la experticia del medidor decide la forma de trabajar.

- **Diagnóstico inicial de las condiciones de trabajo de la entidad.**

En aras de fundamentar adecuadamente el trabajo, hasta obtener los problemas a resolver y sus antecedentes; se realizó un diagnóstico inicial en el área de operaciones de la ECC-H. El paso anterior posibilitó identificar los siguientes problemas, extensibles a la red nacional de distribución de combustible:

1. las transferencias de combustible se contabilizan mediante complejos procedimientos.
2. los procedimientos en vigor exigen consultar manualmente las extensas tablas de densidad a 15 °C de los productos y los factores de corrección volumétricos.
3. para contrarrestar la posibilidad de errores humanos en el área de operaciones, se realiza una doble contabilidad de los productos y sus importes en el área contable.

4. a partir de la información primaria se generan una gran cantidad de reportes intermedios manuscritos con una considerable pérdida de tiempo en dichas tareas.

5. transcurre mucho tiempo desde que se recibe un lote de productos hasta que se pueda disponer del mismo en el sistema de la empresa, producto de la limitada capacidad de cómputo de los seres humanos.

6. debido al punto anterior se han producido derrames de combustibles con repercusión económica, el daño al medio ambiente y el riesgo de incendio en el patio de tanques.

7. el técnico en facilidades operacionales posee una gran reserva de productividad que se desaprovecha porque invierte la mitad de su jornada laboral diaria en efectuar las operaciones indicadas en el orden referido.

8. no se sabe la exactitud real de las operaciones.

9. no se aprovechan los medios informáticos existentes en la entidad.

La magnitud de las dificultades anteriores avaló que el tema a tratar fuera suficiente para debatirlo y desarrollarlo en el marco de una Maestría en ciencias informáticas. Lo anterior posibilitó que se aplicara el Método general de solución de problemas a la gran problemática, que se abordaron en el desarrollo del ciclo académico de la Maestría del Ing. Rigol. Por esta razón, la concepción de la aplicación ha sido asistida desde el inicio por el colectivo de profesores de la “Maestría de Matemática Aplicada e Informática” de la Universidad.

- **Modelo matemático de las operaciones del volumen de combustible**

En el país se ha intentado automatizar los procesos de los depósitos, pero aún no satisfacen las expectativas de los especialistas al no existir una herramienta informática que permita darle solución a la utilización de los datos ofrecidos por el sistema de medición y supervisión.

Unos diez años atrás se intentó infructuosamente brindar una solución nacional a la automatización de las tablas con los coeficientes de corrección para los productos, pero no dio los resultados esperados por la insuficiencia de bibliografía y las limitaciones tecnológicas de los medios de cómputo. El desarrollo de la tecnología disponible permite solucionar las dificultades anteriores, de acuerdo con criterios de diseño convencionalmente aceptados [8].

La avanzada modelación de los procesos industriales ha sido posible acelerarse gracias a las Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones (TIC), y se bajo este enfoque que se trabajó, previa identificación del flujo informativo de la entidad ECC-H. El flujo informativo de la ECC-H se basa en entradas, salidas y reportes.

- **Entradas de combustible en la ECC-H.**

Las entradas de combustible agrupan las compras, transferencias, devoluciones y ganancias, que se pueden efectuar mediante oleoductos y cisternas instaladas en buques, vagones y camiones; empleándose las dos últimas. Cuando se utiliza el ferrocarril como medio de transporte, cada vagón se acompaña de una carta de porte y si es un camión cisterna se certifica su capacidad en un conduce – factura. Aunque ambos documentos contienen gran cantidad de información, en la base de datos se almacenan solamente aquellos datos trascendentes para con los objetivos declarados.

El volumen observado se afecta positivamente cuando el nivel del líquido está por encima del domo de los vagones, según una tabla donde se considera la nacionalidad del vagón. La capacidad de los camiones no se afecta.

Finalmente el volumen físico recibido a la temperatura observada es la suma algebraica del volumen observado y la diferencia en recepción. Esta cantidad se afecta por el factor de corrección volumétrico (FCV ó VCF, en inglés), tomado de la Tabla 54 [11]. Luego son calculadas las ganancias o pérdidas en la transportación, según las recepciones física (cantidad recibida realmente) y teórica (cantidad enviada). Es importante destacar que esta parte final se confecciona en el dorso del modelo citado, porque carece de casillas para efectuar dichos cálculos. Además se mantiene un registro de todos los camiones cisterna que se descargan en cada tanque.

- **Salidas de combustible en la ECC-H.**

Las salidas de combustibles consideran las ventas, transferencias, consumos, bidones llenados y pérdidas. Las ventas y las transferencias se realizan en camiones cisternas y buques cisternas. Los consumos incluyen el reporte de vehículos automotores y otros consumos.

