



---

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN**

**ANÁLISIS Y REPORTE DE LOS DATOS DE LA  
INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DEL ESTADO  
DEL RECUBRIMIENTO DE DUCTOS**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Maestro en Ciencias de la Computación**

P R E S E N T A:

**Ing. EDUARDO CHACÓN CRUZ**

**Director de Tesis (CIC):**

**M. en C. Sergio Sandoval Reyes**

**Director externo de Tesis (IMP):**

**Dr. Edgar Kiyoshi Nakamura Labastida**

**México D. F.**

**Febrero 2014**

---







# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de      México, D.F.      siendo las     12:00     horas del día     23     del mes de septiembre de 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

#### **Centro de Investigación en Computación**

para examinar la tesis titulada:

**“Análisis y reporte de los datos de la inspección electromagnética del estado de recubrimiento de ductos”**

Presentada por el alumno:

<b>Chacón</b> Apellido paterno	<b>Cruz</b> Apellido materno	<b>Eduardo</b> Nombre(s)							
	Con registro:	<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>9</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> </table>	A	9	1	0	3	3	4
A	9	1	0	3	3	4			

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

#### LA COMISIÓN REVISORA

Directores de Tesis

  
M. en C. Sergio Sandoval Reyes

  
Dr. Edgar Kiyoshi Nakamura Labastida

  
Dr. Sergio Suárez Guerra

  
Dr. Gilberto Lorenzo Martínez Luna

  
Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

  
Dr. José Giovanni Guzmán Lugo

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DIRECCIÓN





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México D. F., el día 4 del mes de noviembre del año 2013, el (la) que suscribe Eduardo Chacón Cruz alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias de la Computación con número de registro A910334, adscrito a el Centro de Investigación en Computación, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de M. en C. Sergio Sandoval Reyes y cede los derechos del trabajo intitulado "Análisis y reporte de los datos de la inspección electromagnética del estado del recubrimiento de ductos", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección echacon@imp.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

*Eduardo Chacón Cruz*

Eduardo Chacón Cruz



# ANÁLISIS Y REPORTE DE LOS DATOS DE LA INSPECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DEL ESTADO DEL RECUBRIMIENTO DE DUCTOS

## RESUMEN

La industria petrolera nacional realiza serios esfuerzos implementando programas de inspección de ductos que transportan hidrocarburos, para prevenir desastres de alto impacto, social, ambiental, económico y estructural, provocados por corrosión en los ductos, se estima que entre 80% y 90% de las áreas que presentan corrosión se debe a fallas en el recubrimiento del ducto. Los métodos electromagnéticos externos son ampliamente aplicados en la inspección para conocer las condiciones técnicas del recubrimiento en ductos, en este rubro el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) ha desarrollado la TIEMS (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial), con la característica de ser: no invasiva, no destructiva y no interrumpe la operación de los SPC (sistemas de protección catódica) durante la inspección, superando en varios aspectos a las tecnologías similares existentes. El análisis y procesamiento de la información de TIEMS se realiza mediante el uso de diferentes programas de cómputo y aplicaciones dispersas, el flujo manual de datos e información entre programas en algunos casos puede modificar alguna característica de la información impactando en los resultados, limitando el alcance de los modelos de cálculo. Por lo anterior se requiere tiempo adicional para asegurar la confiabilidad de la información, repercutiendo en un mayor tiempo de procesamiento y entrega de resultados.

Este trabajo presenta la metodología para incorporar a la TIEMS un sistema basado en computadora SITIEMS (Sistema Integral de la Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial) para determinación del estado del recubrimiento de ductos y que integra en un mismo ambiente el procesamiento de datos provenientes de inspecciones electromagnéticas. Involucra un proceso de investigación sistémico aplicado a la TIEMS y análisis bajo el contexto de los SI (sistemas de información) e IS (ingeniería de software). El análisis de la metodología de aplicación de TIEMS determina las características de la información que utilizan sus procesos y modelos de cálculo, los cuales son automatizados y optimizados en el nuevo sistema, se eliminan las fuentes de error en la información. SITIEMS permite ordenar y clasificar bajo esquemas de archivos y consultas a la BD (base de datos) la información resultante del procesamiento que indica el estado del recubrimiento del ducto, para ser entregada oportunamente bajo esquemas de interpretación de semáforo (verde; buen estado, amarillo; precaución, rojo; estado crítico) para la toma de decisiones. La consolidación de SITIEMS es su incorporación a la TIEMS.

Actualmente SITIEMS se aplica en el procesamiento de la información de TIEMS en su etapa regional, en las inspecciones de ductos de PEMEX en la región sur en los cinco diferentes activos; Bellota-Jujo, Samaria, Cinco Presidentes, Muspac y Macuspana.





**ANÁLISIS Y REPORTE DE LOS DATOS DE LA INSPECCIÓN  
ELECTROMAGNÉTICA DEL ESTADO DEL RECUBRIMIENTO DE DUCTOS**

**ABSTRACT**

The oil national industry does serious efforts to implement inspection on programs pipelines carrying oil, to prevent disasters high-impact, social, environmental, economical and structural , caused by corrosion in the pipelines, it is estimated that between 80% and 90% of the areas with corrosion is due to flaws in the lining of the pipelines. External electromagnetic methods are widely applied in the inspection for to know the technical conditions of lining of the pipelines, in this category IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) has developed the TIEMS (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial), with the characteristic of being: no invasive, non-destructive, and it does not interrupt the operation of the SPC (sistemas de protección catódica) during the inspection, exceeding several items similar to existing technologies. Analysis and processing of TIEMS information is performed using various computer programs and dispersed applications, manual data flow and information between programs, in some cases may alter some characteristic of the information impacting the results, limiting the scope calculation models. Therefore additional time is required to ensure the reliability of information, affecting to take more time for processing and delivery of results.

This thesis presents the methodology to incorporate into TIEMS a system based on computer SITIEMS (Sistema Integral de la Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial) to determine the state of lining of the pipelines and integrates in the same environment the processing of data from electromagnetic inspections . It involves a systematic research process applied to the TIEMS and analysis within the context of SI (sistemas de información) and IS (ingeniería de software). The analysis of the TIEMS methodology application determines the characteristics of the information they use their processes and computational models, which are automated and optimized in the new system, so that sources of error in the data are eliminated. SITIEMS permit to sort and classify under schemes of files and query the DB (database) , the processing resulting information indicating the status of the coating of the pipeline, to be delivered timely under schemes of interpretation of light (green, good condition, yellow, caution, red; critically) for to be considerate in decision-making. The consolidation of SITIEMS is the integrated to TIEMS.

Currently SITIEMS is applied on the processing TIEMS information on regional stage, in PEMEX pipeline inspections in the southern region in the five different assets; Bellota-Jujo, Samaria, Cinco Presidentes, Muspac and Macuspana.



---

## DEDICATORIA

*A mi amada esposa Lilia, por compartir su vida conmigo, acompañándome en alegrías y fracasos, siempre impulsando y apoyando hacia la mejora integral de nuestras vidas. Lilia he aprendido mucho de ti, gracias por tu amor y por esa vitalidad y energía que contagias.*

*A mis hijas, Ana Cecilia y Julia Sofía, las amo tanto y quienes a su corta edad ya me demuestran que lo logrado hasta hoy, es solo el punto de partida para el alcance de nuevas metas.*

*A mi madre Cecilia Cruz Nava, por su amor incondicional, sabiduría y apoyo en todos los momentos de mi vida.*

*A mi padre José Chacón Ramos (q.e.p.d), que siempre me apoyo, impulso y me enseñó a ser tenaz y perseverar en el logro de mis metas. Padre, sé que también disfrutas este momento.*



---

# AGRADECIMIENTOS

*Gracias a Dios por permitirme vivir intensamente y lograr metas importantes en mi vida personal y profesional.*

*A mí amada gran familia, Lilia, Ana Cecilia y Julia Sofía, ellas son la razón de mí existir, lo mejor que Dios me ha dado.*

*A mis padres que han sido un digno ejemplo de superación y fortaleza, ayudándome a superar todo momento difícil.*

*A mis hermanos y hermanas, Carlos, Alfredo, Roberto, Hugo, Josefina, Elsa, Julia, Jaime, Jorge, y José, los amo, somos una familia de ensueño, formamos un equipo formidable, gracias por sus ejemplos de vida y su apoyo en los triunfos como en los momentos difíciles.*

*Especialmente a ti Carlos Chacón nuestro gran médico que dignificas de manera extraordinaria esa noble profesión, por tu apoyo incondicional en momentos tan difíciles de mi vida, gracias por estar siempre cerca y demostrarme que siempre podré contar contigo.*

*A mis sobrinas y sobrinos cuya formación en proceso me motiva a mostrarles un camino para alcanzar sus metas y aunque pueda ser difícil, siempre podemos alcanzarlo con estudio, dedicación y perseverancia.*

*A mis cuñadas y cuñados cuya convivencia y fraternidad han hecho más llevaderos los momentos difíciles.*

*Al Dr. Edgar Nakamura, por su constante apoyo, orientación y legado de sus conocimientos, Doctor Nakamura sinceramente gracias por su amistad y por ser tan insistente y determinante en la realización de esta investigación.*



---

*Al M. en C. Sergio Sandoval por la atención, interés, acertada orientación y aportes al presente trabajo, valoro mucho su gran calidad humana, su actuar, rectitud y dedicación.*

*Al Dr. Aleksandr Mousatov, por su gran calidad humana y por mostrarnos el camino de la investigación, gracias por su motivación y continuo apoyo e interés en la consecución de esta investigación.*

*Al CIC que me permitió adquirir los conocimientos fundamentales para continuar y fortalecer mi formación profesional.*

*Al IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) que me ha dado la oportunidad de formarme profesionalmente dentro del ámbito de la investigación aplicada y el desarrollo de tecnología, motivos que explican mi permanencia por tanto tiempo en esta noble institución y que me impulsan a corresponder como un profesional que aporta valor agregado acorde con la misión del IMP.*

*A los profesores del CIC., miembros de jurado cuyas acertadas observaciones y contribuciones permitieron enriquecer el contenido de la presente investigación.*

*A mis profesores del CENAC ahora CIC-IPN, gracias por sus compartir su conocimiento que ha repercutido satisfactoriamente en mi formación profesional.*

*A mis amigos y compañeros del Instituto Mexicano del Petróleo de los cuales no quiero omitir alguno, con los que he pasado momentos inolvidables y me han distinguido con su amistad.*

*A todos los que de una forma u otra contribuyeron a la realización y culminación de esta investigación.*





**ÍNDICE GENERAL**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>XI</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>GLOSARÍO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>XXVII</b>
<b>CAPÍTULO 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Marco Conceptual de los Métodos de inspección de ductos .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Inspección interna.....	3
1.1.1.1 Diablo instrumentado con tecnología electromagnética .....	3
1.1.1.2 Diablo instrumentado con tecnología sónica .....	3
1.1.2 Inspección externa.....	3
1.1.2.1 Termografía Infrarroja.....	3
1.1.2.2 Caída de presión .....	4
1.1.2.3 Inspección visual .....	4
1.1.2.4 Inspección electromagnética y eléctrica .....	4
<b>1.2 Métodos de Inspección Eléctricos (E) y Electromagnéticos (EM).....</b>	<b>5</b>
1.2.1. Métodos Eléctricos .....	5
1.2.1.1 El método CIPS.....	5
1.2.1.2 El método DCVG .....	6
1.2.1.3 El método ACVG .....	6
1.2.2. Métodos Electromagnéticos .....	6
1.2.2.1 PCM (Trazador de Corrientes en Tuberías).....	6
1.2.2.2 TIEMS (Tecnología de Inspección Electromagnética .....	7
Superficial)	
<b>1.3 Antecedentes de software empleados en los métodos.....</b>	<b>7</b>
<b>de Inspección de ductos</b>	
<b>1.4 Software SITIEMS, una solución integral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5 Planteamiento del problema .....</b>	<b>13</b>
<b>1.6 Motivación .....</b>	<b>15</b>

## Índice General

---

<b>1.7</b>	<b>Propuesta de solución .....</b>	<b>15</b>
<b>1.8</b>	<b>Objetivos del trabajo de tesis .....</b>	<b>15</b>
	1.8.1 Objetivo principal.....	15
	1.8.2 Objetivos específicos .....	15
	1.8.3 Alcances .....	16
<b>1.9</b>	<b>Aportaciones .....</b>	<b>17</b>
<b>1.10</b>	<b>Estructura de la tesis.....</b>	<b>17</b>
<b>1.11</b>	<b>Conclusiones del capítulo 1.....</b>	<b>19</b>
 <b>CAPÍTULO 2. Análisis de las características de la información de TIEMS .....</b>		<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Ámbito de aplicación de TIEMS.....</b>	<b>21</b>
	2.1.1 Descripción general de TIEMS.....	21
	2.1.1.1 Etapa regional o de resolución media.....	22
	2.1.1.2 Etapa local o de alta resolución.....	22
<b>2.2</b>	<b>Descripción de aplicación regional de TIEMS y su entorno de información. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>TIEMS bajo un enfoque de sistemas.....</b>	<b>23</b>
	2.3.1 Generalidades del enfoque de sistemas.....	25
<b>2.4</b>	<b>Esquema conceptual de TIEMS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>Información de entrada de TIEMS. ....</b>	<b>30</b>
	2.5.1 Planificación de actividades de inspección .....	30
	2.5.2 Conexiones previas a la inspección del ducto .....	31
	2.5.3 Inspección del ducto en su etapa regional.....	33
<b>2.6</b>	<b>Información de procesos de TIEMS. ....</b>	<b>36</b>
	2.6.1 Resumen del procesamiento de la etapa regional .....	36
	2.6.2 Procesos de cálculo y selección de información.....	37
	2.6.2.1 Cálculo de corriente de fuga.....	37
	2.6.2.2 Proceso de Segmentación .....	37
	2.6.2.3 Reconstrucción de distribución de potenciales .....	39
	2.6.2.4 Cálculo de resistencia de fuga.....	40
	2.6.2.5 Cálculo de resistencia del recubrimiento .....	41
<b>2.7</b>	<b>Información de salidas de TIEMS. ....</b>	<b>42</b>
<b>2.8</b>	<b>Requerimientos para el desarrollo de SITIEMS.....</b>	<b>43</b>
	2.8.1 Requerimientos de información .....	43
	2.8.2 Requerimientos de usuario.....	43
	2.8.3 Actividades que realiza el usuario a considerar en SITIEMS .....	44
	2.8.4 Requerimientos para las GUI's (interfaces gráficas de usuario).....	45
	2.8.5 Caso de uso realizando segmentación.....	45
	2.8.6 Requerimientos de funcionalidad del sistema.....	47
	2.8.7 Requerimientos del sistema .....	49
	2.8.7.1 Evaluación de la plataforma de desarrollo .....	50

## Índice General

---

<b>2.9 Metodologías de acopio de información para SITIEMS.....</b>	<b>50</b>
<b>2.10 Determinación del tipo de SI para SITIEMS .....</b>	<b>51</b>
<b>2.11 Conclusiones del capítulo 2.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3 Diseño del sistema integral SITIEMS .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Especificaciones y requerimientos de SITIEMS.....</b>	<b>54</b>
3.1.1 Especificaciones funcionales.....	55
3.1.1.1 Requerimientos de la base de datos BD para SITIEMS .....	55
<b>3.2 Diseño de SITIEMS .....</b>	<b>56</b>
3.2.1 Diseño de SITIEMS a través de un criterio de bloques o modular .....	56
3.2.1.1 Modelo conceptual de SITIEMS .....	57
3.2.2 Determinar las entradas, procesos, almacenamiento y salidas de .....	60
Información para SITIEMS	
3.2.2.1 Entradas para SITIEMS.....	61
3.2.2.2 Procesos de SITIEMS .....	61
3.2.2.3 Almacenamiento y archivos.....	62
3.2.2.4 Salidas de SITIEMS .....	62
<b>3.3 Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario de SITIEMS.....</b>	<b>64</b>
<b>3.4 Diseño de la Base de Datos .....</b>	<b>70</b>
3.4.1 Modelo de datos para SITIEMS.....	70
3.4.2 Diseño lógico de la BD de SITIEMS .....	71
3.4.3 Diseño físico de la BD de SITIEMS .....	72
3.4.4 El modelo relacional para SITIEMS.....	74
3.4.5 Resumen de la BD de datos para SITIEMS.....	77
3.4.6 Dimensionamiento de la BD .....	78
<b>3.5 Arquitectura de SITIEMS .....</b>	<b>82</b>
<b>3.6 Funcionamiento general de SITIEMS .....</b>	<b>84</b>
<b>3.7 Descripción de bloques operativos .....</b>	<b>86</b>
<b>3.8 Conclusiones del capítulo 3.....</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO 4. Desarrollo de módulos constitutivos.....</b>	<b>91</b>
<b>de SITIEMS</b>	
<b>4.1 Módulos que conforman el SITIEMS .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2 Módulo del Menú Principal.....</b>	<b>92</b>
4.2.1 Estructura del Módulo del Menú Principal .....	92
4.2.2 Descripción del Módulo del Menú Principal .....	92
4.2.3 Desarrollo del Módulo del Menú Principal .....	94

## Índice General

---

<b>4.3</b>	<b>Módulo de Nuevo Levantamiento</b> .....	<b>95</b>
4.3.1	Estructura del Módulo de Nuevo Levantamiento .....	95
4.3.2	Descripción del Módulo de Nuevo Levantamiento .....	96
4.3.3	Desarrollo del Módulo de Nuevo Levantamiento .....	96
<b>4.4</b>	<b>Módulo de Visualización</b> .....	<b>97</b>
4.4.1	Estructura del módulo de Visualización .....	97
4.4.2	Descripción del módulo de Visualización .....	97
4.4.3	Desarrollo del módulo de Visualización .....	98
<b>4.5</b>	<b>Módulo de Gráficas y Selección de Datos</b> .....	<b>100</b>
4.5.1	Estructura del Módulo de Gráficas y Selección de Datos .....	100
4.5.2	Descripción del Módulo de Gráficas y Selección de Datos .....	100
4.5.3	Desarrollo del Módulo de Gráficas y Selección de Datos .....	101
<b>4.6</b>	<b>Módulo de Procesamiento</b> .....	<b>103</b>
4.6.1	Estructura del Módulo de Procesamiento .....	103
4.6.2	Descripción del Módulo de Procesamiento .....	104
4.6.3	Desarrollo del Módulo de Procesamiento .....	105
<b>4.7</b>	<b>Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos</b> .....	<b>107</b>
4.7.1	Estructura del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos .....	108
4.7.2	Descripción del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos .....	108
4.7.3	Desarrollo del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos .....	108
<b>4.8</b>	<b>Módulo de Reportes</b> .....	<b>110</b>
4.8.1	Estructura del Módulo de Reportes .....	110
4.8.2	Descripción del Módulo de Reportes .....	110
4.8.3	Desarrollo del Módulo de Reportes .....	111
<b>4.9</b>	<b>Conclusiones del capítulo 4</b> .....	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO 5. Implantación y evaluación del sistema</b> .....		<b>113</b>
<b>5.1</b>	<b>Implantación de SITIEMS</b> .....	<b>113</b>
5.1.1	Instalación de SITIEMS y acondicionamiento de las instalaciones ... para su operación .....	113
5.1.2	Preparación de datos y archivos .....	114
5.1.3	Estrategias de implantación de SITIEMS .....	114
<b>5.2</b>	<b>Pruebas de operación del Sistema</b> .....	<b>115</b>
5.2.1	Pruebas de laboratorio .....	115
5.2.1.1	Pruebas parciales .....	116
5.2.1.2	Prueba de integración de módulos .....	117
5.2.1.3	Pruebas de operación de programas con datos de prueba ....	117
5.2.1.4	Pruebas de enlace con datos de prueba .....	117
5.2.1.5	Operación completa del SITIEMS con datos de prueba .....	118
5.2.2	Pruebas operativas .....	118
5.2.2.1	Pruebas de especificación .....	118

## Índice General

---

5.2.2.2 Pruebas especiales aplicadas a SITIEMS .....	118
5.2.3 Prueba completa del SITIEMS con datos reales .....	119
5.2.3.1 Facilidad de uso .....	120
5.2.3.2 Funcionalidad de SITIEMS .....	120
5.2.3.3 Desempeño de SITIEMS .....	123
<b>5.3 Análisis de resultados de SITIEMS .....</b>	<b>127</b>
5.3.1 Uso de SITIEMS en procesamiento de datos de campo.....	127
<b>5.4 Mantenimiento de SITIEMS .....</b>	<b>127</b>
5.4.1 Mantenimiento Preventivo .....	127
5.4.2 Mantenimiento Perfectivo .....	128
5.4.3 Mantenimiento Adaptativo .....	129
5.4.4 Mantenimiento Correctivo.....	129
<b>5.5 Capacitación a los usuarios.....</b>	<b>129</b>
5.5.1 Estrategia de capacitación .....	129
5.5.2 Aceptación del usuario .....	130
<b>5.6 Mejoras al SITIEMS .....</b>	<b>130</b>
5.6.1 Incluir el procesamiento de la etapa local de TIEMS .....	130
5.6.2 Incluir módulos de sistemas de información geográfica.....	131
5.6.3 Migrar a tecnologías totalmente orientada a objetos .....	131
5.6.4 Incluir metodologías para la incursión de análisis de riesgo .....	131
5.6.5 Inclusión de algoritmos de predicción para optimizar los .....	132
programas de mantenimiento preventivo	
5.6.6 Incluir un sistema experto (SE).....	132
5.6.7 Inclusión de redes neuronales (RN) .....	132
5.6.8 Incluir software de gestión de ductos.....	133
<b>5.7 Conclusiones del capítulo 5 .....</b>	<b>134</b>
<b>CAPÍTULO 6. Conclusiones finales.....</b>	<b>135</b>
<b>6.1 Logros alcanzados .....</b>	<b>135</b>
<b>6.2 Aportaciones .....</b>	<b>137</b>
<b>6.3 Trabajos a futuro.....</b>	<b>139</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo A. GENERALIDADES DE LOS MÉTODOS DE INSPECCIÓN .....</b>	<b>A1</b>
<b>Anexo B. DICCIONARIO DE DATOS .....</b>	<b>B1</b>
<b>Anexo C. MANUAL DE OPERACIÓN DE SITIEMS .....</b>	<b>C1</b>

## Índice General

---

# Índice de Figuras y Tablas

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
Figura 1.1. Efectos de las fallas en ductos .....	2
Figura 1.2. Método CIPS .....	5
Figura 1.3. Software DCVG .....	8
Figura 1.4. Presentación gráfica DCVG .....	9
Figura 1.5. Presentación gráfica de potenciales “on”-“off” CIPS .....	9
Tabla 1.1. Presentación tabular potenciales “on”-“off” CIPS .....	9
Figura 1.6. Software CIPS & DCVG .....	10
Figura 1.7. Software Spectrum XLI .....	11
Figura 1.8. Esquema anterior de procesamiento de la TIEMS .....	12
Figura 1.9. Esquema general del sistema nuevo SITIEMS .....	16
<b>CAPITULO 2. Análisis de las características de la información de TIEMS... 19</b>	
Figura 2.1. Esquema general de etapas de aplicación de TIEMS .....	22
Figura 2.2. Esquema de la aplicación de TIEMS en su etapa regional .....	23
Figura 2.3. Metodologías del CVDS (Ciclo de Vida del Desarrollo de Sistemas). 24	
Figura 2.4. Ciclo de vida de desarrollo de sistemas (CVDS) para SITIEMS .....	25
Figura 2.5. Actividades básicas de TIEMS .....	26
Figura 2.6. Esquema conceptual de TIEMS .....	27
Figura 2.7. Aplicación de la metodología de inspección TIEMS .....	32
Figura 2.8. Conexión del generador y medición de potenciales .....	32
Figura 2.9. Medición de potenciales .....	33
Figura 2.10. Medición de parámetros de la TIEMS. ....	34
Figura 2.11. Midiendo conductividad del suelo .....	35
Figura 2.12. Metodología de medición de TIEMS. ....	35
Figura 2.13. Proceso de segmentación .....	39
Figura 2.14. Caso de uso realizando segmentación .....	45
Tabla 2.1. Interactuando con la GUI de segmentación .....	46
Tabla 2.2. Requerimientos de Funcionalidad para el SITIEMS .....	47
Figura 2.15. Tipos de Sistemas de Información .....	51
<b>CAPITULO 3. Diseño del sistema integral SITIEMS .....</b>	<b>52</b>
Figura 3.1. Obtención del modelo conceptual de SITIEMS .....	57
Figura 3.2. Esquema de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador) .....	58
Figura 3.3. Estratificación del modelo conceptual .....	60
Tabla 3.1. Estructura de directorios .....	63
Figura 3.4a. GUI Menú Principal .....	64
Figura 3.4b. GUI Nuevo Levantamiento .....	65