- **Reporte de las operaciones o movimientos diarios.**

Cada operación de recepción y/o entrega es asentada en el modelo correspondiente. Diariamente se comprueban físicamente en los tanques las existencias físicas, restando del volumen total de líquido en el tanque, el contenido de agua y otros volúmenes (la cantidad que desplaza el techo flotante). El volumen neto a 15 °C es el producto del volumen neto y el factor de corrección volumétrico.

En el ámbito de la entidad se efectúan diariamente los citados inventarios: físico y teórico. El inventario teórico diario se obtiene a partir de la cantidad inicial de combustible de cada día que es la cantidad final del día precedente. Luego a la cantidad inicial de combustible de cada día se le aumentan los recibos y se disminuye en las salidas. El inventario físico diario es la suma acumulada de las existencias físicas en: los diferentes tanques donde se almacena un mismo producto, la línea de distribución y el drenaje. Si el inventario físico es mayor que el inventario teórico se registra una ganancia en

planta o sobrante. De lo contrario, se registra una pérdida en planta o faltante. El resumen mensual por día de las operaciones descritas y registradas por separado proporciona los volúmenes de combustible a 15 °C .

- **Modelo matemático.**

El modelo matemático global implementado en la aplicación [2, 4] necesita realizar varios cálculos intermedios, para obtener la respuesta correspondiente, en cualquier período de tiempo. Los datos de partida los encuentra la aplicación en las tablas de la base de datos (tablas de calibración o aforo, propiedades de los combustibles), otros los proporciona el usuario al inicializar la aplicación (libretas de medición) o al introducir paulatinamente la información de las transacciones (informes de recepción y despacho por camiones y vagones cisternas) y los restantes son cálculos intermedios, que se muestran al usuario como campos calculados. Las rutinas desarrolladas hacen uso de la siguiente nomenclatura, para cada combustible:

tobs: temperatura observada del combustible en los tanques real o físico,

p obs: densidad observada del combustible en los tanques real o físico,

p 15: densidad a 15 °C en los tanques real o físico,

V pt 15-t-r: volumen a 15 °C en los tanques real o físico,

V pt 15-v-r: volumen a 15 °C en los vagones real o físico,

V pt 15-c-r: volumen a 15 °C en los camiones real o físico,

V pt 15-v-t: volumen teórico a 15 °C en los vagones,

V pt 15-c-t: volumen teórico a 15 °C en los camiones,

V t-total: volumen total de líquido en el tanque,

V t-H₂O: volumen de agua en el tanque,

V t-otros: cambio en el volumen del tanque debido a otros efectos,

V c-rotulado: volumen rotulado en el camión (observado),

V v-listado: volumen listado en el vagón (observado),

n-t: número de tanques con el mismo combustible,

n-c-r: número de camiones recibidos,

n-c-d: número de camiones despachados,

n-v-r: número de vagones recibidos,

n-v-d: número de vagones despachados,

pt: período de tiempo de 1 día o 1 mes,

VCF: factor de corrección volumétrico,

VCF_t: VCF del combustible del tanque con densidad y temperatura medidas en él,

VCF_{v-dest}: VCF del combustible del vagón con densidad y temperatura del destino,

VCF_{v-orig}: VCF del combustible del vagón con densidad y temperatura del origen,

VCF_{c-dest}: VCF del combustible del camión con densidad y temperatura del destino,

VCF_{c-orig}: VCF del combustible del camión con densidad y temperatura del origen,

Δv-recep: diferencia en la recepción del vagón.

Los resultados parten de evaluar las expresiones siguientes (ecuaciones de la No. 2 hasta la No. 9, inclusive), en las condiciones del usuario:

$$\begin{aligned}\rho_{15} &= f(\rho_{obs}; t_{obs}) \\ VCF_t &= f(\rho_{15}; t_{obs}) \\ V_{15-t-r}^{pt} &= (V_{t-total} - V_{t-H2O} - V_{t-otros}) * VCF_t \\ V_{15-v-r}^{pt} &= (V_{v-listado} \pm \Delta_{v-recep}) * VCF_{v-dest} \\ V_{15-c-r}^{pt} &= V_{c-rotulado} * VCF_{c-dest} \\ V_{15-v-t}^{pt} &= (V_{v-listado} \pm \Delta_{v-recep}) * VCF_{v-orig} \\ V_{15-c-t}^{pt} &= V_{c-rotulado} * VCF_{c-orig} \\ V_{15-t-r}^{pt} &= \left(\sum_1^{n-t} V_{15-t-r}^{pt} \right) + \left(\sum_1^{n-v-r} V_{15-v-r}^{pt} \right) + \left(\sum_1^{n-c-r} V_{15-c-r}^{pt} \right) - \left(\sum_1^{n-v-d} V_{15-v-r}^{pt} \right) - \left(\sum_1^{n-c-d} V_{15-c-r}^{pt} \right)\end{aligned}$$