## Índice de Figuras y Tablas

---

Figura 3.4c. GUI Visualizar Información .....	65
Figura 3.4d. GUI Gráficas y Selección de datos.....	67
Figura 3.4e. GUI Procesamiento .....	68
Figura 3.4f. GUI G31.....	68
Figura 3.4g. GUI Reportes .....	69
Figura 3.4h. GUI Mantenimiento a la Base de Datos .....	70
Figura 3.5. Fases de diseño de la Base de Datos.....	71
Figura 3.6. Diseño lógico de las tablas de SITIEMS .....	72
Figura 3.7. Diseño físico de la base de datos de SITIEMS .....	72
Figura 3.8. Entidad o tabla Cat_Servicio .....	73
Figura 3.9. Diseño de la BD y relaciones de SITIEMS .....	75
Figura 3.10a. Tabla y sus componentes .....	76
Figura 3.10b. Relación uno a muchos en SITIEMS.....	76
Figura 3.11. Interpretación de las relaciones .....	76
Figura 3.12. Tipo de poste R y RA para SPC.....	78
Figura 3.13. Disposición de elementos para toma de mediciones .....	79
Figura 3.14. Dimensión tabla kilometraje .....	79
Figura 3.15. Dimensión tabla encabezado .....	80
Figura 3.16. Dimensión tabla Corrientes .....	80
Figura 3.17. Dimensión tabla Potenciales .....	80
Figura 3.18. Dimensión tablas de Catálogos.....	81
Tabla 3.2. Ejemplo de Dimensionamiento de la BD .....	81
Figura 3.19. Arquitectura general de SITIEMS.....	83
Figura 3.20. Diagrama general de flujo del funcionamiento modular del SITIEMS .....	84
Figura 3.21. Diagrama de flujo de la descripción general del procesamiento ..... de datos de inspección de TIEMS .....	88
<b>CAPITULO 4. Desarrollo de módulos constitutivos de SITIEMS.....</b>	<b>91</b>
Figura 4.1. Estructura del módulo Menú Principal.....	92
Figura 4.2. Diagrama de flujo del menú principal .....	93
Figura 4.3. Interfaz del menú principal .....	94
Figura 4.4. Código de la interfaz de usuario para el menú principal.....	95
Figura 4.5. Estructura del módulo de Nuevo Levantamiento.....	95
Figura 4.6. GUI para Módulo de Nuevo Levantamiento .....	96
Figura 4.7. Estructura del Módulo de Visualización.....	97
Figura 4.8. GUI para Módulo de Visualización .....	99
Figura 4.9. Diagrama de Flujo para el módulo de Visualización.....	99
Figura 4.10. Estructura del módulo de Gráficas y Selección de Datos.....	100
Figura 4.11. GUI de Kilometraje DDV vs. Corriente .....	102
Figura 4.12. GUI de Kilometraje DDV vs. Profundidad.....	102
Figura 4.13. GUI para GPSX vs. GPSY .....	103
Figura 4.14. Estructura del módulo de procesamiento .....	104
Figura 4.15a. GUI de procesamiento .....	105
Figura 4.15b. GUI G31 .....	106





## Índice de Figuras y Tablas

---

# GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Abolladura.** Depresión en la superficie del tubo.

**Accidente.** Evento o combinación de eventos no deseados e inesperados que tienen consecuencias tales como lesiones al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daños al medio ambiente, daños a instalaciones o alteración a la actividad normal del proceso.

**Activo.** División interna de Pemex Exploración y Producción cuyo objetivo es el de explorar y producir petróleo crudo y gas natural. Esta organización se encuentra dirigida por un Subdirector Regional y se divide a su vez en activos de exploración, cuya responsabilidad es descubrir nuevos yacimientos de petróleo, y activos de producción, en los que recae la responsabilidad de administrar la producción de los campos petroleros.

**ADITEP @ditep.** Administración de Datos e Información Técnica de Exploración y Producción, organismo de PEMEX.

**Análisis.** Identificación, separación y estudio realizados a las partes de un todo, con el propósito de conocer sus principios o componentes.

**Análisis de integridad.** Es el análisis que se realiza para establecer criterios de severidad de defectos, requerimientos de inspección no destructiva y procedimientos de reparación que garanticen la seguridad del ducto durante su operación, la continuidad en la producción y mínimo impacto ambiental, todo lo anterior dentro de opciones económicamente viables.

**Anomalía.** Cualquier daño mecánico, defecto o condiciones externas que puedan poner o no en riesgo la integridad estructural del ducto durante su operación.

**Área desnuda equivalente.** Es un parámetro cuantitativo que resume todos los daños del revestimiento a un valor porcentual de área desnuda, considerando que el resto de revestimiento estuviera en estado perfecto o ideal.

**Bitácora.** Documento de información en el cual se registran y describen las actividades diarias trascendentales de toda la obra.

**Conductancia.** Es una medida de la facilidad de un conductor para permitir el movimiento de electrones, su recíproco es la resistencia.

**Conductividad.** Es la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de él. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones pueden pasar por él.

## Glosario de Términos

---

**Corriente de protección catódica.** Corriente eléctrica directa necesaria para obtener los valores del potencial de protección en una estructura metálica enterrada o sumergida en un electrolito.

**Corrosión.** Es el proceso de naturaleza electroquímica, por medio del cual los metales refinados retornan a formar compuestos (óxidos, hidróxidos, etc.) termodinámicamente estables debido a la interacción con el medio.

**Daño mecánico.** Es aquel producido por un agente externo ya sea por impacto, ralladura o presión y puede estar dentro o fuera de norma (NRF-227-PEMEX-2009).

**Defecto.** Imperfección de magnitud superior a los criterios aceptables.

**Derecho de vía (DDV).** Franja de terreno de un ancho específico protegido y libre de construcciones u otras alteraciones, donde se alojan los ductos al servicio de PEMEX con los señalamientos adecuados.

**Derivados:** Son los productos obtenidos directamente por destilación del petróleo.

**Diablo instrumentado.** Dispositivo que viaja en el interior del ducto impulsado por la diferencia de presión del producto que transporta, contiene sensores que registran las anomalías y corrosión en la parte metálica del ducto en las paredes interna y externas.

**Ducto.** Tubería para el transporte de crudo o gas natural entre dos puntos, ya sea tierra adentro o tierra afuera. Sistema que se compone de diferentes partes como: válvulas, bridas, accesorios, espárragos, dispositivos de seguridad o alivio, partes y componentes que se integran para realizar transporte de hidrocarburos.

**Ducto enterrado.** Es aquel ducto terrestre que está alojado generalmente por lo menos a 1.0 metro, bajo la superficie del terreno a partir del lomo superior en suelos secos o húmedos.

**EMF (.emf).** EMF (Enhanced MetaFile) es un metaformato gráfico vectorial de 32 bits, reconocido por casi todas las aplicaciones de diseño gráfico y compatible con los sistemas operativos Windows, pudiendo ser usado en las aplicaciones del paquete Office.

**Esquema de semáforo (Semaforización).** Término para definir la gravedad o grado de las zonas dañadas del revestimiento del ducto, en donde el color rojo indica daños severos y urge intervenir el ducto para mantenerlo operando, amarillo indica daños apreciables pero que requieren de atención inmediata y pueden ser programados para mantenimiento y el color verde que indica que el revestimiento está en buenas condiciones y cumpliendo con sus función de protección.

**Evaluación.** Es la determinación de la integridad mecánica de una instalación existente.

## Glosario de Términos

---

**Falla.** Es la pérdida de la capacidad de una instalación, ducto, equipo o componente para desempeñar una función requerida.

**Fuga.** Es la pérdida de contención de un líquido o gas debido a una falla en un equipo, ducto o componente.

**Fuga de Flujo magnético.** (MFL por sus siglas en inglés Magnetic Flux Leakage), variación del flujo magnético como resultado de pérdida de material en el ducto.

**Gasoducto.** Tubería para el transporte de gas natural a alta presión y grandes distancias. Los gasoductos pueden ser nacionales e internacionales, y suministran a una o varias regiones.

**Grieta o fisura.** Hendidura o abertura pequeña en la pared del tubo o en soldaduras longitudinales o circunferenciales.

**Hidrocarburo.** Cualquier compuesto orgánico o mezcla de compuestos, sólido, líquido o gas que contiene carbono e hidrógeno por ejemplo: carbón, aceite crudo y gas natural.

**Impacto.** Efecto probable o cierto, positivo o negativo, directo o indirecto, reversible o irreversible, de naturaleza social, económica y ambiental que deriva de una o varias acciones con origen en las actividades industriales.

**Impacto ambiental.** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**Imperfecciones.** Son las que se encuentran dentro de los límites de aceptación o “dentro de Norma”. Pueden ser de fabricación (inclusiones no metálicas, etc.), así como también corrosiones interiores o exteriores, abolladuras, arrancaduras, etc.

**Inhibidor de corrosión.** Formador de película/inhibidor, compuesto químico orgánico o inorgánico que al dosificarse al interior de los ductos forma una película entre la pared metálica y el medio corrosivo que disminuye o controla la velocidad de corrosión interior.

**Inspección.** Observación de cualquier operación realizada a materiales y/o componentes para determinar su aceptabilidad de acuerdo con los criterios proporcionados.

**Instalación superficial.** Porción de ducto no enterrado utilizado en troncales, válvulas de seccionamiento, trampas de envío y recibo que se emplean para desviar, reducir y regular la presión en el ducto, incluye válvulas, instrumentos de control y tubería.

**Mantenimiento.** Conjunto de técnicas que tienen por objeto conseguir una utilización óptima de los activos productivos, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente con gastos mínimos de operación.

## Glosario de Términos

---

**Mantenimiento correctivo.** Acción u operación que consiste en reparar los daños que ponen en riesgo la integridad de un ducto, en el mejor tiempo posible para evitar que pueda llegar a una falla, o en el caso de presentación de falla, será para restablecer la operación del mismo.

**Mantenimiento preventivo.** Acción u operación que se aplica antes de que ocurran fallas, manteniendo en buenas condiciones y en servicio continuo a todos los elementos que integran un ducto terrestre, a fin de no interrumpir las operaciones de este; así como de corrección de anomalías detectadas en su etapa inicial producto de la inspección al sistema, mediante programas derivados de un plan de mantenimiento, procurando que sea en el menor tiempo y costo.

**Norma.** Documento de observancia obligatoria.

**Oleoducto.** Tubería generalmente subterránea para transportar petróleo a cortas y largas distancias. En estas últimas se utilizan estaciones de bombeo.

**Omegas.** Es la medición de potenciales, valor de voltaje obtenido conectado directamente al poste de control o ducto descubierto.

**PEM.** Perfilaje Electromagnético, es la medición superficial de campo magnético empleando una antena transmisora y una receptora con una separación de 3.66 m y para una profundidad de estudio de 6m.

**Polietileno.** Polímero formado por la unión de moléculas de etileno; uno de los plásticos más importantes.

**Polipropileno.** Polímero formado uniendo moléculas de propileno.

**Prevención.** Conjunto de medidas tomadas para evitar o disminuir un riesgo.

**Presión.** El esfuerzo ejercido por un cuerpo sobre otro, ya sea por peso (gravedad) o mediante el uso de fuerza, se mide en términos de fuerza entre área, newtons/m<sup>2</sup>.

**Presión máxima de operación permisible (PMOP).** Es la presión máxima a la que un ducto puede ser sometido durante su operación.

**Procedimiento.** Documento que describe la secuencia de instrucciones o los pasos a seguir para la elaboración de una tarea o el cumplimiento de una metodología dentro de la empresa.

**Protección catódica.** Es el procedimiento eléctrico para proteger los ductos enterrados y/o sumergidos contra la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial convirtiendo la superficie metálica en cátodo mediante el paso de corriente directa proveniente del sistema seleccionado.

**Pruebas destructivas.** Son aquellas en que las propiedades físicas de un material son alteradas y sufren cambio en la estructura.

## Glosario de Términos

---

**Pruebas no destructivas.** Son aquellas en que las propiedades físicas de un material no se alteran ni sufren cambio en su estructura.

**Refinados.** Producto de un proceso que incluye el fraccionamiento y transformaciones químicas del petróleo.

**Remediación.** Actividad que se realiza en aquellos suelos y/o cuerpos de agua afectados por contaminación, para reducirla o eliminarla a niveles aceptables.

**Recubrimiento anticorrosivo.** Es una barrera firmemente adherida a la superficie metálica a proteger que la aísla de los agentes agresivos del ambiente o del medio circundante.

**Resistencia de fuga.** Es la deriva de corriente a tierra por un aislamiento deficiente y que lleva a constituir la resistencia del sistema ducto-suelo.

**Resistividad.** Resistencia eléctrica por unidad de volumen del material. Las mediciones de esta propiedad indican la capacidad relativa de un medio para transportar corriente eléctrica.

**Resistividad del terreno.** Resistencia por metro lineal que ofrece el terreno a la conducción de la corriente eléctrica, se expresa en ohms-cm., ohms-m.

**Señalamiento.** Avisos informativos, preventivos o restrictivos para indicar la presencia del ducto y/o referencia kilométrica del desarrollo de ducto. Es posible que los señalamientos estén dotados de conexiones eléctricas para funcionar como estaciones de registro de potencial.

**Señal EM.** Señal Electromagnética, radiación en forma de onda que se caracteriza por poseer dos campos uno eléctrico (vertical) y otro magnético (horizontal), oscilando perpendicularmente entre sí.

**Sistema de protección catódica (SPC).** Conjunto de elementos como: ánodos galvánicos o inertes, rectificadores de corriente eléctrica, cables y conexiones que tiene por objeto proteger catódicamente una tubería de acero contra la corrosión.

**Suelo.** Es un material no consolidado sobre la superficie de la tierra, constituido por varias capas horizontales que sostiene y nutre a las plantas y otros tipos de organismos cuyas características dependen del clima, material que lo origina, relieve, la biosfera y el tiempo.

**TIEMS.** Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial.

**Tubería enterrada o sumergida.** Es aquella tubería terrestre que está alojada bajo la superficie del terreno o en el lecho de un cuerpo de agua (pantano, río, laguna, lago etc.). No se refiere a tuberías instaladas en el lecho marino.

**Trampa de diablos.** Dispositivo utilizado para fines de envío o recibo de equipos de inspección o limpieza de la línea.

## Glosario de Términos

---

**Ultrasonido.** Es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del espectro auditivo del oído humano (aproximadamente 20000 Hz).

**Velocidad de corrosión.** Es la relación del desgaste del material metálico con respecto al tiempo.

**FUENTE: Petróleos Mexicanos. Glosario de términos usados en la Industria Petrolera.**



## CAPÍTULO 1.

# Introducción

Para la industria petrolera nacional el principal medio de transportación de hidrocarburos (crudo y gas) y sus derivados (refinados) es por ducto, ya que constituye la opción más segura, rápida y económica para su distribución.

Por su importancia estratégica y operación se provee a los ductos de diversas formas de protección ante posibles daños y presencia de corrosión, en forma externa; por recubrimientos y sistemas de protección catódica (SPC) y en forma interna mediante aplicación de inhibidores [25], [26]. Indistintamente de la aplicación de las diversas formas de protección, la integridad estructural y operación de los ductos está comprometida, por la exposición y/o acción de diferentes factores y condiciones entre ellos:

- Ambiente corrosivo.
- Naturaleza de los fluidos que transportan.
- Deformaciones mecánicas.
- Inadecuado sistema de protección catódica (SPC).
- Movimientos microtectónicos.
- Golpe de maquinaria.

Dando como resultado la presencia de fallas y/o defectos como:

- Pérdida del recubrimiento (aislamiento anticorrosivo).
- Desgaste de las paredes del ducto.
- Operación inapropiada SPC.
- Corrosión debido a:
  - Picaduras.
  - Abolladuras provocadas por impactos externos.
  - Fracturas en las soldaduras.
  - Grietas asociadas a la corrosión bajo tensión SCC (por sus siglas en inglés stress corrosion cracking).

Y el efecto final de las fallas y/o defectos son: el colapso del ducto que conlleva a desastrosos accidentes ver figura 1.1., que repercuten en:

- Fugas de hidrocarburos.
- Fuerte impacto social, ambiental y económico.
- Daño estructural en las instalaciones.



a) Fugas de hidrocarburos.

b) Daño a ecosistemas.

c) Daño a instalaciones.

Figura 1.1. Efectos de las fallas en ductos.

Para mantener operando en buen estado la red nacional de ductos es necesario realizar: inspecciones, registros y monitoreo de los ductos así como del entorno donde se ubican, este proceso involucra el levantamiento periódico de información así como su respectivo análisis y procesamiento que tiene la finalidad de identificar oportunamente las fallas y/o defectos para tomar medidas preventivas. Uno de los efectos de mayor impacto es la presencia de corrosión como resultado de la exposición del metal al medio y que en alto porcentaje está asociada al deterioro o mal estado del recubrimiento de los ductos [38].

La ejecución de las medidas preventivas dentro de programas de mantenimiento permite la continuidad y aseguramiento de operación de los ductos.

### 1.1 Marco Conceptual de los Métodos de inspección de ductos

La aplicación del tipo de inspección en ductos y tecnología depende de la naturaleza de las fallas que pueden presentar y de la importancia estratégica e impacto (social, económico y ambiental) de cada ducto.

El procesamiento de los datos de las inspecciones externas e internas permiten obtener información del ducto para determinar las características técnicas y sus variaciones durante el proceso de explotación, que redundan en la confiabilidad, integridad, seguridad operativa, conocimiento y control de la velocidad de corrosión, así los resultados son orientados al desarrollo e implantación de los programas de mantenimiento predictivo y preventivo.

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de inspección: interna y externa así como sus métodos y tecnologías más utilizadas, especificando la aplicación, alcance y su orientación hacia el tipo de mantenimiento.

Para el propósito de este trabajo se resalta el caso de la inspección externa con tecnología electromagnética superficial para determinar el estado del recubrimiento de ductos, orientada a la prevención de fallas.

### 1.1.1 Inspección interna

Inspección de tipo invasiva ya que se introduce un dispositivo en el ducto denominado “diablo instrumentado” que viaja impulsado por la diferencia de presión del producto que transporta, contiene sensores que registran las anomalías y corrosión en la parte metálica del ducto en las paredes interna y externas, a partir de esta información se puede conocer la ubicación y el estado físico del ducto determinando: diámetro, cambios de espesor, pérdida localizada de espesor, ovalidad, deformaciones, abolladuras y grietas. Las tecnologías de diablos instrumentados disponibles en el mercado son: flujo magnético y ultrasonido orientados a la prevención de fallas. Estas tecnologías no pueden determinar el estado del recubrimiento de los ductos y el estado del SPC.

#### 1.1.1.1 Diablo instrumentado con tecnología electromagnética.

Los diablos con tecnología de flujo magnético basan su operación en magnetizar la pared de la tubería y detectar la fuga de flujo magnético (MFL por sus siglas en inglés Magnetic Flux Leakage) indicativo de la existencia de imperfecciones asociadas a la pérdida de material o corrosión.

#### 1.1.1.2 Diablo instrumentado con tecnología sónica.

Los diablos con tecnología de ultrasonido, se basan en excitar eléctricamente un transductor (cristales o elementos piezoeléctricos) que al vibrar a altas frecuencias (rango que va desde 0.25 hasta 25 MHz) produce las señales ultrasónicas que viajan por el ducto metálico, al alcanzar la frontera del material, la señal sónica es reflejada y se recibe el eco por otro o en el mismo transductor. Se mide el tiempo de tránsito de la señal, desde inicio de disparo sónico hasta la detección de su eco, para calcular la diferencia de distancias y calcular el espesor del ducto, permitiendo detectar discontinuidades superficiales.

### 1.1.2 Inspección externa

Se realiza de forma no invasiva y no destructiva, permitiendo detectar problemas que afectan la integridad de los ductos, a continuación se hace una breve referencia y alcance de las más relevantes.

- Termografía infrarroja.
- Caída de presión.
- Inspección visual.
- Métodos electromagnéticos y eléctricos.

#### 1.1.2.1 Termografía infrarroja

Es una técnica que permite determinar las posibles anomalías del ducto y fugas del fluido que transporta, mediante la medición precisa de temperaturas superiores

---

al Cero Absoluto (-273°C) sin la necesidad de hacer contacto. El principio de operación es que los cuerpos de acuerdo a su condición térmica irradian energía con una longitud de onda del espectro electromagnético de 0.75  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$ . Una cámara infrarroja permite medir la energía radiada emitida por los objetos y su entorno, mediante algoritmos matemáticos se realiza conversiones a temperatura y su escalamiento a colores, en donde cada color indica una temperatura diferente.

### **1.1.2.2 Caída de Presión**

Este método evalúa la integridad mecánica del ducto, se somete al ducto a contener agua a una presión de prueba de 1.25 la presión máxima de operación (MAOP por sus siglas en inglés Maximum Admissible Operating Pressure) por un tiempo determinado (mínimo de 8 horas, hasta 24 horas). Cuando los medidores registran una pérdida de presión, se pueden localizar los siguientes problemas:

- Pérdida total interna o externa de material base de la tubería.
- Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos SCC.
- Defectos de fabricación (costura o metal base defectuoso).
- Soldadura circunferencial defectuosa.

### **1.1.2.3 Inspección visual**

Este método consiste en realizar una inspección visual a lo largo del ducto, con el fin de determinar; defectos, anomalías y problemas que tenga el ducto y sean evidentes por las condiciones que presenta la vegetación, aportando información subjetiva, dependiendo mucho de la experiencia del personal y limitado a cubrir áreas dentro del rango visual y superficial.

Los métodos de inspección: termografía infrarroja, caída de presión e inspección visual, no determinan la causa del problema, su resultado es cualitativo y además son de carácter correctivo, es decir los efectos de las fallas en los ductos pueden ya estar presentes, desde fugas relativamente fácil de controlar hasta accidentes de diversa magnitud en los cuales solo resta realizar acciones correctivas.

### **1.1.2.4 Inspección electromagnética y eléctrica**

La particularidad de este tipo de inspecciones es que son de carácter predictivo y preventivo, se utilizan para la determinación del estado del recubrimiento y del SPC así como localización del ducto en plano y profundidad, además ubican la falla del recubrimiento. De acuerdo a los alcances se utilizan de forma individual o combinada.

## 1.2 Métodos de Inspección Eléctricos (E) y Electromagnéticos (EM)

Consisten en medir el campo eléctrico o electromagnético producido por una corriente que circula a lo largo del ducto en su parte metálica [34]. A nivel mundial en esta categoría existen entre otros:

- **CIPS** (por sus siglas en inglés Close Interval Potential Survey) (**E**).
- **DCVG** (por sus siglas en inglés Direct Current Voltage Gradient) (**E**).
- **ACVG** (por sus siglas en inglés Alternating Current Voltage Gradient) (**E**).
- **PCM** (por sus siglas en inglés Pipeline Current Mapper) (**EM**).
- **TIEMS** (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial) (**EM**).

### 1.2.1. Métodos Eléctricos

Determinan de manera cualitativa la efectividad del SPC (sistema de protección catódica) y del recubrimiento de los ductos, se basan en la medición del campo eléctrico producido por las estaciones de rectificación de protección catódica o por los ánodos de sacrificio [43], [31]. Entre ellos están:

- **CIPS** (Estudio del Potencial de Intervalo Cerrado).
- **DCVG** (Gradiente del Voltaje de Corriente Directa).
- **ACVG** (Gradiente de Voltaje de Corriente Alterna)

#### 1.2.1.1 Método CIPS

El método CIPS [31], evalúa cualitativamente la efectividad del SPC. Esta evaluación se realiza analizando los estados “on-off”, cuando el SPC está conectado y cuando está desconectado. Para la obtención de los datos se utilizan temporizadores cíclicos para desconectar intermitentemente el SPC, ver figura 1.2. El SPC se evalúa con referencia al perfil de los potenciales que deben mantenerse entre -850 y -1140 mV., (fronteras de subprotección y sobreprotección respectivamente), para mediciones menores a -850 mV., se considera insuficiente la polarización del acero del ducto (situación que puede permitir la corrosión), mediciones mayores a -1140 mV., indican una excesiva polarización del acero del ducto (sugiere daño en el recubrimiento por efectos de despegue catódico).

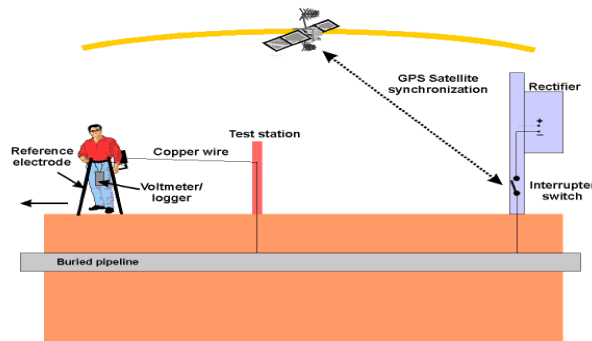


Figura 1.2. Método CIPS.

**1.2.1.2** El método **DCVG** es utilizado para la localización de defectos en el recubrimiento del ducto, indicativos de presencia de corrosión y la severidad de los mismos, expone el comportamiento de los SPC [35]. La protección catódica (P.C.) resulta en un flujo de corriente hacia los puntos expuestos del acero del ducto, los defectos se localizan individualmente. Una vez localizado el defecto se determina su importancia considerando su tamaño. Este método tiene sus limitaciones en arreglos de tuberías interconectadas con DDV compartido.

La inspección combinada **CIPS** y **DCVG** [25] permiten valorar el estado del recubrimiento y la protección catódica. Ambos métodos no pueden revelar las causas que originan las anomalías en el campo eléctrico medido, no proporcionan una estimación cuantitativa de la resistencia de fuga y se necesita conocer la trayectoria de los ductos. Los resultados de medición del campo eléctrico dependen significativamente de las propiedades del medio ambiente (resistividad del subsuelo) y pueden variar con las condiciones climáticas por lo que las mediciones se pueden subvalorar o sobrevalorar.

**1.2.1.3** El método **ACVG** detecta cualitativamente daños en el aislamiento con base a la determinación de las diferencias de campo eléctrico de CA (corriente alterna) a lo largo del ducto [35]. No relacionan los parámetros del ducto con el campo eléctrico medido y, además no se considera la influencia de las variaciones en la profundidad de las tuberías ni la corriente de fuga a través del recubrimiento. El método es similar a DCVG solo que en este caso se utiliza un generador de señal de corriente alterna.

## **1.2.2. Métodos Electromagnéticos**

Están basados en la medición del campo electromagnético sobre el ducto y son utilizados para determinar la trayectoria de la tubería y la calidad del recubrimiento. El campo electromagnético es producido por una corriente alterna (CA) que fluye a lo largo de la tubería y que es generada por las estaciones de protección catódica o bien por fuentes externas. Entre estos métodos tenemos:

- **PCM** (Trazador de Corrientes en Tuberías).
- **TIEMS** (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial).

### **1.2.2.1 PCM (Trazador de Corrientes en Tuberías)**

El método PCM [28] determina cualitativamente la condición promedio del recubrimiento. Los equipos de medición deben situarse arriba del ducto, mediante un generador se aplican señales de corriente alterna al ducto generando un campo electromagnético, mediante un acoplamiento inductivo entre la tubería y una antena se detecta en superficie dicho campo para medir la intensidad de la señal de corriente circulante en el ducto en cada punto de medición y determinar la atenuación de la señal como una función de la distancia.

La atenuación es utilizada para indicar la condición promedio del recubrimiento. El método PCM al ser cualitativo, no proporciona una estimación de la magnitud de las resistencias de fuga y del recubrimiento, además el método PCM, no considera la influencia de las variaciones en la profundidad de las tuberías.

### **1.2.2.2 TIEMS (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial)**

Es una tecnología no invasiva y no destructiva que permite caracterizar el estado del recubrimiento del ducto [24]. Su base es la medición del campo electromagnético (EM) generado por señales de corriente aplicadas en la parte metálica del ducto por medio de un generador. TIEMS permite localizar y cuantificar los daños en el recubrimiento [7]. La tecnología también evalúa el funcionamiento del SPC y determina el nivel de agresividad del suelo al ducto, además de caracterizar grupos de ductos interconectados entre sí y con profundidades de hasta 20 metros. TIEMS no requiere interrumpir el SPC y es utilizado en arreglos complejos de tuberías en DDV compartidos. TIEMS es la tecnología que en comparativa, por campo de aplicación con las demás detecta la mayor cantidad de problemas en los ductos (Ver Anexo A).

## **1.3 Antecedentes de softwares empleados en los métodos de inspección de ductos**

En general, las compañías proveedoras del servicio de inspección de ductos de los métodos CIPS, DCVG, ACVG y PCM son propietarias del software específico de sus respectivos métodos, que en muchos casos no son objeto de venta. Las compañías son contratadas para proveer el servicio de inspección desde el levantamiento de los datos de campo hasta realizar una interpretación basada en la experiencia del especialista y en muchos casos su responsabilidad se reduce a dar una interpretación de los resultados sin el compromiso expreso de ser verificados.

En cuanto al software comercial accesible, estos son repositorios que permiten la introducción de los datos de inspección de uno o varios métodos, los datos son presentados en forma tabular o en diversas gráficas, en las cuales el especialista relaciona e interpreta los datos de acuerdo a su conocimiento y experiencia, emitiendo un resultado puramente cualitativo, generando los informes respectivos.

Compañías como Tecnología Total Control integral de la corrosión [37], cuentan con software propietario especializado, ver figura 1.3. (Software DCVG), el alcance de este software está orientado a la integración y visualización de información de las inspecciones exteriores del ducto para determinación cualitativa del recubrimiento y del SPC.



Figura 1.3. Software DCVG.

La compañía DC Voltage Gradient Technology & Supply Ltd, cuenta con software propietario para las tecnologías DCVG, CIPS y DCVG-CIPS, para interpretar cualitativamente el estado del SPC y recubrimiento del ducto. Cuentan con una base de datos en ACCESS y los datos son introducidos manualmente mediante Windows forms o importados desde Microsoft Excel.

- **Software DCVG.**

El software toma datos de campo de gradientes de voltaje de CD para calcular la severidad de la falla en el recubrimiento, aplica correcciones y señala en una gráfica la localización y estado de corrosión. También puede comparar datos de inspección pasados y presentes, ver figura 1.4.

- **Software CIPS.**

Permite corregir datos de campo y mostrar gráficamente fallas de recubrimiento ver figura 1.4., los potenciales “on”-“off” figura 1.5 o datos que se muestran en forma tabular ver tabla 1.1.



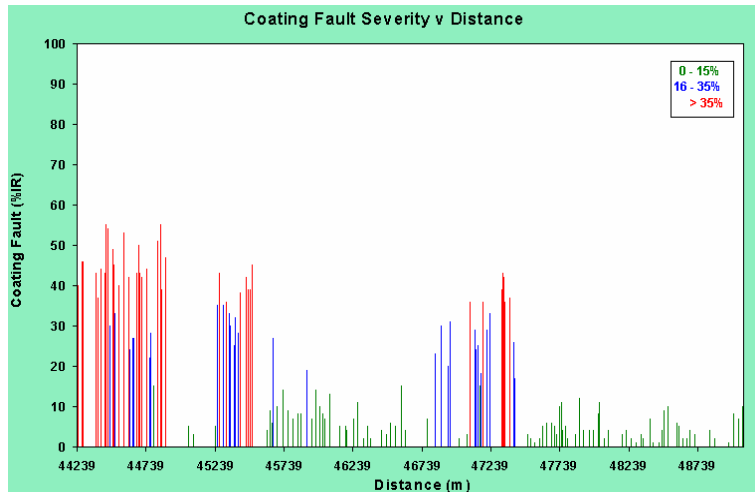


Figura 1.4. Presentación gráfica DCVG

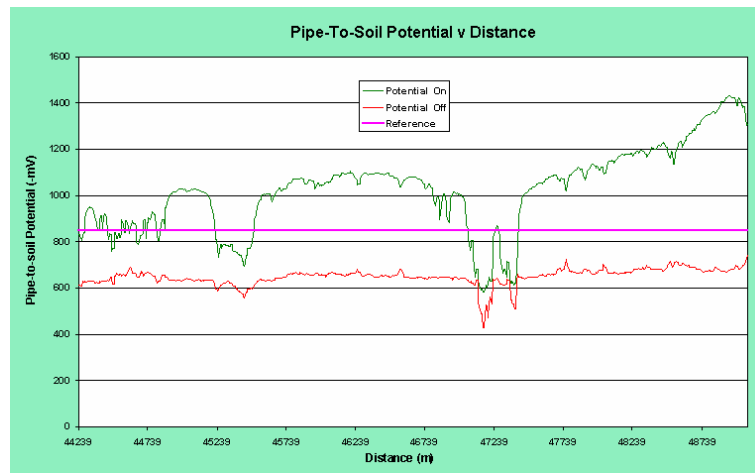


Figura 1.5. Presentación gráfica de potenciales “on”-“off” CIPS

**Table 2: Pipeline From 0 To 401 m - All Readings**

Chainage:	Pipe to Soil Potential		Corrected Potential		Episcor/ Reading	Faults:
	ON:	OFF:	ON:	OFF:		
110	1264	1201	1264	1194	No	
136	1265	1202	1264	1187	Yes	COATINGFAULT
171	1241	1228	1240	1198	No	
189	1259	1224	1257	1186	No	
224	1291	1230	1291	1223	No	
241	1264	1249	1263	1235	No	
258	1265	1247	1264	1225	Yes	COATINGFAULT
291	1247	1214	1245	1177	No	
324	1290	1214	1290	1237	No	
339	1310	1176	1309	1153	No	
355	1285	1147	1284	1127	No	
370	1269	1268	1268	1231	No	
306	1297	1247	1296	1210	No	

Tabla 1.1. Presentación tabular potenciales “on” -“off” CIPS

La compañía Protan S. A., cuenta con software que combina las capacidades de los métodos CIPS y DCVG [30].

- **Software CIPS & DCVG**

Es una herramienta informática orientada al análisis de la información de campo, combina las propiedades de los programas DCVG and CIPS, permite la carga y análisis integrado de los datos generados en ambos tipos de inspección. Mediante la generación de diferentes tipos de gráficos el especialista evalúa la influencia de los defectos en el recubrimiento sobre los niveles de protección catódica. Permite con la información obtenida en la inspección CIPS, realizar correcciones en los valores de IR (caída de potencial) de los defectos localizados en la inspección DCVG, Figura 1.6.

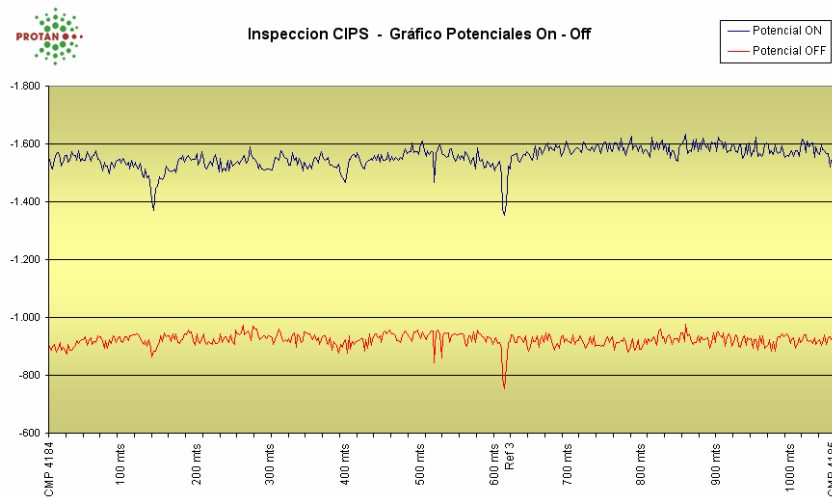


Figura 1.6. Software CIPS & DCVG.

La compañía TechCorr, cuenta con un sistema de gestión de datos de inspección Visual AIM [36], que permite visualizar los datos y los reportes de las inspecciones. Contiene un módulo que proporciona un repositorio para mediciones de espesor por ultrasonido, inspección visual, imágenes de rayos X digital e informes de datos de inspección avanzada. Se calcula velocidad de corrosión, vida remanente, presiones máximas de operación permitidas (PMOP), las fechas de retiro, y otros cálculos usados para determinar los intervalos de las nuevas inspecciones. Este software está orientado a la administración de datos de inspecciones internas de ductos y correlacionar con información visual y de rayos X.

La compañía iGP (Ingeniería Gas y Petróleo) cuenta con el Software Spectrum XLI [14], permite la integración de todos los datos inspeccionados de los diferentes métodos: CIPS, DCVG, ACVG y permite realizar un reporte único ver Figura. 1.7.

La totalidad de las técnicas se pueden visualizar en una sola pantalla (la línea amarilla en cada gráfico representa el mismo punto de interés). Los defectos encontrados con DCVG se alinean con la zona de pendientes negativas ACCA (atenuación de corriente), con los picos ACVG (gradiente de potencial de corriente alterna) y las caídas de los potenciales "on", "off", respectivamente del método CIPS. Esta información junto con el perfil topográfico permite identificar las características del problema y tener todos los elementos para categorizar y priorizar la reparación del defecto encontrado.



Figura 1.7. Software Spectrum XLI.

Lo anterior optimiza el análisis y amplía las posibilidades de manejo de información para dar una interpretación cualitativa del defecto.

Generalmente los diversos softwares comerciales disponibles son repositorios y visualizadores de datos, que permiten la inclusión limitada de información adicional debido a que hay que adaptarse a las características y propiedades del mismo.

Normalmente requieren de un operador especializado para adaptar, evaluar, interpretar y correlacionar la información. Por otro lado presentan serias restricciones para añadir nuevos módulos que permitan incluir modelos de cálculo y extensiones sobre la lectura de parámetros de operación y datos de inspección obtenidos en campo.

#### 1.4 Software SITIEMS, una solución integral.

TIEMS conforma por su complejidad todo un Sistema de Información (SI en adelante), la figura 1.8., muestra el esquema de procesamiento anterior de la TIEMS, se indica el flujo de datos e información desde la inspección hasta la emisión de reportes de interpretación.

Todo el procesamiento e interpretación de la información de una inspección es realizado con diferentes herramientas de cómputo y aplicaciones de software (Excel, Surfer, Corel Draw, GW Basic y MATLAB), con las que el usuario realiza de forma manual una adecuación y selección de datos para poder ejecutar las rutinas de cálculo y aplicar los modelos de TIEMS, de acuerdo a la etapa correspondiente, para finalmente emitir resultados parciales o finales que el usuario especialista interpreta, ver figura 1.8., Esquema anterior de procesamiento de la TIEMS.

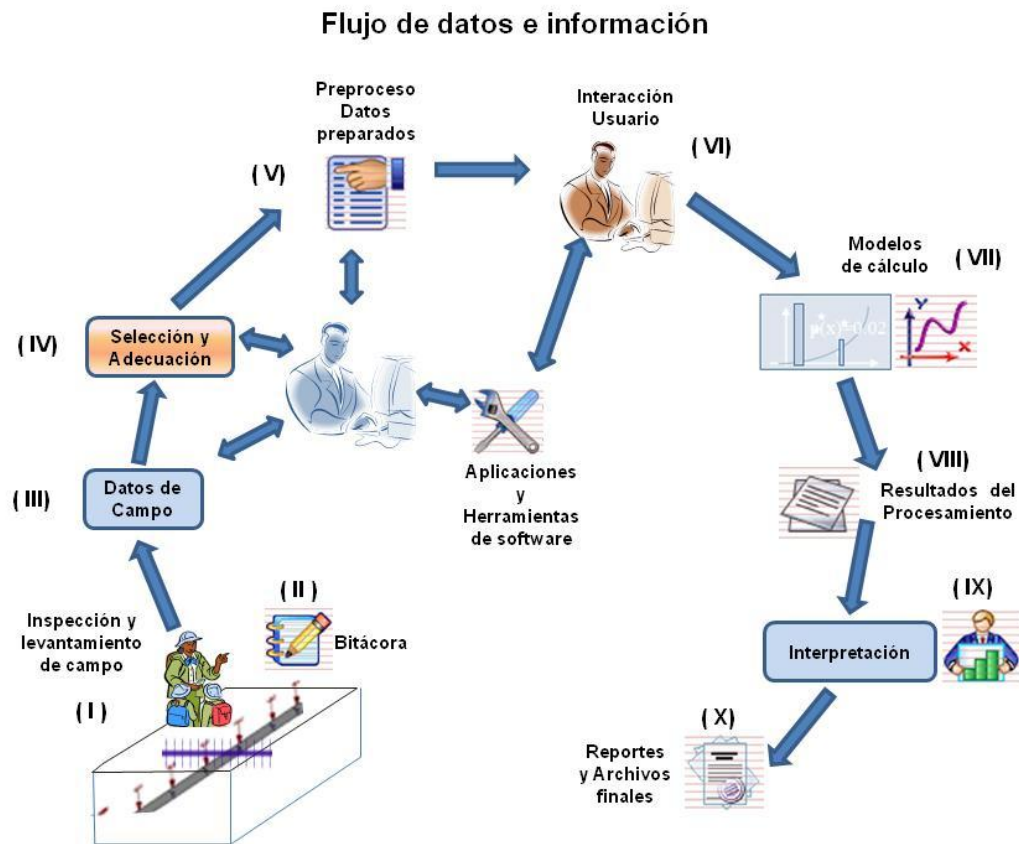


Figura 1.8. Esquema anterior de procesamiento de la TIEMS.

- I. **Inspección del ducto.** Se realiza un levantamiento en campo de los datos asociados al ducto, las mediciones de las variables electromagnéticas necesarias para TIEMS con los instrumentos adecuados de acuerdo a procedimiento, además de información de conductividad almacenada en los instrumentos de medición específico.
- II. **Registro de datos.** Los datos de inspección electromagnética se registran en una bitácora por personal de la cuadrilla de inspección.

- III. **Datos de campo.** Se realiza una selección y ordenamiento de datos de acuerdo al criterio del especialista, los datos adquieren la característica de información y son almacenados temporalmente en una hoja de Excel o en un archivo tipo texto los cuales el especialista nombra sin aplicar ninguna regla de nomenclatura.
- IV. **Selección y adecuación.** El usuario realiza un tratamiento (adecuación y selección) de los datos obtenidos por los diferentes instrumentos de medición mediante herramientas de software (Excel, convertidores de formato de archivo).
- V. **Pre-proceso de datos preparados.** La información se adecua para compatibilidad y requerimientos de los modelos de cálculo.  
El pre-proceso es realizado por el usuario especialista utilizando herramientas de software aisladas Excel, Surfer®, Corel Draw®.
- VI. **Interacción del usuario.** El especialista de interpretación adecua y selecciona la información interactuando con ella mediante aplicaciones y herramientas de software para ser utilizada por los modelos de cálculo de TIEMS.
- VII. **Modelos de cálculo de TIEMS.** Procesan la información bajo los esquemas y alcances de los modelos y se obtienen los resultados respectivos en diferentes formatos: archivos, gráficas y reportes. El especialista asocia valores de forma manual a variables dentro de los modelos.
- VIII. **Resultados del procesamiento.** Los resultados del procesamiento se obtienen en diferente presentación, gráficas, archivos y vistas. El usuario especialista los analiza y evalúa considerando los criterios de rangos de valores para un esquema de semáforo.
- IX. **Interpretación.** El especialista de interpretación emite un criterio sobre los resultados de la información procesada de acuerdo a los lineamientos de TIEMS en donde existen rangos de operación y aceptación para ciertas variables.
- X. **Reportes y archivos finales.** Finalmente el especialista emite reportes finales sobre los resultados de inspección y observaciones del ducto, para que otras instancias de mayor jerarquía decidan sobre las acciones a seguir.

Debido a la complejidad de los datos que se adquieren en campo, los cálculos y su procesamiento es necesario contar con un software integral que disminuya las fuentes de error durante el flujo de información, optimice el tiempo de procesamiento, haga más eficiente el uso de los modelos, organice mejor la información de procesamiento y genere resultados rápida y adecuadamente para ayuda en la toma de decisiones.

### 1.5 Planteamiento del problema

Existen softwares comerciales que no son susceptibles de ser utilizados para el manejo y procesamiento de los datos de TIEMS, ya que la mayoría de ellos sirven

solamente como repositorios y siendo de carácter propietario no permiten modificación de su código, su alcance está limitado a las tecnologías para la que fueron creados.

La TIEMS no dispone de un software integral interactivo orientado al manejo, procesamiento y obtención de resultados de los datos de las señales electromagnéticas superficiales, que permita: la interrelación usuario-modelo-datos y del sistema ducto-suelo, el manejo consistente y confiable de los datos, la extensión y uso de las capacidades de los modelos de TIEMS para interpretación de información de forma flexible y rápida.

Diferentes especialistas están involucrados en el manejo y procesamiento de información, desde la obtención de datos de inspección de TIEMS hasta el procesamiento e interpretación de los mismos, durante el flujo de información de una etapa a otra se utilizan aplicaciones dispersas de software (MATLAB, Corel Draw, Excel Surfer) en donde el usuario aplica su criterio al seleccionar y adecuar la información, durante este proceso los usuarios pueden introducir errores de apreciación que repercuten en los resultados.

Los diferentes archivos generados durante alguna etapa del proceso son nombrados sin ninguna regla así como su almacenamiento y cuando la información de estos se utiliza en la siguiente etapa se consume tiempo entre los especialistas para acordar e identificar el nombre de los archivos específicos.

El método de trabajo, modo o secuencia para selección de información para el procesamiento de información no es homogéneo entre los especialistas.

No se tiene un sistema integral que permita organizar y optimizar la información de inspecciones bajo TIEMS de los ductos de PEMEX para analizarla y correlacionarla.

**En muchos casos lo anterior se traduce en:**

- Errores en el procesamiento.
- Limitación para extensión y uso de las capacidades de los modelos de TIEMS para interpretación de información de forma flexible y rápida.
- El proceso de manejo de información no es homogéneo entre los especialistas.
- El flujo de información entre etapas no está optimizado.
- Mínima interrelación en los sistemas: usuario-modelo-datos y ducto-suelo.
- Manejo inconsistente y poco confiable de los datos.
- Organización de archivos generados no optimizada.
- Baja integración de aplicaciones y funciones.
- Limitación en la estimación de resultados y optimización de tiempo en la interpretación.
- Mayor tiempo para entrega de resultados.

## 1.6 Motivación

TIEMS es una tecnología nacional producto de años de investigación, es de vital importancia que cuente con un software a la medida que permita explotar y ampliar sus alcances en la determinación del estado del recubrimiento de ductos de PEMEX.

## 1.7 Propuesta de solución

- Establecer una metodología de análisis, diseño, desarrollo, construcción y validación de un sistema integral basado en computadora SITIEMS para el procesamiento de datos asociados a la TIEMS y determine cualitativamente como cuantitativamente el estado del recubrimiento de ductos y sirva como un apoyo en la toma de decisiones
- Generar esquemas de organización para los archivos generados.
- Implantar SITIEMS como parte integral en el procesamiento de señales de la TIEMS.
- Que SITIEMS sea un aporte a la disminución de la dependencia tecnológica en estos sistemas.