RESULTADOS DEL TRABAJO

El trabajo es un proyecto de investigación multilateral entre el MES, el CITMA y el MINBAS, que le debe permitir al autor principal defender su tesis presentada en opción al grado académico de Máster en ciencias informáticas. Los resultados parciales son:

1. Se concluyó el estudio de los sistemas de registro y control de las operaciones de la ECC-H, con una propuesta de modificaciones en el almacenamiento de la información para ahorrar en impresos intermedios.
2. Se concluyó una monografía sobre los combustibles empleados en Cuba, que fue el trabajo de diploma de dos estudiantes de ingeniería mecánica, defendido exitosamente.
3. Se diseñó la base de datos del sistema, normalizándola hasta la tercera forma y se puso a prueba, con resultados satisfactorios. La base de datos almacena los datos de las actividades de la ECC-H y las correcciones aplicables a los volúmenes observados de combustibles, que son: densidad a 15 °C y factor de corrección volumétrico.
4. Por primera vez se obtiene en el país la reproducción electrónica de las tablas de corrección del petróleo, garantizando la integridad de la información.
5. Se elaboró una interfaz de usuario, que permite la evaluación del modelo de las operaciones. Se mejora el diseño de las formas y su funcionalidad.

CONCLUSIONES

1. Se cumplen los objetivos trazados pues la metodología con el modelo matemático de las operaciones del volumen de combustible en los depósitos de la ECC-H reproduce exactamente las operaciones de movimiento de combustible.
2. Se determina exactamente el ancho del intervalo de confianza del volumen de combustible, concluyendo que el valor orientado por el MINBAS puede ser mejorado.
3. El sistema automatizado implementado contabiliza el movimiento diario de productos a granel en los depósitos de combustibles de la ECC-H.
4. Se creó la aplicación PetroMet 1.0 para el conteo de las cantidades de combustibles, en Delphi 7.0, con todas las bondades del entorno visual.

RECOMENDACIONES

1. Concluir la implementación de la base de datos y aplicarla paralelamente para validarla.

2. Documentar la aplicación desarrollada.

BIBLIOGRAFÍA

1. 1. ASTM D 1250 – 80, API 2540, IP 200. Petroleum Measurement Tables.
2. IP 201/1964. Calculation of oil quantities.
3. ISO 91-1:1992. Tables based on reference temperature of 15 °C and 60 °F .
4. ISO 4267-1:1988. Petroleum and liquid petroleum products. Calculation of oil quantities.
5. ISO 5024:1991. Petroleum liquids and gases. Standard reference conditions.
6. ISO 5725-1:1994. Exactitud (veracidad y precisión) de métodos de medición y resultados.
7. Cuba, Ministerio de la Industria Básica. Manual de instrucciones tecnológicas para terminales y depósitos / Ministerio de la Industria Básica. __ La Habana, 1984. __ 134 p.
8. España, Ministerio de Administraciones Públicas. Metodología MÉTRICA versión 3. [documento en línea] <http://www.map.es/csi/metrica3/index.html>. [Consultado: 26 mayo 2004]
9. NC 33-56:86. SNICT. Petróleo y sus derivados. Términos y definiciones.
10. Tabla 53. SNICT. Petroleum Measurement Tables. Volumen Correction Factors.
11. Tabla 54. SNICT. Petroleum Measurement Tables. Volumen Correction Factor.

DATOS DE LOS AUTORES

Nombre:

Ing. Buenaventura Rigol Cardona. Profesor Instructor.*

Dr. Martín Antúnez Ramírez**

Ing. Ariel Cuba de la Cruz.***

Correo:

*rigol.cardona@facing.uho.edu.cu.

** metro@ncnorma.cu.

*** ariel@echol.cupet.cu.

Centro de trabajo:

* Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Avenida XX Aniversario s / n. Gaveta postal No. 57. Reparto Piedra Blanca. Holguín, Cuba. CP 80100. Teléfono: 482675. Fax: 468050.

** Oficina Nacional de Normalización, CITMA. Calle E No. 261, entre 11 y 13. Vedado, La Habana, Cuba. CP 10400. Teléfono: 830-0736. Fax: 836-8048.

*** Empresa Comercializadora de Combustibles (CUPET) Holguín, MINBAS. Carretera vieja a Cacocum s / n, Holguín, Cuba. CP 80100. Teléfonos: 422065, 425352 ó 462787. Fax: 424633