## 1.8 Objetivos del trabajo de tesis

El presente trabajo de investigación plantea los siguientes objetivos.

### 1.8.1 Objetivo principal

- Desarrollar un sistema de información integral por computadora (SITIEMS) para procesamiento de datos de las señales del tipo electromagnéticas superficiales y que determine cuantitativamente como cualitativamente el estado del recubrimiento de los ductos.

### 1.8.2 Objetivos específicos

- Evaluación de posibles escenarios del procesamiento y resultados mediante el interactuar del usuario con los datos.
- Adecuación automática de datos de resistividad para fuentes diferentes y estimación inmediata de resultados para cambios en la información de resistividad de suelos.
- Organización y generación automática de archivos de resultados de cálculo en diferentes formatos (texto, gráfico, hoja de Excel©) y la emisión de reportes que contienen el resultado del procesamiento de información de la TIEMS.
- Disminuir los errores introducidos por los especialistas durante el manejo de información en las diferentes etapas.

La consecución de lo anterior soporta el objetivo de esta investigación.

### 1.8.3 Alcances.

Para lograr los objetivos planteados fue necesario desarrollar un sistema de información por computadora SITIEMS (Sistema Integral de la Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial) que cubriera las necesidades de manejo y procesamiento de información de la TIEMS en su etapa regional para ello fue necesario proponer un esquema general del nuevo sistema SITIEMS como se muestra en la figura 1.9.

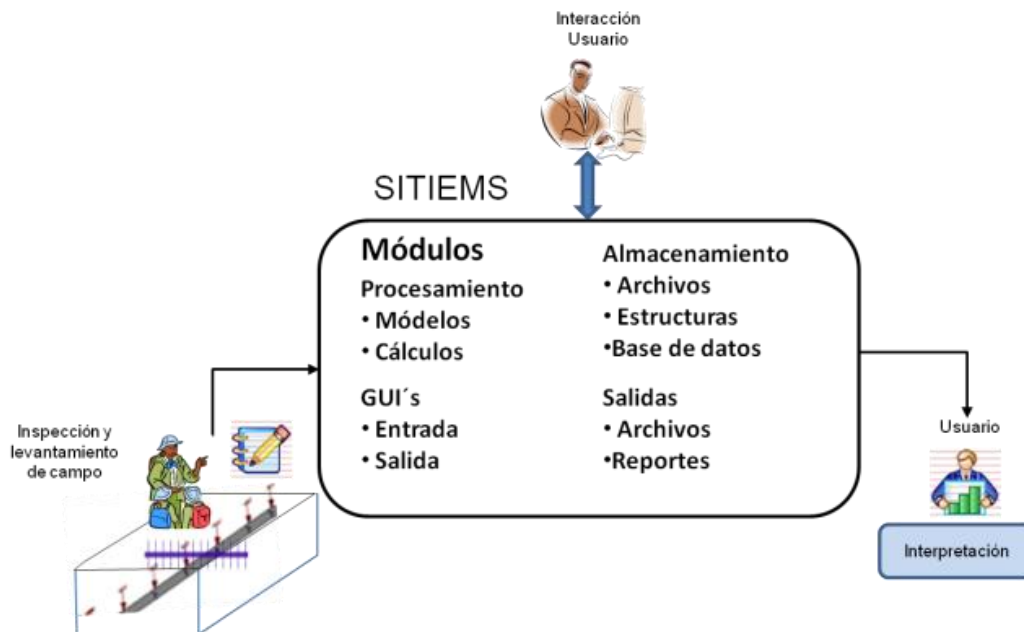


Figura 1.9. Esquema general del sistema nuevo SITIEMS.

El esquema de SITIEMS se fundamenta en el enfoque de sistemas el cual facilita visualizar los principales bloques funcionales de entrada, proceso y salida de acuerdo al entorno y tipo de información que manejan.

Se contempla en el nuevo sistema (SITIEMS), satisfacer los diferentes requerimientos. Se asocia la información proveniente del proceso de inspección (mundo real) con la relacionada en los modelos de cálculo realizando el procesamiento hasta llegar a la interpretación de la información generando las respectivas salidas.

Para el desarrollo de SITIEMS basado en el esquema propuesto fue necesario:

- Establecer una metodología de desarrollo de sistemas para la tecnología TIEMS.
- Integrar, organizar y clasificar la información necesaria para la aplicación de la TIEMS.



- Diseñar estructuras de almacenamiento y programas de cómputo para manejo, procesamiento, aplicación y extensión de las capacidades de los modelos de TIEMS.
- Diseñar módulos de entrega de resultados de manera óptima y oportuna para la interpretación de la información.
- Dotar de los elementos necesarios a SITIEMS para ser una herramienta determinante en el apoyo en la toma de decisiones a nivel de especialización.

### **1.9 Aportaciones**

Se provee un sistema integral basado en computadora que integra diversas herramientas para el procesamiento de la información de TIEMS, disminuyendo los tiempos de procesamiento e interpretación.

Se provee al sistema de las interfaces gráficas de usuario propias para interactuar con los datos en forma gráfica para crear diferentes escenarios del procesamiento eliminando errores en la selección de información y generando los archivos asociados de forma automática.

Organización, generación y nomenclatura de archivos asociados al procesamiento en forma automática. Se automatiza el acondicionamiento de la información de los archivos de resistividad del medio (suelo) y su influencia en los cálculos asociados a la resistencia de fuga para obtener la resistencia del recubrimiento.

Se presentan interfaces para la emisión de reportes de los resultados de inspección.

### **1.10 Estructura de la tesis**

La tesis desarrollada se conforma de seis capítulos listados a continuación:

- 1. Introducción.**
- 2. Análisis de las características de la información de TIEMS**
- 3. Diseño del sistema integral SITIEMS**
- 4. Desarrollo de los módulos constitutivos de SITIEMS**
- 5. Implantación y evaluación del sistema integral SITIEMS**
- 6. Conclusiones**

A continuación se da una breve descripción de cada capítulo.

El capítulo 1. Puntualiza la importancia de los ductos como medio de transporte de hidrocarburos, así como los problemas a los que están expuestos y los métodos de inspección para determinar su estado e integridad mecánica. Se mencionan y analizan las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de inspección

para finalmente enmarcar la tecnología TIEMS como la más apta para la inspección electromagnética no invasiva. Se presentó una evaluación de los diferentes softwares destacando sus ventajas y desventajas. Se concluyó que su soporte principal en la interpretación está basado en métodos empíricos, al ser de carácter propietario no permiten la extensión o modificación de código para poder ser adaptados a otros desarrollos. Se planteó a SITIEMS como la propuesta de solución siendo un sistema a la medida para la tecnología TIEMS. SITIEMS permite el manejo integral y óptimo de la información, su organización, el uso de los modelos de cálculo y genera las salidas adecuadas para la toma de decisiones.

En el capítulo 2. Se analiza a TIEMS bajo un enfoque de sistemas dividiéndolo en sistemas o subsistemas que permitan visualizar los principales bloques funcionales de entrada, proceso y salida para que faciliten la aplicación de metodologías como el ciclo clásico de desarrollo de sistemas para facilitar el análisis y determinar sus bloques funcionales. Mediante la herramienta de flujo de datos de información de TIEMS se especifica el tipo de información asociado a cada bloque funcional de tal forma que se agrupen variables de acuerdo a sus características descriptivas: de entorno, cálculo y control administrativo. Se analiza el ¿qué es TIEMS? y de qué forma trabaja la implementación actual del procesamiento de información de TIEMS, se indica: ¿qué? debe hacer el nuevo sistema propuesto y ¿qué? debe de realizar con la información. Se especifican los requisitos de usuario de sistema y de método, este último referente a los requisitos de TIEMS. Se presentan los esquemas lógicos de SITIEMS y se proponen estructuras contenedoras de variables que se relacionan para conformar la solución.

En el capítulo 3. Se diseñan los módulos o bloques constitutivos de SITIEMS, es decir cómo el sistema está formado para satisfacer los requerimientos enmarcados en el análisis. Se muestra cómo se conforman las interfaces gráficas de usuario de acuerdo al flujo de datos e información. Se especifican las características funcionales de SITIEMS tomando en cuenta todos los requisitos de: TIEMS, usuario, políticas de negocio y del sistema. Se especifican y se clasifican las variables físicas de las mediciones de campo asociándolas a variables lógicas a ser utilizadas en los modelos de procesamiento de TIEMS. En esta etapa se indica el ¿Cómo? ha de realizarse lo esperado en la fase de análisis.

En el capítulo 4. Se implementan físicamente las estructuras, módulos, algoritmos y procedimientos de SITIEMS, en esta etapa se transforman los módulos lógicos a módulos operativos de cada bloque funcional. Se estructura y construye la Base de Datos de SITIEMS y se materializan los diseños de las interfaces gráficas de usuario y control de flujo de programa.

En el capítulo 5. Se realizan las actividades para implantar el sistema nuevo, se realizan pruebas funcionales de SITIEMS, se establecen puntos de control de la secuencia de procesamiento de la información de TIEMS, así como de presentación de información en las diferentes interfaces de usuario, finalmente se

evalúan los resultados de SITIEMS con respecto a resultados ya probados en la metodología tradicional para verificar la validez del sistema.

En el capítulo 6. Se presentan las conclusiones y mejoras que a futuro se le pueden hacer al SITIEMS.

Finalmente, se presenta la **bibliografía** y **anexos** documentación de soporte en el desarrollo y conformación de esta tesis.

### **1.11 Conclusiones del capítulo 1.**

Se presentaron las principales tecnologías para efectuar la evaluación de la integridad de los ductos: internas, externas y aéreas. Las tecnologías internas permiten evaluar las propiedades metálicas, las externas las propiedades del revestimiento, y las tecnologías aéreas son orientadas a la evaluación de fugas.

Esta tesis fue enfocada a la tecnología TIEMS, debido a que ésta permite una evaluación cuantitativa de la resistencia eléctrica que presenta el recubrimiento de los ductos. A excepción de TIEMS, el resto de las tecnologías de inspección superficial solo proveen información cualitativa sobre el daño del recubrimiento de los ductos y su interpretación de datos es basada en métodos empíricos, haciendo imposible el inspeccionar ductos con geometrías complejas.

Se realizó un análisis de los principales softwares empleados en el procesamiento de datos por las tecnologías más importantes para evaluación externa del revestimiento, los cuales debido a su enfoque de aplicación limitada, no permiten ser modificados o adaptados para TIEMS. Adicionalmente, el esquema de procesamiento de la información de TIEMS por aplicaciones y software disperso, no es óptimo ya que introduce fuentes de error que repercuten en mayor tiempo de obtención de resultados y fases de reproceso.

De esta forma, SITIEMS es la solución a la medida para permitir el procesamiento de la información de la TIEMS bajo un ambiente integrado, cuyas capacidades permiten eliminar las fuentes de error, optimizando los tiempos de procesamiento y entrega de resultados, constituyendo una herramienta optimizada en el apoyo de la toma de decisiones, durante los procesos de inspección de ductos.



## CAPÍTULO 2

# Análisis de las características de la información de TIEMS

La TIEMS es una tecnología cuyo entorno de aplicación incluye: metodologías de operaciones en campo, aplicación de modelos de cálculo, sistemas electrónicos (generador de corriente de alta potencia, medidor digital unificado y antenas de inducción), equipos de geoposicionamiento y medidores de conductividad de suelo, además de contar con el factor humano especializado para aplicación de la tecnología, uso de software y soporte de hardware.

Con la finalidad de efectuar el desarrollo y construcción del nuevo sistema SITIEMS, es necesario conocer todos los aspectos de: la información de TIEMS, los procesos así como los modelos de cálculo para la determinación del estado del recubrimiento de los ductos, mismos que se presentan a continuación.

### 2.1 Ámbito de aplicación de TIEMS

Durante un servicio de inspección aplicando la TIEMS, se maneja y recopila información de acuerdo al contexto de las diversas actividades:

- Asociada al ducto.
- Logísticas.
- Tipo de personal.
- Equipo de medición.
- Trabajo de campo.
- Técnico operativa.
- Técnico administrativa.
- Entorno ambiental del ducto.

El flujo de información de la TIEMS desde la obtención de datos hasta la emisión de resultados permite determinar el tipo de información y su fuente para poder ordenarla y clasificarla, para ello se describe la TIEMS, su aplicación y entorno.

#### 2.1.1 Descripción general de TIEMS

La TIEMS, es una tecnología cuantitativa, preventiva, no destructiva, para evaluación del estado del recubrimiento de ductos metálicos enterrados sin interrumpir su operación [7], que permite:

- Evaluar cuantitativamente el estado del recubrimiento, identificar y clasificar zonas con daño para uno o más ductos cercanos e interconectados.
- Determinar la trayectoria geométrica del ducto en plano y profundidad.
- Estimar el desempeño del sistema de protección catódica.

- Detectar conexiones de ductos en operación con otras estructuras metálicas.
- Estimar el nivel de agresividad del subsuelo.

La TIEMS se aplica en dos etapas: regional y local ver figura 2.1. La etapa regional indica las secciones del ducto con daño en el recubrimiento y que son motivo para que se les realice la etapa local, la cual involucra un estudio de alta resolución para obtener resultados más detallados.

### 2.1.1.1 Etapa regional o de resolución media

Esta etapa incluye mediciones de campo magnético a lo largo del DDV, potenciales entre dos postes de control de protección catódica, así como mediciones de resistividad de suelo. Para evaluar la calidad del recubrimiento se calculan la distribución de corriente, la profundidad del ducto, la corriente de fuga, la resistencia de fuga y la resistencia del recubrimiento a lo largo del ducto [24].

### 2.1.1.2 Etapa local o de alta resolución

Esta etapa incluye mediciones detalladas de campo eléctrico o magnético sobre áreas específicas con daños identificados en la etapa regional (en donde la resistencia de recubrimiento  $T_r < 50 \text{ Ohm.m}^2$ ), localizando de manera precisa la ubicación de los daños en el recubrimiento y determinando el porcentaje de área equivalente sin recubrimiento por cada metro lineal de ducto inspeccionado.

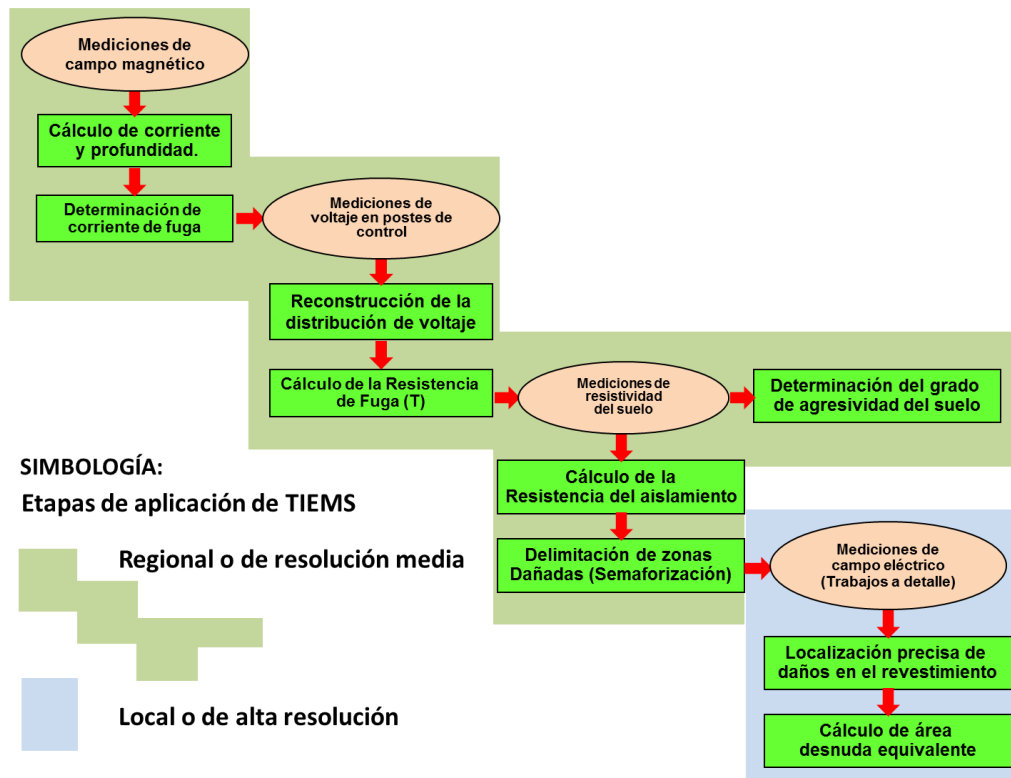


Figura 2.1. Esquema general de etapas de aplicación de TIEMS.

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

### 2.2 Descripción de aplicación regional de TIEMS y su entorno de información.

Se continúa con el análisis de TIEMS en el siguiente nivel de profundidad bajo su aplicación en la etapa regional ver figura 2.2. Considerando el software no integrado y su uso se determina y clasifica la información de las entradas, se identifican los procesos, la información de almacenamiento y las salidas que deben ser consideradas en SITIEMS.

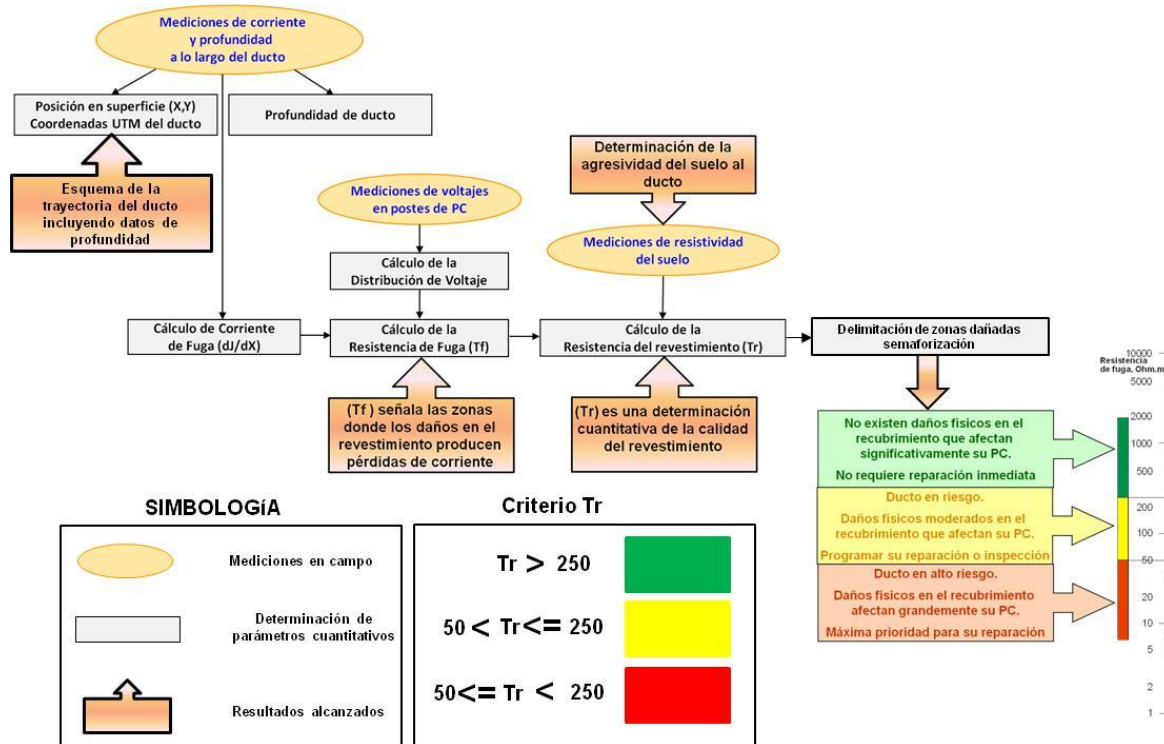


Figura 2.2. Esquema de la aplicación de TIEMS en su etapa regional.

El esquema de la figura 2.2 muestra la interrelación de la información con los procesos y cálculos para alcanzar el objetivo de determinar el estado del recubrimiento del ducto bajo un contexto e interpretación de semáforo [24].

### 2.3 TIEMS bajo un enfoque de sistemas

El grado de complejidad de TIEMS sugiere analizarla bajo el enfoque de sistemas, la descomposición del todo en sus partes (dividir un sistema complejo en subsistemas o módulos funcionales más fáciles de conceptualizar) [9].

Aplicando el enfoque de sistemas a TIEMS y bajo una metodología particular del CVDS (Ciclo de Vida del Desarrollo de Sistemas), se analiza, clasifica y determina el tipo de información que requiere para operar, además permite identificar los

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

---

módulos que lo conforman, su interrelación y operación de los procesos y cálculos que realiza. Se establece el ámbito y alcance de la información de entrada, de proceso y de salida que es considerada para determinar los requerimientos y funcionalidades que debe cumplir el nuevo sistema SITIEMS.

Un proceso de análisis [18], aplicado a la TIEMS es suficiente para determinar los requerimientos para su funcionamiento, mismos que son considerados para SITIEMS. Ahora bien el desarrollo y construcción de SITIEMS debe contemplar un ambiente integrado de solución, es necesario seguir una metodología acorde con los requerimientos y características que debe cumplir [10].

Existen una gran cantidad de metodologías que se conforman en fases o etapas para el desarrollo de un SI, y cada metodología tiene un número distinto de fases determinadas por el conocimiento, dominio y visión que se tenga del sistema [10], ver figura 2.3.

Dependiendo del contexto en algunos casos no se desarrollan todas las fases de una metodología.

**Leopoldo Galindo, 5 etapas:**

- Análisis.
- Diseño.
- Construcción del sistema.
- Implantación.
- Soporte del sistema en producción  
Mantenimiento y operación.

**Kenneth Kendall & Julie Kendall, seis fases:**

- Determinación de Requerimientos
- Análisis de Necesidades
- Diseño
- Desarrollo y Documentación
- Prueba y Mantenimiento
- Implantación y Evaluación

**Edward. Yourdon, nueve fases:**

- Encuesta
- Análisis
- Diseño
- Implantación
- Generación de Prueba de Aceptación
- Control de Calidad
- Descripción Procedimientos
- Conversión de B.D.
- Instalación

**James. Senn, seis fases:**

- Investigación Preliminar
- Determinar Requerimientos
- Diseño
- Desarrollo de Software
- Prueba
- Implantación y Evaluación

**Juan. Lloréns, 5 fases:**

- Requerimientos
- Análisis y Diseño
- Construcción
- Pruebas
- Producción y Mantenimiento

Figura 2.3. Metodologías del CVDS (Ciclo de Vida del Desarrollo de Sistemas).

En general no importando el número de etapas, las metodologías se basan en cuatro actividades que coinciden con las fases del modelo clásico para el desarrollo de sistemas.

Fases del modelo clásico para el desarrollo de sistemas.



- Análisis.
- Diseño.
- Desarrollo.
- Implantación y mantenimiento.

Para el caso de SITIEMS se propone el modelo anterior con la variante en la cuarta etapa (implantación y evaluación) además de los ciclos de retorno que al final de cada fase permiten regresar a cualquier fase anterior para considerar e incorporar características que en su momento no estaban presentes, esto permite al modelo ser flexible y adaptable, ver figura 2.4. El modelo propuesto es una recopilación de las ventajas de los modelos de cascada e iterativo ampliamente usados, además de la metodología de Leopoldo Galindo [11].

Se tratará solo la fase de análisis para TIEMS lo que permite recuperar y conocer todo lo necesario (información, métodos, modelos) para saber lo que se hace en la TIEMS para determinar el estado del recubrimiento de los ductos, esta información es suficiente para determinar lo que debe hacer el nuevo sistema SITIEMS.

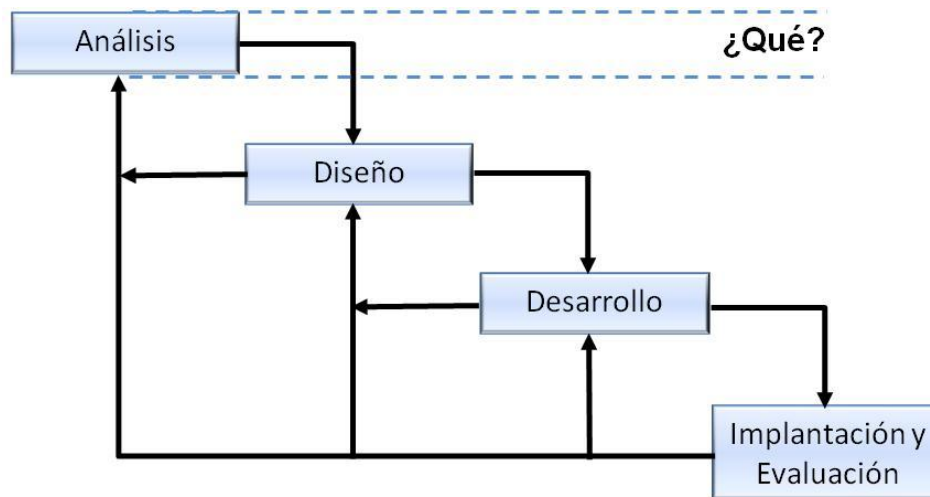


Figura 2.4. Ciclo de vida de desarrollo de sistemas (CVDS) para SITIEMS.

De acuerdo a lo anterior, el análisis como primera fase del ciclo considera determinar, ¿qué es TIEMS?, ¿qué hace?, ¿qué entrega?, mediante este análisis se establecen las características del nuevo sistema SITIEMS.

### 2.3.1 Generalidades del enfoque de sistemas

Considerando la definición general de sistema “Un sistema es un conjunto de componentes que interactúan entre sí para lograr un objetivo común”. El siguiente nivel es considerar que el enfoque de sistemas se puede aplicar a cualquier sistema de información (SI), [9], [39].

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

---

Por definición un Sistema de Información [20]: Son componentes interrelacionados que capturan, almacenan, procesan, generan y distribuyen información para apoyar en; la toma de decisiones, el control, análisis y visión en una organización. Esta es la definición que se aplica a SITIEMS.

En general todo SI realiza cuatro actividades básicas [4], [12]: **entrada, procesamiento, almacenamiento y salida de información**, y para TIEMS estas actividades son representadas en cuatro grandes bloques o módulos ver figura 2.5.



Figura 2.5. Actividades básicas de TIEMS.

Dentro de cada bloque se identifica y clasifica el tipo de información que es utilizada en los softwares no integrados, se determina su formato, ámbito e interrelación cuando pasa de un módulo a otro. Lo anterior permite integrar la información tratada con diversas aplicaciones en un solo ambiente dentro de SITIEMS.

- **Entrada:** Son los recursos que se ingresan al sistema (datos de inspección) para ser procesados, generando nueva información. La entrada puede ser manual, ingresada directamente por el usuario o automática la cual es tomada desde otros sistemas o módulos del mismo SI. Se clasifica el tipo de dato y su formato para el nuevo sistema SITIEMS.
- **Procesamiento:** Comprende todos los procesos de transformación (cálculos matemáticos, tratamiento de información y operaciones preestablecidas) que aplicados a las entradas y/o datos almacenados producen salidas con nuevas características. Se realiza un compendio de todas las relaciones matemáticas de los modelos que usa TIEMS y que se consideran en SITIEMS además de las funcionalidades de interacción entre módulos.
- **Almacenamiento:** Mediante esta actividad del SI se puede acceder a la información proveniente de un módulo o proceso anterior, dicha información se almacena en estructuras como archivos, arreglos, base de datos (BD), o en unidades de disco. La información almacenada constituye en algunos casos un medio de comunicación entre los módulos.

- **Salida:** Es el resultado del procesamiento de la información de entrada o almacenada y que es mostrada en dispositivos de despliegue de información. Se identifican los tipos de salida en archivos (texto, gráficas, Excel©) que serán implementadas en SITIEMS.

### 2.4 Esquema conceptual de TIEMS

El siguiente paso es conceptualizar a TIEMS para determinar en detalle qué hace y cómo opera con la información en sus niveles más internos (subsistemas) para ello se utiliza el método de investigación deductivo (de lo general a lo particular) y un enfoque TOP-DOWN (De arriba hacia abajo).

Se propone un esquema conceptual de TIEMS ver figura 2.6.

El resultado de la combinación y aplicación de todas las herramientas de análisis, permiten establecer para el nuevo sistema propuesto SITIEMS: ¿qué debe hacer?, ¿qué debe realizar con la información? y ¿qué resultados debe de entregar?, y así poder definir sus: bloques funcionales, procedimientos y características aplicables a la información, todo ello para garantizar el alcance de los objetivos con resultados satisfactorios.

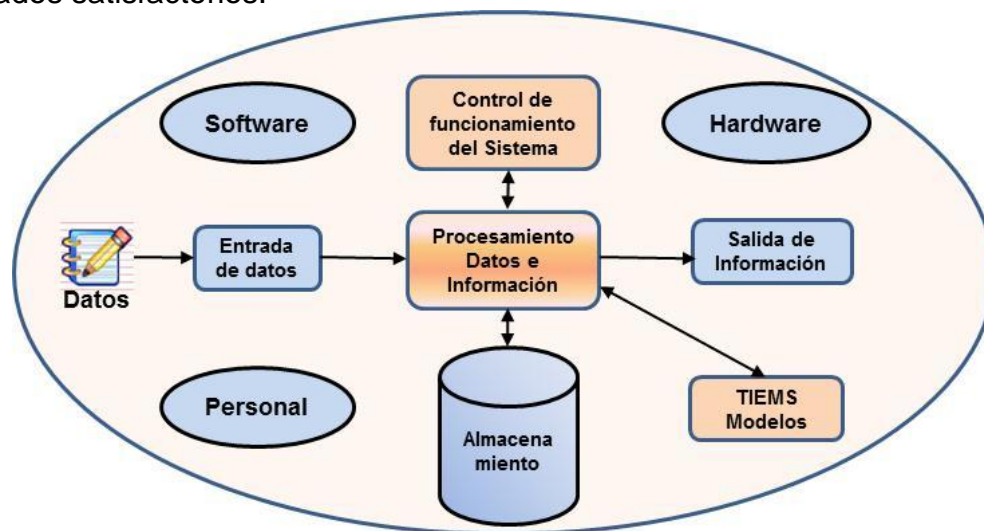


Figura 2.6. Esquema conceptual de TIEMS.

En la figura 2.6. Se indica el esquema conceptual de TIEMS como un SI [4], [15], en donde se identifican los seis subsistemas que lo conforman, software, hardware, recursos humanos, almacenamiento, procedimientos, documentación.

A continuación de manera general se asocian los seis subsistemas de los SI con los elementos de TIEMS y posteriormente se particularizan en sus niveles internos.

**Software.** Asocia todas las herramientas desde el punto de vista programas para el manejo de información, desde el sistema operativo, plataforma de desarrollo de aplicaciones hasta el software de aplicación.

TIEMS utiliza software diverso (Excel, Surfer, Corel Draw, GW Basic y MATLAB) y es seleccionado de acuerdo a las necesidades de cada etapa del procesamiento de información. Se realiza un análisis de las entradas, procesos y salidas de la información en cada software para ser considerados en SITIEMS.

El software integral de SITIEMS cubrirá todos los requisitos de información en cada etapa del sistema.

**Hardware.** Equipo de cómputo y la instrumentación (equipo de medición) utilizada en la TIEMS.

- Equipo de cómputo.  
Permite la capacidad de cálculo para los modelos de TIEMS y la ejecución de funciones rápidas, exactas y efectivas, es el mismo que se utilizará con SITIEMS de tal forma que el factor económico está cubierto en el nuevo sistema.
- Instrumentación.  
Constituida por instrumentos electrónicos (medidores, generadores, antenas, radiolocalizadores, navegadores) que proporcionan la capacidad de medición de las variables físicas (datos de campo) bajo especificaciones que son determinadas por los métodos de la tecnología TIEMS durante las operaciones de inspección. Estos datos son la entrada al sistema para ser procesados. Este rubro no cambia y permanece igual para SITIEMS.

**Recurso humano (Personal).** Son las personas cuya función como cuadrilla de inspección, capturistas, operadores o especialista están involucrados directamente en la aplicación de la tecnología TIEMS y en el uso de las herramientas de cómputo del sistema.

La forma en que el personal realiza la inspección, recolección de datos en campo, procesamiento e interpretación está determinada por los métodos de la tecnología TIEMS, de tal modo que cualquier personal que adopte la metodología deberá medir los mismos parámetros y obtener mediciones conformes que repercute en la integridad de los datos y la consistencia de resultados.

Para el personal especialista en la interpretación debe considerarse la experiencia ya que los resultados dependen mucho de la asimilación de la tecnología, conocimiento de las instalaciones, de los casos tratados y lecciones aprendidas.

Los especialistas tienen diferente visión, experiencia y criterio, su intervención es determinante para efectos de selección de información, interpretación y generación de informes. El recurso humano forma parte del entorno del sistema

SITIEMS y es quien debe operarlo, por lo que solo requiere familiarizarse con él bajo el esquema de programas de capacitación, talleres y seminarios.

**Almacenamiento.** Es una gran colección de información organizada y enlazada al sistema a las que se accede por medio del software. Estas estructuras de almacenamiento en muchos casos son la interfaz de comunicación entre módulos y procesos. Se identifican los tipos de archivos (BD, gráficos, texto y, Excel©) y estructuras para SITIEMS.

**Procedimientos.** Aquí se establecen las condiciones en que debe presentarse la información en cada uno de los módulos del sistema, considerando los programas de procesamiento, control y modelos matemáticos [29]. Se realiza un compendio de las relaciones matemáticas de los modelos para ser implementadas bajo SITIEMS.

El almacenamiento y los procedimientos están estrechamente ligados e inciden en la formalización y estandarización de la información ya que ésta debe tener un formato específico de acuerdo a los requerimientos del usuario y de los modelos.

Los subsistemas que inciden de forma directa en los alcances y aplicación de TIEMS (Software, Hardware, Personal) pueden ser configurados de múltiples formas y de acuerdo a ello impactan en aspectos de eficiencia, rapidez y economía.

**Documentación.** Todo SI debe considerar la documentación que le permita actualizarlo y mantenerlo, permite la fácil integración y manejo para nuevos usuarios por lo que ahorra tiempo y recursos. Estandariza la nomenclatura referente al SI. La documentación considerada es: los manuales de operación del usuario, manual de programación, formularios y otra información descriptiva que detalla o da instrucciones sobre el empleo y operación del programa.

Con diversas técnicas de recopilación de información [16], (entrevistas con los investigadores que desarrollaron la TIEMS, especialistas de aplicación de la tecnología, consultas a reportes, levantamiento de información en campo) y análisis del DFD (Diagrama de Flujo de Datos) para TIEMS, se clasifica en el contexto de cada módulo funcional el tipo de información utilizado en cada etapa y se realiza la asignación de variables descriptivas que la manejan de acuerdo a:

- Entradas (Datos de inspección en campo, entorno e información técnico-administrativo).
- Procesos (Algoritmos de cálculo, modelos, control de acceso a la información y BD).
- Salidas (Generación de archivos de diferente formato, reportes, presentación en pantalla).

Con el conocimiento de las variables involucradas en cada etapa se conforma el diccionario de datos del sistema.

De lo anterior se presentan esquemas lógicos [15] para SITIEMS y se proponen estructuras contenedoras de variables relacionadas para conformar la solución.

Se determinan los requerimientos de:

- Usuario.
- Especificaciones del sistema.
- Funcionalidades del sistema.
- Recursos necesarios.

Se definen los datos que se van a introducir en las diferentes etapas del procesamiento. Se analiza qué resultados parciales se muestran en los diferentes medios de salida: pantallas, archivos y tipos de reportes.

Ahora se estratifica y selecciona que tipo de información corresponde a entradas, procesos, almacenamiento y salida.

### 2.5. Información de entrada de TIEMS

El conocimiento de la metodología de aplicación de la TIEMS permite determinar y clasificar la información de entrada. En la aplicación de TIEMS se realizan diferentes actividades operativas y administrativas como las siguientes:

- Planificación de actividades de inspección.
- Conexiones previas al levantamiento de información.

Estas operaciones son orientadas a garantizar el éxito de la inspección, además durante su ejecución se genera información que es registrada y que es utilizada en diversas formas en las actividades de procesamiento.

#### 2.5.1 Planificación de actividades de inspección

La planeación de actividades antes, durante y posterior a la inspección implica el acopio de diverso tipo de información logística, técnica y administrativa que es relevante para la caracterización e identificación del ducto, además de su uso en el procesamiento.

##### ➤ Logísticas.

- Selección e identificación de especialistas (cuadrilla responsable de la inspección).
- Vehículos de transporte.
- Adecuación, limpieza del terreno o creación de acceso hasta el ducto.
- Tipo de suelo donde se ubica el ducto.
- Clima preponderante en la región donde se ubica el ducto.
- Equipos de radiocomunicación.

### ➤ Técnicas.

- Selección de Equipo (En condiciones adecuadas de operación).
- Detección de puntos de conexión del generador (PPC postes de protección catódica “R” o “RA”).
- Longitud del ducto a inspeccionar.
- Diámetro del ducto.
- Tipo de servicio dedicado del ducto.
- Punto de conexión del generador.
- Tipo de Generador, así como valores de operación en: corriente, voltaje, frecuencia.
- Modelo del receptor.

### ➤ Administrativas.

- Permisos de acceso a los terrenos por donde pasa el ducto.
- Permiso de los activos de PEMEX en la región que administran y que tienen la custodia del ducto.
- Centro de coste (activo que tiene la custodia del ducto).
- Denominación nombre con que se identifica al ducto.
- Origen y destino del ducto (Localidad).
  - Inicio del ducto.
  - Final del ducto.
- Entidad responsable de la inspección.
- Campo o sector propietario del proyecto de mantenimiento del ducto.
- Tipo de recubrimiento del ducto.
- Responsables de la inspección.

Esta información en conjunto con la obtenida en la inspección del ducto en campo (señales de la TIEMS), equipos de medición y registros en bitácora y hojas de Excel®, son consideradas como información de entrada en el nuevo sistema SITIEMS.

Para obtener la información de las señales TIEMS se deben conectar los equipos de generación de señales, los de medición y detección de acuerdo a la metodología TIEMS. El conocer la metodología de medición durante la inspección permite clasificar la información y conocer el dominio de cada variable de inspección.

### **2.5.2 Conexiones previas a la inspección del ducto**

Especifica la forma de conectar el equipo para generar las condiciones adecuadas de la actividad de inspección ver figura 2.7., aplicación de la metodología de inspección TIEMS y figura 2.8., conexión del generador y medición de potenciales.

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

Para el equipo conectado, se registra: el tipo de equipo de generador y de medición, así como el tipo de parámetros (voltaje, corriente) así como sus rangos de operación.

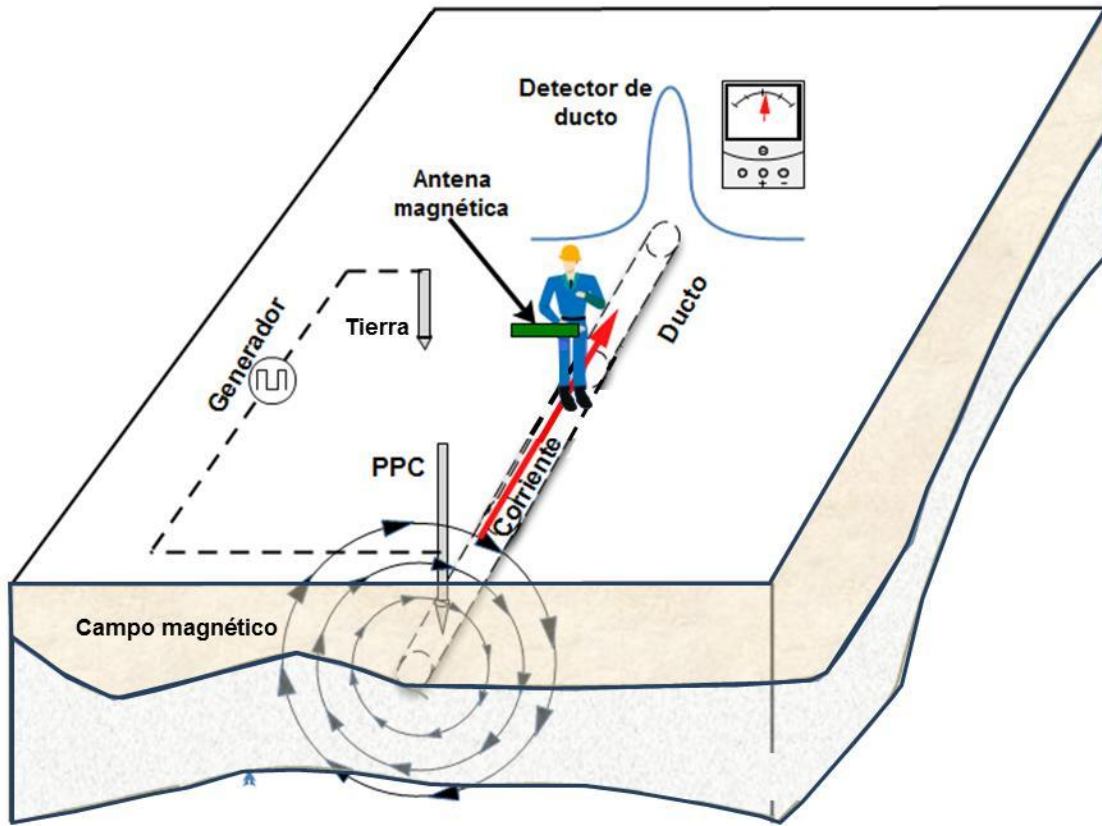


Figura 2.7. Aplicación de la metodología de inspección TIEMS.

Toda conexión en el ducto o en los PPC, así como la forma de energizar y establecer los niveles de voltaje y corriente se realiza bajo procedimiento de TIEMS.

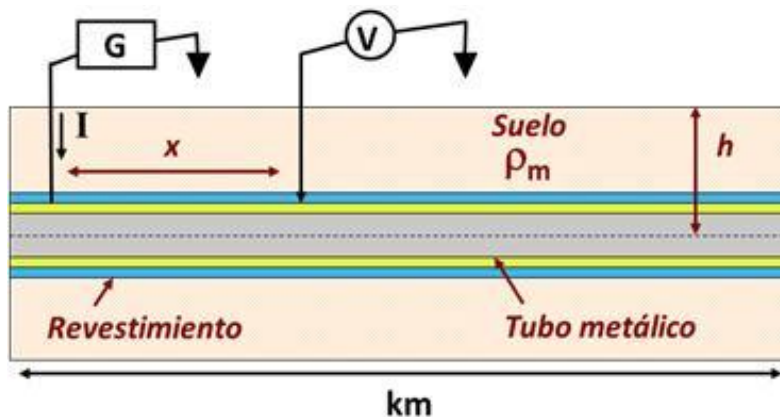


Figura 2.8. Conexión del generador y medición de potenciales.



### 2.5.3 Inspección del ducto en su etapa regional

Durante la etapa regional se localiza el ducto (equipos PCM, GPx1 y RD4000 o RD8000), generadores y detectores respectivamente), se marca un punto inicial en el PPC del SPC más cercano o directamente en el ducto, ver figura 2.8.

A partir del punto inicial y hasta el final se realizan espaciamientos de 10 a 20 metros de acuerdo al acceso del terreno y se marcan con balizas como puntos de medición. Cada medición se asocia a un kilometraje, se conecta el generador de corriente, y se energiza. En los espaciamientos determinados se realizan las siguientes mediciones:

- a) Potenciales. Con un equipo especial RX100, RX200 o REM-X1 (Equipo IMP) se miden y registran potenciales en contacto directo con el ducto (unidad de medida milivolts) o a través de PPC (poste de protección catódica), ver figura 2.9. Uno de los potenciales medidos corresponde al punto de conexión del generador, y el otro a una distancia cercana al punto final de medición, normalmente en el siguiente poste del SPC o es un punto de conexión sobre el ducto, si las condiciones lo permiten se podrían registrar más potenciales entre el punto inicial y final. Los tramos de ducto entre los potenciales (inicial y final) son los que serán inspeccionados.
- b) Kilometraje. Distancia expresada en kilómetros de las mediciones sobre el derecho de vía (DDV).



Medición de potenciales en el ducto.



Medición de potenciales en el PPC.

Figura 2.9. Medición de potenciales.

- c) Campo magnético, el cual se mide en la superficie a través de antenas de inducción (equipo de radiodetección) o equipo IMP. A partir de estas mediciones y aplicando la Ley de Biot Savart, se determina la magnitud de corriente y de profundidad en el punto de medición. Otra variante utilizada es cuando el ducto se encuentra solo en el Derecho de Vía y a una profundidad

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

---

inferior a los 3 metros, en este caso, se utiliza un equipo de Radiolocalización el cual calcula de manera automática la magnitud de corriente y la profundidad en la superficie del ducto.

- d) Coordenadas GPS. Localización georeferenciada, coordenadas UTM (Latitud, Longitud) con el navegador GARMIN.
- e) Se registran las observaciones referentes a las mediciones de campo magnético y potenciales así como del entorno del ducto.
- f) Resistividad eléctrica del suelo, la cual es determina utilizando un equipo Nilsson, o bien utilizando un equipo de Perfilaje Electromagnético Geonics EM31-MK1y 2. Estas mediciones se realizan en forma paralela a la trayectoria del ducto a unos 5 metros del mismo.

La figura 2.10., muestra la forma de detectar la trayectoria del ducto en la superficie, el registro de profundidad, corriente y las coordenadas GPS.



Figura 2.10. Medición de parámetros de la TIEMS.



Figura 2.11. Midiendo conductividad del suelo.

En la figura 2.11., se muestra la medición de conductividad del suelo para obtener a su vez la resistividad.

La siguiente figura 2.12., muestra la trayectoria de un ducto inspeccionado, las distribuciones de: potenciales y corriente, así como el perfil de profundidad, todos los parámetros asociados a su kilometraje. Esta información es utilizada por los modelos de cálculo de TIEMS.

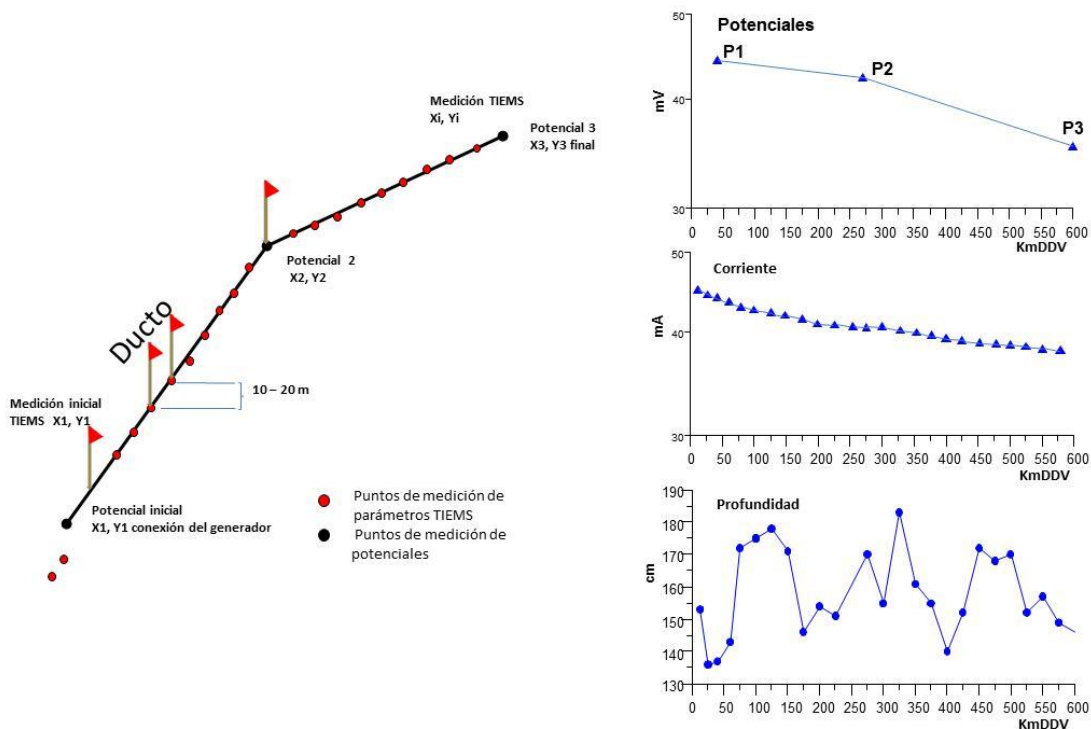


Figura 2.12. Metodología de medición de TIEMS.

## 2.6. Información de procesos de TIEMS

Ahora se determinan los procesos de cálculo aplicados a la información para determinar el estado del recubrimiento del ducto.

El valor de la resistencia eléctrica del recubrimiento ( $T_r$ ) determina su calidad y el grado de cumplimiento de su función. El proceso de cálculo de  $T_r$ , implica conocer parámetros asociados como la distribución corriente ( $I$ ) en el ducto, distribución de potenciales ( $V$ ) a partir de los puntos de medición, corriente de fuga ( $I_f$ ), resistencia de fuga ( $T_f$ ) y resistividad del suelo  $Rho$  ( $\rho$ ), esta última con el objetivo de determinar la resistencia eléctrica del medio ( $T_m$ ) que rodea al ducto.

Todos los procesos de cálculo y el uso de los modelos que conforman el procesamiento total de la información llevan un orden determinado y en conjunto determinan el estado de recubrimiento del ducto.

A continuación se presenta un resumen de las actividades realizadas durante la etapa regional.

### 2.6.1 Resumen del procesamiento de la etapa regional.

- Realización de mediciones de campo magnético.
- Cálculo de la corriente de fuga por unidad de longitud entre perfiles (diferencia de corriente a lo largo del eje del ducto).
- Estimación de un factor de propagación aparente  $\gamma_a$  a partir de los voltajes medidos entre postes o en los puntos del ducto al descubierto.
- Reconstrucción de la distribución de los valores de voltaje a lo largo del ducto utilizando el factor de propagación aparente y aproximando al ducto como una línea de transmisión heterogénea e infinita.
- Estimación de la resistencia de fuga utilizando los valores del voltaje reconstruido y la corriente de fuga.
- Determinación de la resistividad del subsuelo que rodea al ducto o conjunto de ductos.
- Cálculo de la resistencia de aislamiento utilizando los valores de resistencia de fuga y resistencia del subsuelo.
- Evaluación de resultados y separación de áreas de la tubería con diferentes extensiones de daño en el aislamiento.
- Estimación del estado de la protección catódica con base en el análisis integral de las mediciones eléctricas y magnéticas.

De lo anterior, se identifican los principales procesos de cálculo para TIEMS.

**2.6.2. Procesos de cálculo y selección de información**

Los procesos de cálculo [24], necesarios son:

- Cálculo de corriente de fuga.
- Procedimiento para efectuar la segmentación.
- Reconstrucción de distribución de potenciales.
- Cálculo de resistencia de fuga.
- Cálculo de resistencia de recubrimiento.

Ahora se debe determinar que expresiones matemáticas y modelos son necesarios para dar solución a los procesos anteriores.

De acuerdo al modelo desarrollado por investigadores del IMP, al ducto se le considera como una línea de transmisión heterogénea [24].

**2.6.2.1 Cálculo de corriente de fuga**

El decremento en la corriente a lo largo del ducto es debido a la corriente de fuga  $I_f(x)$  que fluye a través del aislamiento desde la parte metálica del ducto hacia el medio ambiente que lo rodea, para cada intervalo:

$$I_f = \frac{|\Delta I|}{|\Delta x|} = \frac{|I_1 - I_2|}{|x_1 - x_2|} \quad (2.1)$$

Donde:  $I_f$  : Corriente de fuga.

$I_1, I_2$  : Corriente en dos puntos contiguos.

$x_1, x_2$  : Posiciones en dos puntos contiguos en el DDV.

La corriente de fuga es la diferencia de corriente normalizada por la distancia de separación entre dos puntos de segmentos homogéneos a lo largo del ducto, y representa la corriente que fluye al suelo por deficiencia en el recubrimiento del ducto, por lo que las diferencias de corriente de fuga son un representativo del estado del recubrimiento. Además permiten detectar las zonas con diferente resistencia de aislamiento

Esto significa que para cada zona con diferencias de corriente existe un valor de resistencia de fuga, cuyo valor dependerá del daño presentado. Para identificar los segmentos homogéneos en la distribución de corriente, el especialista lleva a cabo un procedimiento denominado segmentación.

**2.6.2.2 Proceso de Segmentación**

En el proceso de segmentación el usuario selecciona datos de una gráfica de distribución de corriente, en donde se delimitan segmentos de ducto con características homogéneas ver figura 2.13., este procedimiento permite identificar

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

---

los cambios de gradiente o pendientes en los valores de corriente. Los cambios abruptos en las pendientes podrían indicar pérdida total del revestimiento, o interconexión con otras estructuras metálicas. El proceso de segmentación consiste en los siguientes pasos.

- a) Graficar ***KmDDV vs. I***, es decir, la distribución de corriente en función de la posición en el kilometraje del DDV (utilizar escala logarítmica en eje y).
  - Identificar variaciones significativas de la corriente en la gráfica y verificar que no se asocia a errores en la captura de datos.
  - Aproximar con segmentos rectos la distribución de corriente, uniendo el mayor número de puntos posibles (evitar la dispersión de datos), minimizando las variaciones entre los valores reales y la aproximación. Para realizar esto, se recomienda ubicar en la gráfica de corriente un punto que corresponde a la medición más cercana al generador (punto fijo), trazar una línea recta a partir de este punto, de tal forma que la recta deberá ser lo suficientemente grande a fin de que al variar su pendiente a partir del punto móvil, contenga el mayor número de puntos, el último punto contenido en la línea es el que delimita el final del segmento (intervalo).
  - Considerar que la pendiente agrupe la mayor cantidad de puntos con poca dispersión, de otra forma conviene trazar otra pendiente o acortar el segmento.
  - Todos los datos contenidos dentro de la recta formarán un solo segmento homogéneo, lo que significa que este tramo del ducto presenta las mismas características en su recubrimiento.
- b) El siguiente segmento tiene como punto fijo al punto final del segmento anterior, realizar los pasos descritos en el punto a) para delimitar el segundo segmento.
- c) Generar tantos segmentos como sea necesario aplicando los pasos descritos en a) y b). Este proceso debe ser repetido tantas veces como sea necesario hasta aproximar a la distribución experimental con diferentes segmentos homogéneos.

Cada segmento tiene una pendiente que indica un gradiente o cambio en los valores de corriente, cambios muy pronunciados (condición necesaria pero no suficiente) indican fugas de corriente del ducto hacia el medio, asociadas a un recubrimiento en mal estado. La determinación final la soportan los modelos de cálculo que consideran además el efecto del sistema ducto-suelo.

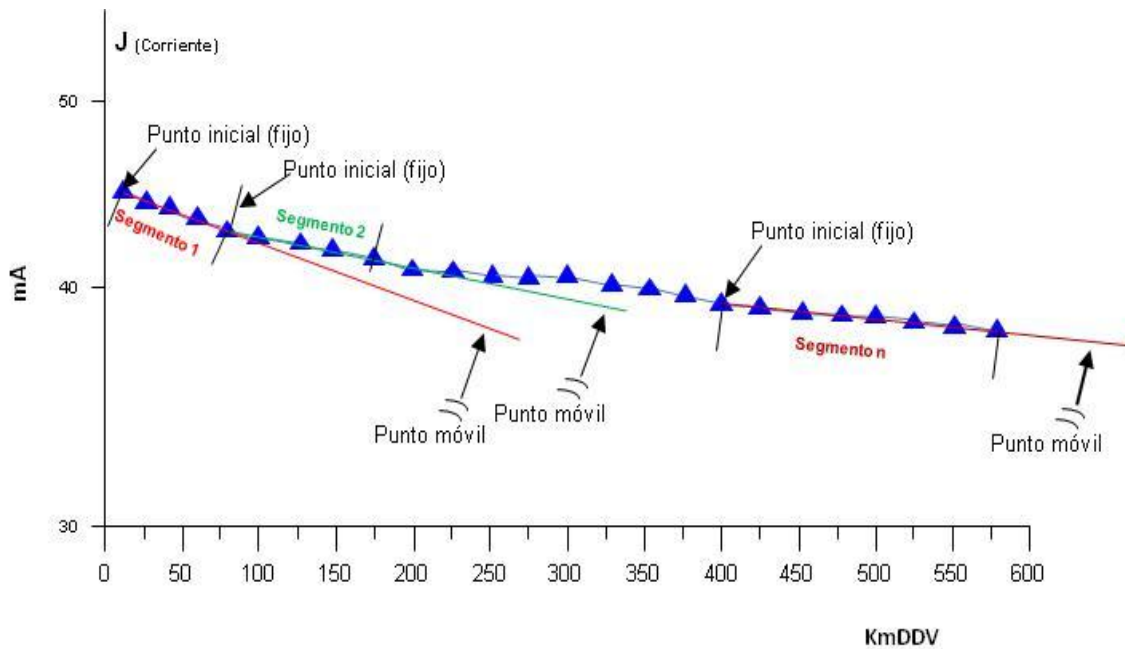


Figura 2.13. Proceso de segmentación.

El cálculo del centro del intervalo de medición del segmento homogéneo se realiza como sigue:

$$X_{CI} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \quad (2.2)$$

$x_i + x_{i+1}$ : Intervalo de medición.

$x_i, x_{i+1}$ : Posiciones en punto contiguos en el DDV.

### 2.6.2.3 Reconstrucción de distribución de potenciales

La reconstrucción de potenciales a lo largo del ducto se realiza considerando las mediciones de potenciales de la señal del generador en el ducto a través de los postes de protección catódica. En la práctica, la medición de éstos potenciales sólo es posible en los postes de control de protección catódica y en aquellos puntos en los cuales el ducto se encuentra expuesto en la superficie de la tierra.

Mediante los potenciales medidos se calculan los coeficientes de propagación aparente ( $\gamma_a$ ), la estimación de potenciales se realiza aproximando al ducto como una línea de transmisión.

**Coeficiente de propagación aparente  $\gamma_a$  (gamma):**

$\gamma_a$  Indica la forma en que se atenúa el voltaje en relación a la distancia

$$\gamma_a = \frac{\ln(V_1/V_2)}{(x_2 - x_1)} \quad (2.3)$$

$V_1, V_2$  = Potencial medido en postes de protección catódica

El valor inverso de  $\gamma_a$  es la distancia de atenuación en donde el potencial cambia e veces.

$$D = \frac{1}{\gamma_a} \quad (2.4)$$

Con el valor de uno de los voltajes medidos y con el coeficiente aparente calculado  $\gamma_a$ , se determina el potencial en cualquier punto dentro de la región en la cual se midieron los potenciales del ducto, así la expresión para la reconstrucción de potenciales en el ducto es:

$$V_{ef}(x) = V_2 \cdot e^{-\gamma_a(x_1-x_2)} \quad (2.5)$$

Estas ecuaciones permiten calcular los puntos intermedios de potenciales mediante la aproximación del tramo correspondiente del ducto como una línea de transmisión homogénea e infinita con exactitud suficiente para efectuar definiciones prácticas del estado del aislamiento. Los potenciales siempre se calculan para el centro del intervalo de medición. Los cálculos aplican para interpolaciones y extrapolaciones.

**2.6.2.4. Cálculo de resistencia de fuga  $T_f$**

Para el ducto con parámetros variables, la relación entre el voltaje reconstruido  $V_{ef}(x)$  y la corriente de fuga ( $I_{fi}$ ), corresponden al valor de la resistencia de fuga en el intervalo i, esto es:

$$T_{fi}(x) = \frac{V_{ef_i}(\omega, x)}{I_{fi}(\omega, x)} \quad (2.6)$$



Con base en la ecuación anterior se puede decir que la magnitud de la resistencia de fuga depende de la exactitud para determinar la diferencia de corriente a partir de las mediciones de campo magnético y de la exactitud de las mediciones de voltaje en los postes de control. La resistencia de fuga es un indicativo para determinar las secciones del ducto que son más susceptibles a presentar corrientes de fuga.

### 2.6.2.5. Cálculo de resistencia del recubrimiento $T_r$ .

El recubrimiento protege a la parte metálica del ducto de su exposición al medio (suelo) para evitar el proceso de corrosión. La calidad del recubrimiento esta dada por el nivel de aislamiento que provee y esto se puede representar por la resistencia eléctrica que presenta.

$$\text{De } T_f = T_r + T_m \text{ se tiene } T_r = T_f - T_m$$

### Cálculo de resistividad del suelo $T_m$ .

La resistencia del medio ambiente para tuberías enterradas a unos cuantos metros de profundidad puede ser determinada en función del radio efectivo del medio ambiente que rodea al ducto y del radio externo del ducto mediante la siguiente ecuación:

$$Tm_i = \frac{\rho_m}{2\pi} \ln \frac{d_3}{d_2} \quad (2.7)$$

Donde:

$\rho_m$ -resistividad del medio ambiente (medio que rodea al ducto),

$d_3$  es el diámetro efectivo del medio ambiente en el cual, el valor del voltaje puede ser asumido igual a cero (acorde a la precisión necesaria para aplicaciones prácticas  $d_3 \approx (3-10) d_2$ ).

$d_2$  es el valor del diámetro externo de la tubería.

Para el caso de Región Sur se ha considerado  $d_3 \approx 6 d_2$ , debido a que la resistividad del suelo tiene un intervalo de 25-100 Ohm.m.

En este caso tenemos que:

$$Tm_i = 0.285 \rho_m \quad (2.8)$$

La resistencia del recubrimiento  $T_r$  corregida en diámetro se calcula como sigue:

$$T_{r_{corr}} = \pi \times D (T_f - T_m) \quad (2.9)$$

En donde  $\pi \times D$  reflejan el ajuste por diámetro.

### 2.7 Información de salidas de TIEMS

Una vez que se tiene toda la información de entrada, se aplican los modelos de cálculo de TIEMS y se generan los resultados que representan las salidas del sistema, se especifica en que medio y formato deben ser presentadas.

Las salidas se presentan mediante archivos (texto, gráfico, Excel), vistas en pantalla o bien en reportes que contienen el resultado del procesamiento.

La generación de estas salidas depende del módulo o subsistema en que se trata la información.

Salidas en archivos para:

- Potenciales.
- Datos de segmentación.
- Cálculo de potenciales reconstruidos.
- Archivos gráficos.
  - Perfil de profundidad.
  - Distribución de corriente.
  - Distribución de potenciales.
- Se generan archivos de resultados.
  - Potenciales reconstruidos para centros de intervalos.
  - Resistencia de revestimiento semaforizada.
  - Potenciales reconstruidos en cada medición de corriente.

Salidas y presentación en pantalla mediante una GUI (por sus siglas en inglés Graphic User Interface o Interfaz Gráfica de Usuario).

- Datos de campo que se introducen al sistema.
- Presentación y selección de datos de la segmentación.
- Datos de potenciales medidos y reconstruidos.
- Datos resultantes del procesamiento.
- Reportes de salida de procesamiento.
  - Potenciales reconstruidos, resistividades, esquema de semáforo.
- Perfil de profundidad del ducto.
- Ubicación georeferenciada del ducto.

Salidas a impresora para:

- Gráficas presentadas en las GUI's.
- Reportes de salida de procesamiento.

Se trató lo referente a los requerimientos de información de TIEMS para las etapas de: entrada, proceso y salida. Ahora se tratará lo referente a los requerimientos para el desarrollo de SITIEMS.

## 2.8 Requerimientos para el desarrollo de SITIEMS

Se ha analizado y clasificado en los puntos anteriores toda la información que utiliza TIEMS para ser aplicada, esta información debe ser considerada completamente en el desarrollo de SITIEMS, ahora se deben establecer los requerimientos asociados para SITIEMS, para ello las metodologías y herramientas utilizadas anteriormente se repiten.

En esta fase, para conformar el sistema SITIEMS, el análisis nos conduce a determinar los requerimientos de:

- Información.
- Usuario.
- Funcionalidad.
- Sistema.

### 2.8.1 Requerimientos de información

Es toda la información de carácter técnico-administrativo de cada entidad, que administra los ductos de PEMEX quien tienen la custodia del ducto y que es necesaria para caracterizarlo y referenciarlo en un entorno general del activo, zona o región. La información se obtiene de diferentes fuentes que van desde el conocimiento previo (administrativo), planificadas, la obtenida in-situ (campo), operativa y de medición y que identifica cada levantamiento asociado al ducto.

La información de entrada al SITIEMS debe ser consistente de acuerdo a las especificaciones de los modelos utilizados. El análisis del diagrama de flujo de información (DFI) de TIEMS determina y especifica el tipo de información que es necesaria en cada fase, tanto para identificar la de carácter técnico-administrativo como la necesaria en los modelos para el cálculo de los diferentes parámetros.

De acuerdo al análisis, las variables son clasificadas como: administrativas, técnicas operativas y de entorno, y son especificadas en el diccionario de datos (DD) que fue originado en el análisis de los puntos 2.5, 2.6 y 2.7.

En esta etapa se ha determinado y clasificado la información que requiere SITIEMS para operar.

### 2.8.2 Requerimientos de usuario

Una técnica que permite establecer los requerimientos de usuario y especificar el comportamiento o funcionalidad del sistema son los casos de uso [33], [8]. Los requerimientos de usuario determinan la conformación y presentación de las interfaces de usuario de SITIEMS.

El análisis de los requerimientos de usuario para la realización del procesamiento de información la podemos resumir de la siguiente forma:

- Métodos que permitan minimizar errores al introducir información al sistema.
- Efectuar en forma correcta los procedimientos apropiados.
- Presentar en forma apropiada la información.
- Contar con interfaces gráficas de usuario amigables y fáciles de operar y que presenten en forma organizada la información de acuerdo al contexto.
- Proporcionar resultados exactos.
- Utilizar los métodos de interacción apropiados.
- Proporcionar confiabilidad total.
- Introducción de datos de inspección de campo, corrientes, potenciales e información técnico-administrativa.
  - Selección y tratamiento convirtiendo los datos en información.
  - Validación de información conforme a formato y especificaciones.
- Gráficas XY de parámetros de inspección y de resultados de intermedios de procesamiento.
- Interacción gráfica y selección de información de interés para procesamiento.
- Contar con métodos automáticos para organizar y nombrar los archivos generados en las diferentes fases de interacción con el sistema.
- Procesamiento de información con los modelos de TIEMS.
- Generación de archivos en diversos formatos del procesamiento intermedio.
- Generación de resultados finales del procesamiento.
- Generación de reportes finales del procesamiento.

### **2.8.3 Actividades que realiza el usuario a considerar en SITIEMS.**

Estas actividades son el referente principal que espera poder realizar el usuario.

- Dar un nombre al archivo de trabajo para crear una BD.
- Introducir información SITIEMS del tipo.
  - Administrativa.
  - Técnica.
  - Campo.
- Selección de información de segmentación (Interacción con las gráficas).
- Generación de archivos gráficos, texto, Excel.
- Selección de archivos de soporte en el procesamiento de información.
- Selección de parámetros para emisión de reportes.
- Generación de archivos de resultados de procesamiento en diferentes formatos: texto y Excel.
- Visualización en pantalla de la impresión preliminar de reportes e informes.
- Impresión final de reportes e informes.

La introducción de datos al SITIEMS debe ser de la forma más sencilla posible mediante métodos e interfaces amigables, evitando que el especialista dedique mucho tiempo en esta tarea.

SITIEMS debe actuar de tal forma que elimine errores de captura de datos, automatizar los procesos de cálculo, generación de archivos y generación de reportes de salida.

### 2.8.4 Requerimientos para las GUI's (interfaces gráficas de usuario).

Las GUI's son el medio con las que el usuario interactúa con el sistema [41] considerando que estas:

- Deben contener áreas y campos especiales bien definidos que organicen y delimiten el tipo de información, que permitan introducir, visualizar y editar la información.
- Deben permitir diferenciar e identificar entre la información de tipo; técnico, administrativo y de campo.
- Los controles sobre las GUI's en su mayor parte deben ser del tipo botones para facilidad de manejo.
- Deben contener botones de control para la generación automática de archivos de diverso formato, de acuerdo al flujo de procesamiento de la información.
- Deben contener controles para presentar gráficas de la información de campo y ser interactivas para selección de información de cálculo.
- Deben presentar información de una base de datos en donde la creación de la misma así como su estructura debe ser transparente para el usuario.

### 2.8.5 Caso de uso realizando segmentación

Una forma de representar la interacción del usuario con el sistema son los casos de uso [8], [33], se presenta el caso de uso figura 2.14 para la selección de datos de segmentación de la figura 2.13, en la cual el usuario interactúa con la GUI que presenta la gráfica de KmDDV v.s. Corriente.

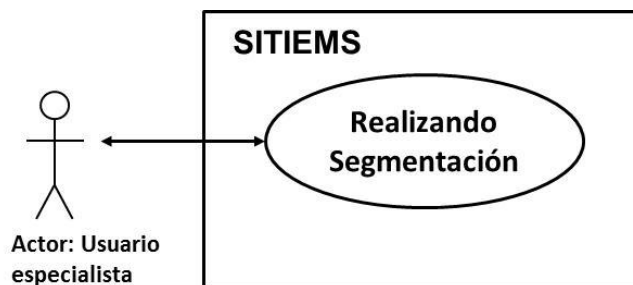


Figura 2.14. Caso de uso realizando segmentación.

Para cada acción del usuario el sistema le provee los diferentes servicios para facilitar su trabajo ver Tabla 2.1., Interactuando con la GUI de segmentación.

Tabla 2.1. Interactuando con la GUI de segmentación.

<b>Caso de Uso: Realizando Segmentación</b>	
Objetivo. Determinar los requerimientos del caso para implementar su solución.	
<b>Actor: Especialista de procesamiento</b>	<b>SITIEMS</b>
Curso Normal	Alternativas
1) El usuario acciona el botón de comando de gráficas y selección de datos desde el Menú Principal.	El sistema muestra la GUI de gráficas en la pestaña de KmDDV vs. Corriente.
2) El usuario habilitando el modo de operación en gráfica (seleccionar segmento).	Muestra sobre la gráfica un segmento de recta
3) El usuario proyecta el segmento sobre los datos de la gráfica para visualizar la dispersión de los datos.	Mueve el segmento de acuerdo a los requerimientos de usuario.
4) El usuario puede acceder a otros modos de operación en gráfica, habilitando la opción requerida.	Provee opciones de modo de operación en la gráfica (Habilita eventos, desplazar gráfica sobre XY, zoom XY, zoomX, autoescala gráfica, seleccionar segmento y cursores.
5) El usuario selecciona los diferentes modos de operación sobre la gráfica.	Realiza la operación seleccionada del modo de operación de la gráfica.
6) El usuario selecciona el modo cursores para moverse sobre la gráfica.	Presenta las coordenadas del punto sobre la gráfica de acuerdo al movimiento del cursor y además sobre controles de texto.
7) El usuario selecciona el primer dato de corriente correspondiente a un extremo del segmento.	Muestra el dato seleccionado y provee un control para aceptar o descartar su selección o borrar todo lo seleccionado.

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

<p>8) El especialista selecciona el primer valor (extremo inicial del segmento) referente al dato de corriente a considerar interactuando con la gráfica de KmDDV vs. Corriente.</p>	<p>Si el valor no ha sido ingresado anteriormente lo acepta e informa al usuario que el valor ha sido aceptado.</p> <p>Si el valor ya ha sido ingresado, se rechaza y se informa al usuario que dicho valor ya fue ingresado.</p>
<p>9) El usuario selecciona el segundo valor (extremo final del segmento) referente al dato de corriente a considerar interactuando con la gráfica de KmDDV vs. Corriente.</p>	<p>Muestra el dato seleccionado y provee un control para aceptar o descartar su selección o borrar todo lo seleccionado.</p> <p>Si el valor no ha sido ingresado anteriormente lo acepta e informa al usuario que el valor ha sido aceptado.</p> <p>Si el valor ya ha sido ingresado, se rechaza y se informa al usuario que dicho valor ya fue ingresado.</p>
<p>10) El especialista repite desde el paso 1 tantas veces como sea requerido para formar los segmentos como sea requerido.</p>	<p>El sistema almacena la información en estructuras temporales.</p>
<p>11) El especialista termina de seleccionar los datos.</p>	<p>El sistema provee un botón de control para generar el archivo de segmentación en formato .txt y guardarlo en el subdirectorío preestablecido.</p>

### 2.8.6 Requerimientos de funcionalidad del sistema

Los principales requerimientos para realizar el procesamiento de información con SITIEMS son los siguientes, ver tabla 2.2.

Tabla 2.2. Requerimientos de Funcionalidad para el SITIEMS.

Requisito	Descripción
1.- Formulación de nuevas políticas deben de	Se refiere a la necesidad de reducir la complejidad y tiempo de las actividades de procesamiento de TIEMS,

ser consistentes con los objetivos.	para ser oportunos y mejorar la calidad de los entregables del servicio de inspección de ductos. Fácil de usar. Compatibilidad con Windows y su entorno de oficina.
2.- Especificar los elementos de diseño lógico.	Especificaciones detalladas de diseño que describen las características de un sistema de información: entradas, salidas, archivos y base de datos y procedimientos.
3.- Entradas de información interactivas.	La captura inicial de los datos de campo debe ser fácil mediante GUI's (interfaces gráficas de usuario) amigables, utilizando botones para simplificar la elección de opciones de los menús, optimizando el tiempo de captura, donde el usuario pueda interactuar y seleccionar conjuntos de datos mediante un análisis basado en su experiencia.
4.- Interfaces de visualización de información generada.	Interfaces gráficas de usuario GUI's que contengan estructuras de visualización de datos y de colectores de información nueva, resultado de la aplicación de los modelos de cálculo de SITIEMS.
5.- Nuevos métodos y procedimientos.	Se refiere al diseño de nuevos métodos y procedimientos para representar en forma gráfica la información preprocesada y salidas en formatos de fácil visualización. Utilizar los métodos de interacción apropiados. Proporcionar confiabilidad total. Métodos automáticos de: generación de nombres de los archivos generados de acuerdo a la etapa del procesamiento y almacenamiento dentro de una estructura de subdirectorios de acuerdo al tipo de archivo en cuestión. Método automático de asociación de datos de resistividad con respecto al valor de profundidad del ducto.
6.- Archivos de datos que es necesario manejar.	Son los tipos de datos e información que debe estar en los archivos generados en formatos de tipo: texto, hoja de cálculo y gráficos, Así como el manejo de la DB (Base de Datos).
7.- Manejo de las estructuras de almacenamiento para conservación de la información.	Fácil administración de la Base de datos y la interrelación con archivos generados en diferentes formatos para intercambio de información.  Creación de una estructura de subdirectorios que permita; clasificar, generar y guardar de forma



## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

	automática los diferentes tipos de archivos resultantes en las fases del procesamiento.  Creación de programas para el acceso a la información; desde y hacia la base de datos, archivos y estructuras de almacenamiento temporal.
8.- Consideraciones del control interno.	Establecimiento de puntos de verificación y control que aseguren que los resultados intermedios de la información procesada están conformes a lo esperado.
9.- Confiabilidad en los cálculos.	El uso y resultados de los modelos de cálculo son totalmente confiables para ser usados de una etapa a otra.
10.- Salidas.	Generación de archivos y reportes del procesamiento de la información temporal y final del proceso de cálculo. Con el grado de detalle especificado por el usuario especialista en formatos establecidos. Generar y salvar automáticamente en directorios preestablecidos, archivos de selección de información y de resultados del procesamiento en formatos: <ul style="list-style-type: none"><li>• Texto (ASCII) en base a formato establecido.</li><li>• Excel.</li><li>• Gráficos formato emf (Enhanced Metafile Format).</li></ul>
11.- Ajustarse a los estándares y formatos de documentación.	Las especificaciones de formatos de salida deben estar acorde a la normatividad de la institución.

La evaluación de la información obtenida con la esperada permite la retroalimentación del sistema.

El esquema conceptual de SITIEMS requiere un subsistema de almacenamiento de información: archivos, almacenamiento temporal y una base de datos BD (DB por sus siglas en inglés Data Base). Los diversos requerimientos y objetivos indicados anteriormente deben ser cubiertos por SITIEMS, el cual debe ser desarrollado bajo un entorno de hardware y software lo permita.

### 2.8.7 Requerimientos del sistema

Se determinan los requerimientos de sistema y plataforma de desarrollo necesaria para construir SITIEMS, aunque características superiores son deseables, dado que el sistema es de tipo monousuario no trabaja ni comparte recursos en red se seleccionó lo siguiente:

- Hardware

## 2 Análisis de las características de la información de TIEMS

---

- Computadora personal portátil o de escritorio con procesador Intel.
- Memoria RAM 2 Gigabytes.
- Disco duro de 80 Gigabytes.
- Software
  - Sistema Operativo Windows XP o versiones superiores.
  - Plataforma de desarrollo:
    - Visual Studio de Microsoft versión 6 (VS6).
    - Entorno Integrado de Desarrollo para programadores (IDE por sus siglas en inglés), con lenguaje de programación Visual Basic 6.
    - Algún tipo de controlador gráfico, para este caso se utilizó los Controladores gráficos de National Instruments 2007.
    - Estructura de base de datos de Access, archivos en formato mdb.
    - Uso del motor de la base de datos Microsoft Jet.

### 2.8.7.1 Evaluación de la plataforma de desarrollo

Se requería un sistema robusto, flexible y adaptable a la inclusión de futuras funcionalidades y compatible con Office de Microsoft®. Las políticas institucionales fueron demasiado restrictivas en su momento para la compra de software. El software abierto proporcionaba una buena opción para el desarrollo de SITIEMS ya que sus versiones estables proveen compatibilidad total con Office, pero una vez más la normatividad prohíbe el uso de software de código abierto por lo que esta alternativa quedó descartada. Finalmente la opción sería usar el software disponible del cual se tenía licencia y cumplía con las restricciones mencionadas. De la disponibilidad de las plataformas de desarrollo con licencia y considerando la compatibilidad que debía tener con desarrollos en el área y bajo una evaluación de sus capacidades se optó por la plataforma Visual Studio versión 6 (VS6) y el lenguaje de programación Visual Basic que provee todo el entorno de programación necesario [3], [40].

## 2.9 Metodologías de acopio de información para SITIEMS

El acopio de información requirió del uso de diversas metodologías como:

- Uso del DFD (Diagrama de Flujo de Datos)
- Selección de entrevistados
- Entrevistas
- Cuestionarios

Fueron aplicadas de acuerdo al contexto: análisis de la forma de operar de TIEMS, situaciones reales de estar en campo durante las actividades de inspección, el

conocimiento de las metodologías de procesamiento, uso y operación de equipo, así como la retroalimentación y comunicación directa con los usuarios e investigadores creadores de la TIEMS mediante reuniones de trabajo en donde se tomaron en cuenta los casos y condiciones particulares como el criterio de los usuarios especialistas en la toma de decisiones.

### 2.10 Determinación del tipo de SI para SITIEMS

Existen diferentes tipos de SI [4], ver Figura 2.15., asociados a su ámbito de aplicación entre ellos: transaccionales, estratégicos y de apoyo en la toma de decisiones, existen clasificaciones más especializadas pero por las características y contexto de aplicación de SITIEMS se ubica en los SI basados en computadora para apoyo en la toma de decisiones (DSS: Decision Support Systems por sus siglas en inglés).

En forma general un DSS tiene como función apoyar la toma de decisiones mediante la generación y evaluación sistemática de diferentes alternativas o escenarios de decisión, todo esto utilizando modelos y herramientas computacionales aplicadas a los datos e información. Los DSS no solucionan los problemas, sólo apoyan el proceso de toma de decisiones. La responsabilidad de tomar las decisiones, soportarlas y ejecutarlas corresponde al personal de decisión.



Figura 2.15. Tipos de Sistemas de Información.

### 2.11 Conclusiones del capítulo 2

La aplicación del enfoque de sistemas permitió proponer el uso de un CVDS para SITIEMS. El uso de este ciclo permitió establecer los requerimientos y especificaciones para el desarrollo de SITIEMS, bajo la premisa de ser robusto y flexible a fin de poder aceptar futuras modificaciones y mejoras.

El uso de metodologías formales en el análisis de un sistema complejo como TIEMS en su etapa regional, permitió identificar, ordenar y organizar la información de acuerdo a su tipo y a su ámbito de aplicación. El análisis dio como resultado la identificación de los diversos requerimientos de; usuario, sistema y funcionales que debe contemplar SITIEMS así como las diferentes operaciones a realizar por el software durante el procesamiento de información para determinar el estado del recubrimiento de los ductos.

El estudio de los modelos de TIEMS permitió identificar y organizar los procesos de cálculo que son necesarios para ser implementados y que en esta fase de análisis se muestran como parte fundamental del procesamiento.

Se identificó, organizo y clasifíco el tipo de información: de campo, técnico administrativa y la de entorno. Se establecieron los parámetros que requieren la selección de tipos y rangos de operación en los equipos: generadores de señales, de detección, de medición y que dependen de las condiciones de trabajo, entorno y ubicación del ducto inspeccionado e impactan en los procesos de cálculo por lo que son determinantes en los resultados.

El uso de metodologías como la de los casos de uso, permiten clarificar la funcionalidad de SITIEMS y ayudan a determinar el tipo de servicios que el sistema debe brindar como resultado de la interacción con él.

## CAPÍTULO 3.

# Diseño del sistema integral SITIEMS

La etapa de análisis permitió determinar qué se requería y cómo se realizaba el procesamiento de los datos en la TIEMS y paralelamente se determinó que debe hacer el nuevo software de TIEMS. Mediante la aplicación de diversas herramientas de análisis se logró clasificar la información de acuerdo a los subsistemas de: entrada, procesamiento, almacenamiento y salida. Se establecieron los requerimientos de: usuario, sistema y funcionalidad [11], que son considerados completamente y que debe cumplir el nuevo sistema SITIEMS.

En este capítulo se aborda la etapa de diseño, específicamente ¿Cómo hará SITIEMS para cumplir con los diversos requerimientos?, ver etapa de diseño en la figura 2.4., del CVDS para SITIEMS.

En el diseño se determina la forma en que se agrupan las variables, ¿cómo se organiza la información?, el flujo en el bloque específico y la transformación de las variables al pasar de un bloque a otro, comprendiendo los procesos, actividades y funcionamiento. Es aquí donde se determina si la información es de entrada o salida a un bloque, si se almacena o no, ¿cómo almacenarla?, si es necesario implementar un proceso o una interfaz y ¿cómo hacerlo?, se diseñan las aplicaciones e interfaces que permiten al usuario utilizar el sistema

Se define la arquitectura del nuevo sistema SITIEMS, la cual muestra: los bloques componentes, sus fronteras y sus interrelaciones.

A continuación se describe la metodología para el desarrollo de este capítulo:

- **Especificaciones y requerimientos de SITIEMS.**

Se establecen las especificaciones que debe cumplir SITIEMS para lograr los objetivos, se enmarcan las características particulares que bajo el entorno integrado de SITIEMS eliminan las limitaciones del esquema de procesamiento anterior.

- **Diseño de SITIEMS.**

Se hace uso del enfoque de sistemas para determinar los módulos o subsistemas que conforman SITIEMS.

- **Arquitectura del SITIEMS.**

Arquitectura es la organización fundamental de un sistema, que incluye sus componentes, las relaciones entre sí, el ambiente y los principios que gobiernan su diseño y evolución (ANSI/IEEE 1471-2000).

Se describe la arquitectura general de SITIEMS, conformada a través de bloques, se indica cómo se comunican entre sí mediante los procesos de transferencia y control de información y con las interfaces de usuario. Se observa cómo los operadores y usuarios interactúan con el bloque específico. Aquí se incluye dentro de cada bloque las acciones individuales de los diversos softwares utilizados en el esquema de procesamiento anterior de tal forma que la arquitectura muestra la estructura bajo la cual se construye cada módulo de SITIEMS.

- **Descripción de bloques operativos.**  
Se describe la función de los bloques operativos, sus límites operativos y su interrelación para trabajar de manera conjunta.
- **Conclusiones del capítulo.**  
Se concluye sobre las partes esenciales del diseño.

SITIEMS fue concebido como un sistema de información interactivo que facilite el tratamiento de información, modelos y herramientas de procesamiento para determinar el estado técnico del recubrimiento del ducto y que genera información para la interpretación de resultados sirviendo como apoyo al especialista en la toma de decisiones.

La toma de decisiones está orientada a la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo del ducto. Los daños en el recubrimiento son indicativos de problemas de corrosión y malfuncionamiento del SPC. Con la detección oportuna de fallas potenciales del ducto y la ejecución de las actividades de mantenimiento se evita la ocurrencia de graves accidentes que repercuten en: la pérdida de vidas humanas, afectación a los ecosistemas, destrucción de infraestructura y alto costo económico.

### **3.1 Especificaciones y requerimientos de SITIEMS**

Ahora se deben establecer las especificaciones y requerimientos que debe cumplir. En este punto se deben considerar satisfacer las necesidades y expectativas de las diferentes áreas y usuarios que originaron el desarrollo del sistema. Lo anterior es la clave para lograr el éxito del sistema.

SITIEMS debe ser capaz de realizar diversas operaciones con los siguientes propósitos:

- Cubrir las necesidades del procesamiento de datos.
- Proporcionar información a las entidades correspondientes, en apoyo a las actividades de planeación, control y toma de decisiones.
- Proveer la variedad de informes que sean necesarios.

Para cada uno de los subsistemas de SITIEMS: entrada, procesamiento, almacenamiento y salida., se debe considerar el incluir los siguientes elementos.

- Interfaces y métodos de entrada y preparación de datos.
- Interfaces y métodos de almacenamiento de datos.
- Interfaces de visualización de datos de entrada, procesamiento y salida.
- Métodos de manejo y procesamiento de datos.
- Métodos de cálculo en campos de la BD.
- Métodos e interfaces de salida.
- Métodos e interfaces para generación de documentación.
- Modelos de manejo, adecuación y procesamiento de datos.
- Proveer información para toma de decisiones.
- Para el caso del almacenamiento se considera la función de la BD y la generación de diversos archivos generados y salvados automáticamente alojados en una estructura de subdirectorios de acuerdo al tipo de proceso que los genera y al tipo de formato (texto, gráfico, hoja de cálculo).

### **3.1.1 Especificaciones funcionales**

- Debe ser fácil de operar.
- Debe optimizar el espacio en memoria, para facilitar su distribución.
- Debe ser flexible para incluir nuevas funciones y futuras extensiones.

Una de las principales estructuras de almacenamiento es la Base de Datos para SITIEMS en la cual repercuten muchas de las operaciones del sistema.

#### **3.1.1.1 Requerimientos de la base de datos BD para SITIEMS**

El módulo de almacenamiento se considera la fase principal de todo sistema de información basado en computadora, considera la base de datos y los diferentes archivos y estructuras contenedoras de información.

Objetivos de la base de datos:

- Los datos e información debe estar disponible (consultas) cuando el usuario lo requiera.
- Los datos deben ser precisos y consistentes (Integridad de los datos)
- Los datos deberán poder ser editados (generar nuevos datos, insertar, modificarlos, eliminarlos).
- Debe permitir usar la base de datos mediante una interfaz adecuada a cada tipo de usuario.
- Deben estar en formato útil que permita su administración y control para la toma de decisiones.

Para el manejo de la base de datos se debe tener:

- Interfaces de ingreso de información.
- Interfaces de visualización de datos de la BD.
- Métodos de edición (altas, bajas, cambio) de datos en la BD.
- Métodos de consulta a la BD mediante sentencias SQL.
- Métodos de transferencia de datos entre la BD y las estructuras de almacenamiento.

### **3.2 Diseño de SITIEMS**

Para esta fase se desarrolló lo siguiente.

- Diseño de SITIEMS a través de un criterio de bloques o modular.
- Diseño de las entradas, procesos, almacenamiento, archivos y salidas de información.

Se diseña SITIEMS desde un enfoque sistémico, se propone un esquema de operación y se identifican dentro de los principales bloques funcionales o subsistemas los detalles y la forma en que el sistema cumplirá con los requerimientos describiendo la funcionalidad e interrelación de cada bloque.

Se dibujan diagramas de flujo con el objeto de determinar la operación del sistema en forma modular y en ciertos casos para evitar ambigüedades se utiliza la metodología de descripción en español estructurado.

#### **3.2.1 Diseño de SITIEMS a través de un criterio de bloques o modular**

A partir del esquema general del SITIEMS se obtiene su modelo conceptual en el que se indican los requerimientos funcionales de su diseño. En este esquema se identifican cuatro subsistemas o grandes bloques, de entrada, proceso, almacenamiento y salida ver figura 3.1.



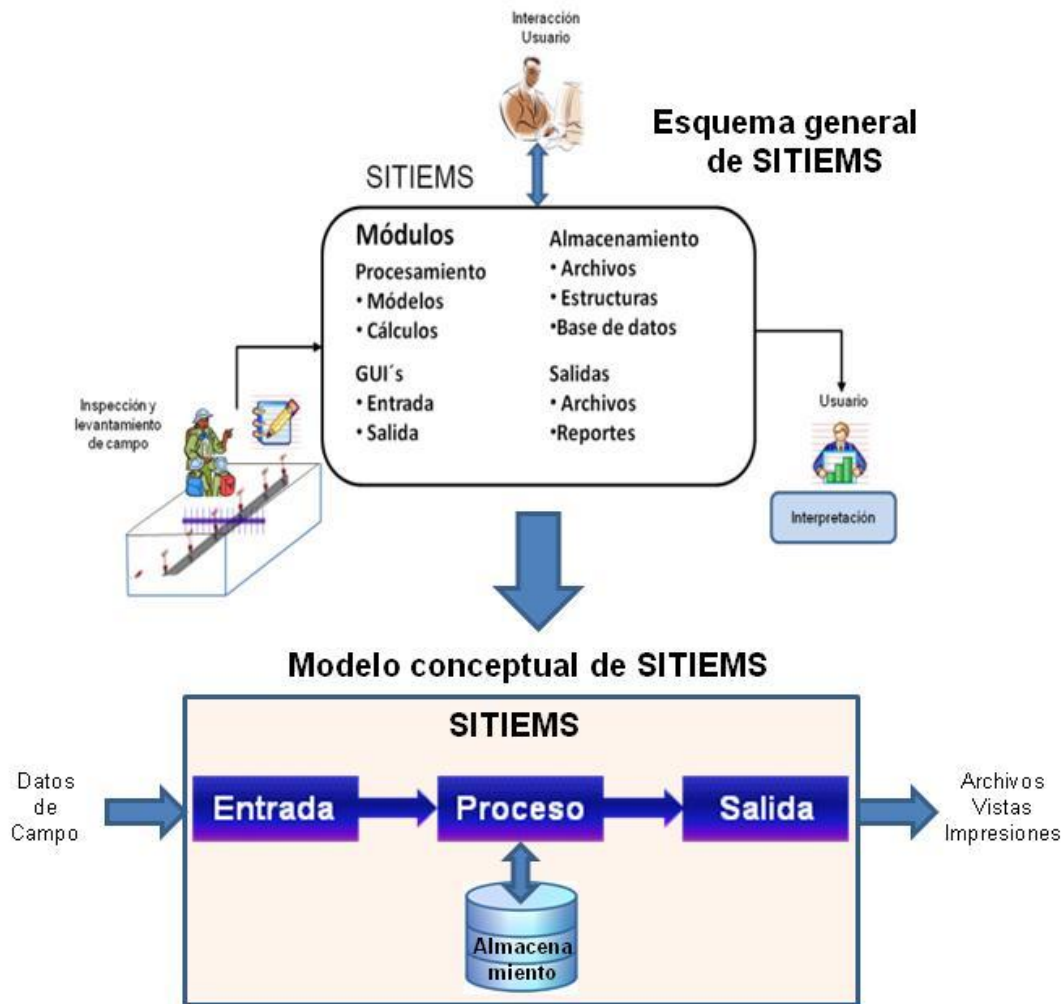


Figura 3.1. Obtención del modelo conceptual de SITIEMS

### 3.2.1.1 Modelo conceptual de SITIEMS

Durante el diseño de los módulos, se pueden identificar características o comportamientos comunes relacionados con accesos a las bases de datos o archivos, lógica o secuencia de llamadas a subprogramas, llamadas para comunicación con otros módulos así como la gestión de errores. En esta fase se identificó la forma en que cada módulo realiza el tratamiento de información, ¿qué recibe?, ¿cómo la transforma?, y ¿qué entrega?, identificando sus puntos de coincidencia o interrelación.

Por ejemplo para el esquema de procesamiento anterior con software no integrado y de acuerdo al flujo de información se identificaron los módulos:

Módulo de entrada: El usuario desde la bitácora selecciona datos de inspección en campo (distancia, corrientes y potenciales) y los introduce a una hoja de Excel, verifica los datos y si es necesario realiza un cálculo tomando en cuenta si el dato medido es afectado por alguna ganancia del instrumento de medición.

Módulo de procesamiento: El archivo de Excel es leído desde MATLAB, se aplica un script de cálculo y visualización de información para corrientes, potenciales y constantes de propagación, se aplican procesos de transformación y es regresada nuevamente al Excel, se realiza alguna adecuación y selección de información que es regresada nuevamente a MATLAB para continuar con el procesamiento.

Módulo de salida. MATLAB realiza cálculos sobre los datos de la hoja de Excel aplicando otro script generando salidas ya sea en archivo, en pantalla o gráficamente, los gráficos son transferidos a aplicaciones como Surfer y Corel Draw en donde se manipulan para efectos de presentación.

El esquema general y modelo conceptual de SITIEMS permitió ubicar y delimitar dentro del módulo o bloque operativo correspondiente el uso y alcance de toda la funcionalidad del esquema de procesamiento anterior.

Cada subsistema o módulo (entrada, procesamiento, almacenamiento y salida), tiene a su vez; datos de entrada/salida, forma de visualizarlos, métodos para manejarlos y generación de archivos con información de comunicación o transferencia entre módulos. Se establecen criterios para crear entidades independientes de modo que permitan al sistema ser flexible para futuros cambios y ampliaciones de tal forma que también se identifiquen procesos similares para poder reutilizar código. Para dar más claridad, para cada uno de los módulos se empleó un esquema de diseño denominado MVC (Modelo, Vista, Controlador) [1], ver figura 3.2., cuyas características permiten separar los datos de las vistas (GUI's) en que se presentan los datos considerando las restricciones y reglas determinadas en el controlador asociado a los modelos utilizados.

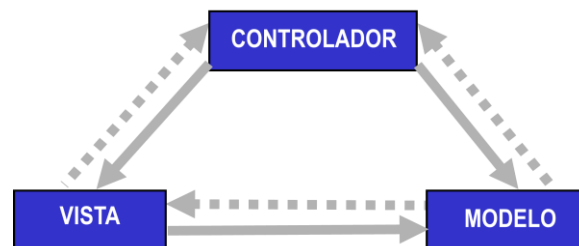


Figura 3.2. Esquema de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador).

Elementos del patrón MVC para cada módulo de SITIEMS:

- Modelo: datos y reglas de negocio.

- Vista: muestra la información del modelo al usuario.
- Controlador: gestiona las entradas del usuario.

Un modelo puede interrelacionar con diversas interfaces (GUI's), cada una con su correspondiente controlador.

a) El **modelo** es el responsable de:

- Acceder a la capa de almacenamiento de datos. Lo ideal es que el modelo sea independiente del sistema de almacenamiento.
- Define las reglas de negocio (la funcionalidad del sistema). Un ejemplo de regla puede ser: "Si no existe información del generador, no se pueden calcular las constantes de propagación (gammas)".
- Lleva un registro de las vistas y controladores del sistema, como puede ser: "Cuántos niveles de acercamiento se tienen en la gráfica".
- Como estamos ante un modelo activo, notificará a las vistas los cambios en los datos o la que pueda producir un agente externo (por ejemplo, un archivo del que analiza y adecua los datos, un evento que desencadena una inserción o una actualización).

b) El **controlador** es responsable de:

- Recibir los eventos de entrada (un clic, un cambio en un campo de texto asociado a la base de datos, un clic para cambio de formulario), actual un control para generación de algún archivo.
- Contiene reglas de gestión de eventos, descritas en español estructurado del tipo:

"Si Evento 1 entonces Proceso A"  
De otra forma Proceso B

En instrucciones de pseudocódigo:

```
if Evento 1 then
    Proceso A
else
    Proceso B
End
```

Estas acciones pueden suponer peticiones al modelo o a las vistas. Una de estas peticiones a las vistas puede ser una llamada al método:

Call Modificar(); accede a la interface de modificar datos

Algunas peticiones al modelo puede ser:

Calcular las constantes de propagación de las expresiones de potencial.  
calcula\_gammas( Km\_DD, potencial)

Reconstruir los potenciales para cada valor de corriente;  
Call Reconstruye\_potenciales ()

c) Las **vistas** son responsables de:

- Mostrar al usuario las GUI's con los objetos que generan los eventos y con los cuales interactúa el usuario.
- Recibir datos del modelo y presentarlos al usuario vía una GUI.
- Tienen un registro de su controlador asociado.

### 3.2.2 Determinar las entradas, procesos, almacenamiento y salidas de información para SITIEMS

A partir del modelo conceptual se estratifican los diferentes módulos mediante metodología TOP-DOWN indicando su función principal, ver figura 3.3., estratificación del modelo conceptual

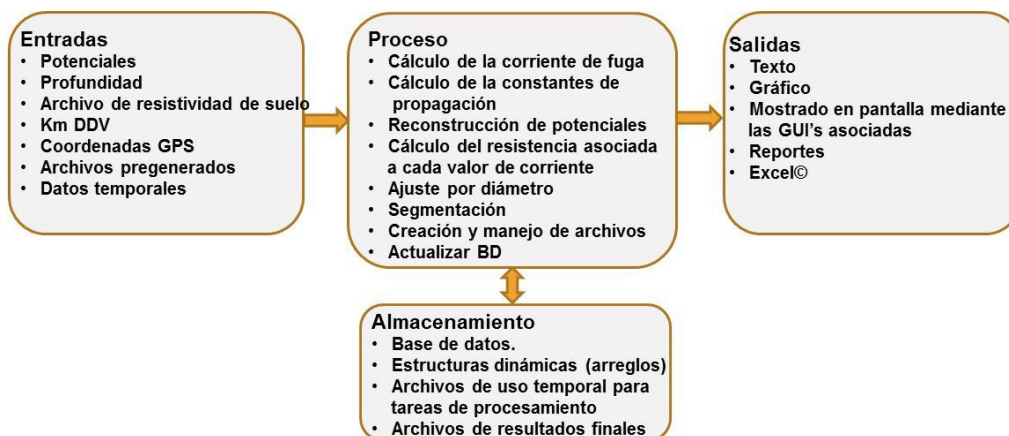


Figura 3.3. Estratificación del modelo conceptual.

La estratificación permite pasar de una percepción general a aspectos particulares. Para cada módulo de entrada el proceso inicia cuando los datos de campo son seleccionados y adecuados para ser almacenados en estructuras de almacenamiento temporal o en una base de datos, la introducción de datos se realiza por medio de interfaces gráficas de usuario GUI's.

Las GUI's presentan al usuario opciones de interacción con los diferentes módulos del sistema como resultado de la generación de eventos de acuerdo a los modelos de cálculo de TIEMS.

Los requerimientos de usuario así como el efecto de los tipos de eventos y secuencia de los procesos intermedios y finales sobre la información determinan si es almacenada o no. Los resultados de los procesos pueden ser mostrados en las

GUI's respectivas o bien se pueden obtener salidas en formatos de archivo predefinidos.

### **3.2.2.1 Entradas para SITIEMS**

Del análisis de TIEMS presentado en el capítulo anterior se determinaron las entradas requeridas para SITIEMS que para la etapa regional se resume en lo siguiente:

- Intensidad de campo magnético (a partir de lo cual se determinan los valores de corrientes y profundidad).
- Valor de potencial en los postes de control de protección catódica.
- Datos de la resistividad del suelo.

Toda medición realizada se asocia a:

- Una distancia referida KmDDV (Kilometraje sobre el derecho de vía) sobre el ducto con respecto a un punto de partida u origen.
- Posición geográfica determinada por coordenadas UTM.
- Información validada de acuerdo a las especificaciones de TIEMS para los tipos de señales leídas en los dispositivos de detección.

Otras entradas son:

- Archivos que contienen información de la medición de conductividad del suelo.
- Datos temporales alojados en arreglos que son compartidos entre diferentes módulos.
- Archivos generados automáticamente al finalizar la interacción del usuario en alguna fase del procesamiento.
  - Archivo de potenciales.
  - Archivo de segmentación.
  - Archivo de potenciales reconstruidos para los centros de intervalo de los segmentos.

Para la entrada de datos debe proveerse una GUI que sea fácil de operar y con la que el usuario interactúe; la información debe estar agrupada y distribuida en secciones sobre los elementos de despliegue de información de acuerdo al contexto (técnica-administrativa, de inspección y de entorno).

### **3.2.2.2 Procesos de SITIEMS**

SITIEMS considera la información desde el subsistema de entrada presentada en arreglos de datos, archivos modo: texto, gráfico y formatos de Excel y la seleccionada por el usuario al interactuar con gráficas mediante las diversas GUI's, dicha información es tratada de acuerdo a la aplicación de los diferentes modelos de cálculo referidos anteriormente como:

- Cálculo de la corriente de fuga.
- Cálculo de las constantes de propagación.
- Reconstrucción de potenciales.
- Cálculo de la resistencia asociada a cada valor de corriente.
- Ajuste por diámetro.
- Lectura y conversión automática del archivo de conductividad para obtener la resistividad del suelo.

Los procesos anteriores permiten obtener los parámetros necesarios para determinar el estado del recubrimiento del ducto.

Otros procesos son:

- La generación y manejo de archivos temporales y finales con formato: gráfico, texto y hoja de cálculo.
- Actualización y edición de la BD.

Las GUI's deben proveer los diversos controles que generen los eventos para la ejecución de los diversos procesos de cálculo y visualización.

### **3.2.2.3 Almacenamiento y archivos**

SITIEMS almacena los datos e información provenientes de los demás subsistemas de entrada, proceso y salida en:

- Base de datos.
- Estructuras dinámicas (arreglos).
- Archivos de uso temporal para tareas de procesamiento.
- Archivos de resultados finales que son mantenidos por el sistema bajo una estructura de directorios en disco duro para almacenar archivos con formato: gráficas, texto y hoja de cálculo.

Se accede al almacenamiento para compartir los datos para distintas fases y procesos de SITIEMS. Las GUI's deben proveer los diversos controles que generen los eventos para la ejecución de los diversos procesos de visualización y almacenamiento.

### **3.2.2.4 Salidas de SITIEMS**

En esta etapa SITIEMS considera la información proveniente de la etapa de proceso y almacenamiento para presentar la salida de los resultados parciales y finales en modo:

- Texto.
  - Archivo de potenciales y segmentación.
- Gráfico.

- Gráficas de distribución de corrientes y potenciales.
- Perfil de profundidad.
- Coordenadas UTM.
- En pantalla mediante las GUI's asociadas.
  - Resultados intermedios y finales del procesamiento.
- Reportes en pantalla mediante la GUI asociada.
  - Visualización de datos de inspección y del procesamiento.
  - Resultados intermedios y finales del procesamiento.
- Reportes impresos.
- Archivos Excel© del esquema de semáforo y reconstrucción de potenciales.

Cuando se genera un archivo determinado éste es nombrado automáticamente tomando como base el nombre de la BD y añadiendo el tipo de información que contendrá y su extensión para evitar ambigüedades y si es el caso se debe guardar en forma automática en un directorio específico dentro de una estructura de directorios, ver Tabla 3.1.

Subdirectorio\	Nombre BD	_Cadena descriptiva	_ kilometraje	extensión
Corriente\		_Seg		.txt
Fugas\		_CIFugas		.txt
G31\	-----	-----	-----	.G31
Graficas\		_J, _Prof, _GPS, _GPS3D		.emf
Potencial\		_Potencial		.txt
Procesamiento\		_SemafCI, _RecRho		.xls
Revestimiento\		_CITr		.txt

Tabla 3.1. Estructura de directorios.

La siguiente cadena muestra la forma de nombrar un archivo de forma automática:  
**C:\SITIEMS\Subdirectorio\Nombre BD\_ Cadena descriptiva\_ kilometraje.extensión**

#### **Ejemplo.**

**C:\SITIEMS**

Subdirectorio: **Corriente**

Nombre de la base de datos: **LDD 8 PBricol1**

Cadena descriptiva: **\_Seg**

Kilometraje: **6550\_8120**

extensión: **.txt**

Trayectoria formada:

**C:\SITIEMS\Corriente\LDD 8 PBricol1\_Seg\_6550\_8120.txt**

Finalmente la salida primordial muestra el estado del recubrimiento del ducto en un esquema de semáforo (ponderación en color que indica severidad del daño en

el recubrimiento) asociado a los puntos de interés seleccionados por el usuario, la salida pueden ser presentada en pantalla GUI's o en archivo de Excel.

### 3.3 Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario de SITIEMS.

Se diseñaron las GUI's consistentes en formularios y controles de operación amigables y fáciles de utilizar.

Como resultado del análisis de los diferentes modelos conceptuales se definieron prototipos de las GUI's asociadas a cada módulo constitutivo de SITIEMS iniciando desde una interfaz del **menú principal** ver figura 3.4a, que consta de un control de salida de la aplicación y seis controles tipo botón que permiten acceder a cada una de las seis GUI's de los módulos de SITIEMS.

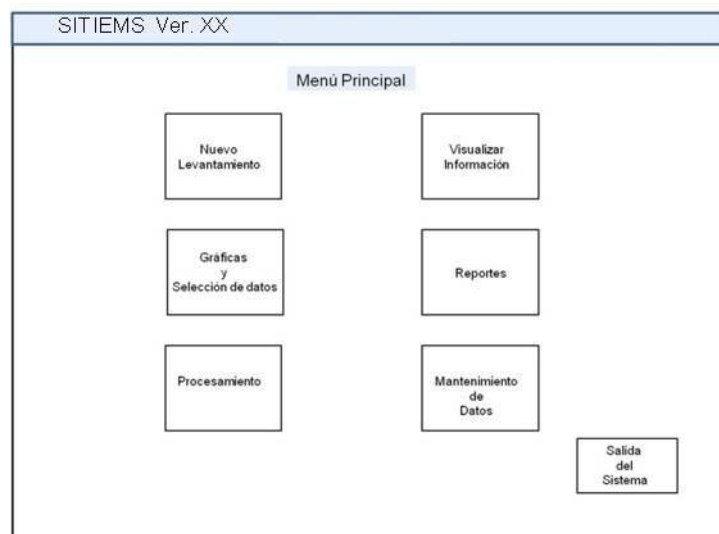


Figura 3.4a. GUI Menú Principal.

El evento de hacer clic sobre el botón **Nuevo Levantamiento** de la interfaz de Menú Principal permite acceder a la interfaz para crear una nueva BD, aquí se introduce el nombre del nuevo archivo de la base de datos, al aceptar el nuevo nombre se crea el entorno para capturar los datos de inspección de TIEMS, ver figura 3.4b. Y se hace clic sobre el botón regresar al menú principal para salir de esta opción.



The screenshot shows a window titled "Nuevo Levantamiento". Inside the window, there are three rectangular boxes. The top-left box contains the text "Nombre del nuevo archivo". To its right is a box labeled "Aceptar". Below the top-left box is another box labeled "Introducir nombre del nuevo archivo". In the bottom right corner of the window, there is a box labeled "Regresar a menú principal".

Figura 3.4b. GUI Nuevo Levantamiento

Para ingresar información en una BD nueva o una ya existente y visualizar e interactuar con los datos se accede a la GUI **Visualización de datos**. En esta interfaz el usuario introduce la información en tres secciones: encabezado, corrientes y potenciales, es en esta sección donde se agrupa la información de acuerdo al contexto e importancia (técnica-administrativa, de servicio, entorno, inspección etc.), para un mejor manejo. Al salir de esta interfaz se crea automáticamente el archivo de potenciales (formando parte del almacenamiento), necesario para el cálculo de las constantes de propagación. Ver figura 3.4c.

The screenshot shows a window titled "Visualización de datos". At the top left, there is a box labeled "Rango de Kilometraje". Below it is a large box labeled "Sección de encabezado". To the right of this box is a smaller box labeled "Sección de control de modificación de encabezado". Below the "Sección de encabezado" box is another large box labeled "Sección de visualización de datos relacionados con la corriente". Below this box is a box labeled "Nombre de archivo de potenciales". At the bottom of the window is a large box labeled "Sección de visualización de datos relacionados con el potencial". In the bottom right corner, there is a box labeled "Regresar a menú principal".

Figura 3.4c. GUI Visualizar Información

Una vez que se tiene ha terminado de ingresar y editar los datos en las diferentes secciones, al regresar al menú principal, se actualiza la BD.

Mediante el botón **Gráficas y selección de datos** el usuario accede a la interfaz **gráficas** ver figura 3.4d, que contiene tres secciones en la parte superior:

- kilometraje DDV vs. corriente.  
El usuario puede observar la distribución de corriente en relación a la distancia.
- kilometraje DDV vs. profundidad.  
El usuario puede observar el perfil de profundidad con respecto a la distancia a lo largo del tendido del ducto.
- GPSX vs. GPSY.  
El usuario puede ubicar el ducto conforme al valor de las coordenadas a lo largo del tendido del ducto

El usuario cuenta con controles para interactuar con las diversas gráficas.

En la gráfica de kilometraje DDV vs. Corriente, el usuario realiza el proceso de segmentación (selección de datos uniformes de corriente). Una vez realizada la segmentación, mediante un control, el usuario genera el archivo correspondiente para ser utilizado en los procesos de cálculo.

El usuario tiene controles para poder generar el archivo gráfico de la imagen mostrada en la sección de gráficas y poder cambiar el color de fondo de dicha sección.

En esta misma interfaz el usuario, seleccionando la sección adecuada visualiza la gráfica de kilometraje vs. profundidad y puede observar el perfil topográfico del ducto y observa el dato de la profundidad promedio.

Seleccionando la sección de GPSX vs. GPSY el usuario observa la localización del ducto en forma georeferenciada.

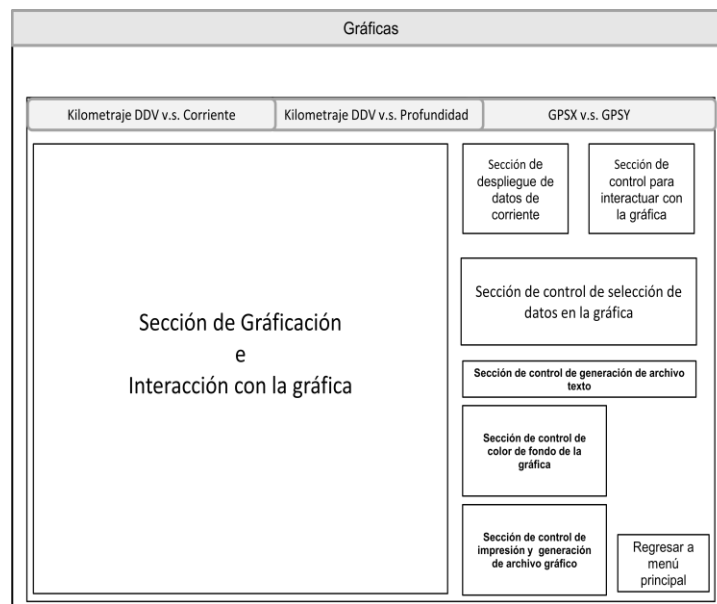


Figura 3.4d. GUI Gráficas y Selección de datos

El usuario puede acceder a la Interfaz de **Procesamiento** figura 3.4e. , mediante el botón procesamiento del menú principal.

Al acceder a esta interfaz el usuario tiene en forma automática el resultado de la aplicación de los modelos de cálculo, identificando resultados parciales en diferentes secciones. Puede identificar los valores de las corrientes para determinar los intervalos definidos por la segmentación, el cálculo de las constantes de propagación, de la corriente de fuga, reconstrucción de potenciales de los centros de intervalo y reconstrucción de potenciales asociados a las corrientes de inspección. Puede interactuar con la gráfica de kilometraje DDV vs. potenciales reconstruidos.

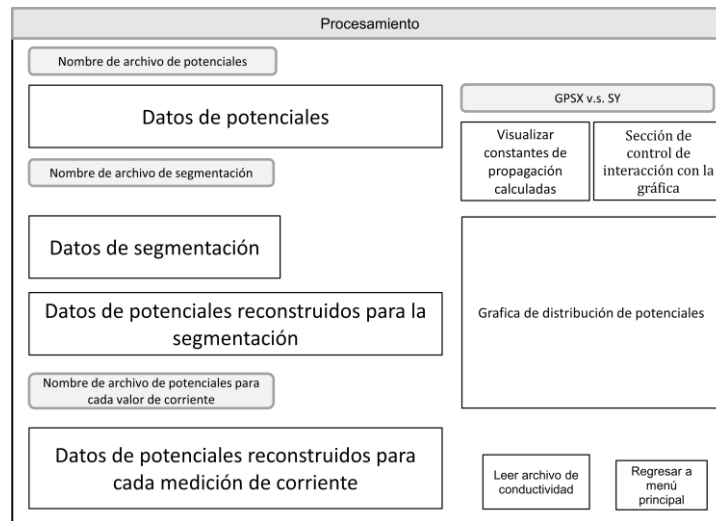


Figura 3.4e. GUI Procesamiento.

Cuenta además, con un botón de control para leer los archivos de conductividad para realizar los cálculos asociados al sistema ducto-suelo. Una vez que se accede a la interfaz G31 (ver figura 3.4f), el usuario selecciona el archivo de conductividad para considerar los efectos del medio en el cálculo de la resistencia del recubrimiento del ducto.

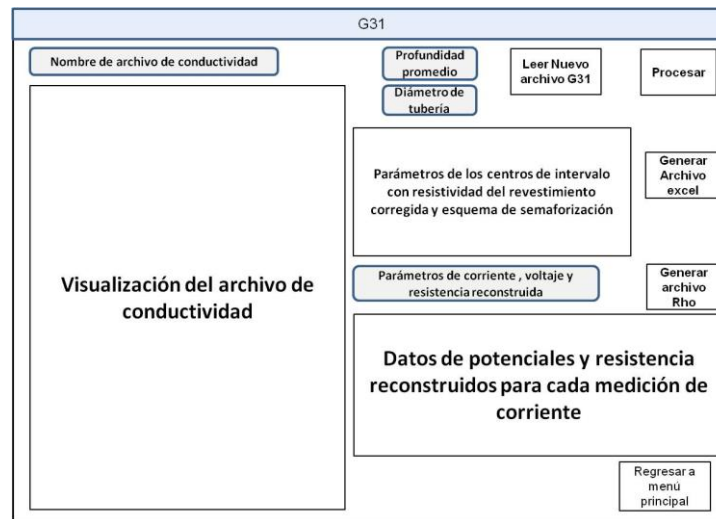


Figura 3.4f. GUI G31.

El usuario puede observar:

- El archivo de resistividad seleccionado.
- Los resultados del procesamiento para la resistencia del recubrimiento corregida en el esquema de semáforo.

- El resultado final del procesamiento para la resistencia reconstruida asociada a cada valor de corriente de inspección.

El usuario tiene controles tipo botón para generar el archivo del esquema de semáforo en formato de hoja de cálculo Excel y el archivo que contiene la resistencia reconstruida para los valores de corriente. También dispone de controles de tipo botón que le permite leer cuantas veces se requiera, archivos de conductividad y realizar el procesamiento.

Los valores de la resistencia y potenciales reconstruidos para cada valor de corriente de inspección se almacenarán en la BD.

El usuario activa el botón de reportes para acceder a la GUI **Reportes** en donde especificará el tipo de reporte a generar: corriente o potenciales, ver figura 3.4g.

- Puede definir la variable a considerar en el reporte: corrientes o potenciales.
- Puede definir el rango de kilometraje a considerar en el reporte.
- Tiene una vista preliminar del reporte.
- Puede aceptar o cancelar la opción de selección del rango de kilometraje.
- Puede elegir el imprimir o no el reporte.
- Puede cancelar la selección de rango de kilometraje elegida.



Figura 3.4g GUI Reportes.

Activando el botón de reportes del menú principal, el usuario dispone de una interfaz que permite dar **mantenimiento a la BD** ver figura 3.4h, en donde puede modificar o incrementar los elementos (dominio) de los catálogos.

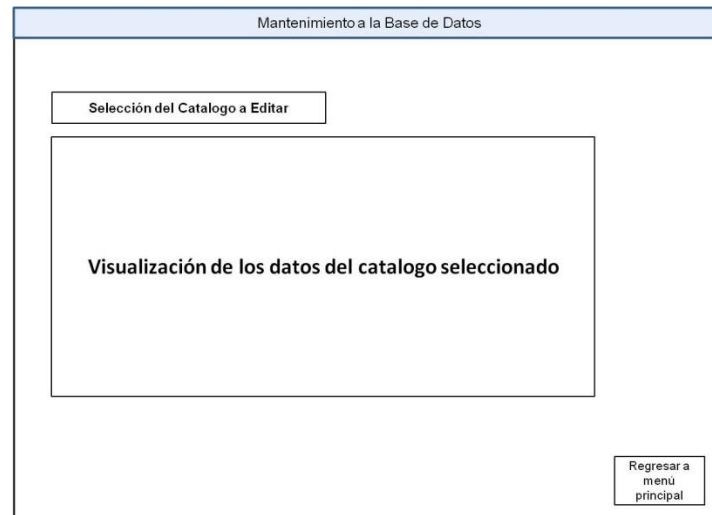


Figura 3.4h. GUI Mantenimiento a la Base de Datos.

### 3.4 Diseño de la Base de Datos

Para el diseño de la BD se involucra la Información asociada a la inspección considerando lo siguiente:

- Se asocian las mediciones de TIEMS con la distancia cubierta en las actividades de inspección.
- Se debe almacenar datos de medición sobre corrientes y potenciales, cada medición de corriente y potencial debe tener asociada una distancia, las mediciones en una inspección es variable, cada medición es identificada por un número consecutivo.
- Se debe almacenar la posición geográfica de la medición, la profundidad y observaciones.
- Se debe almacenar información de carácter administrativo asociado al ducto.
- Modificar y complementar campos de la BD para valores calculados.
- Se debe almacenar los valores de operación de los equipos.
- Se debe almacenar el tipo de servicio del ducto.
- Se debe almacenar información referente al entorno del ducto.

#### 3.4.1 Modelo de datos para SITIEMS

Para el diseño de la BD se debe elegir el modelo de datos que se va a utilizar. El modelo que nos permite mayor flexibilidad en el diseño en su nivel de abstracción conceptual, es el *modelo de datos relacional*, ya que es un modelo

que permite representar problemas complejos de la realidad y un adecuado esquema de representación lógica, su estructura permite realizar ampliaciones y modificaciones del esquema sin modificar la estructura lógica existente y sin modificar los programas de aplicación [5].

La etapa de diseño de la base de datos BD consta de tres fases ver figura 3.5.

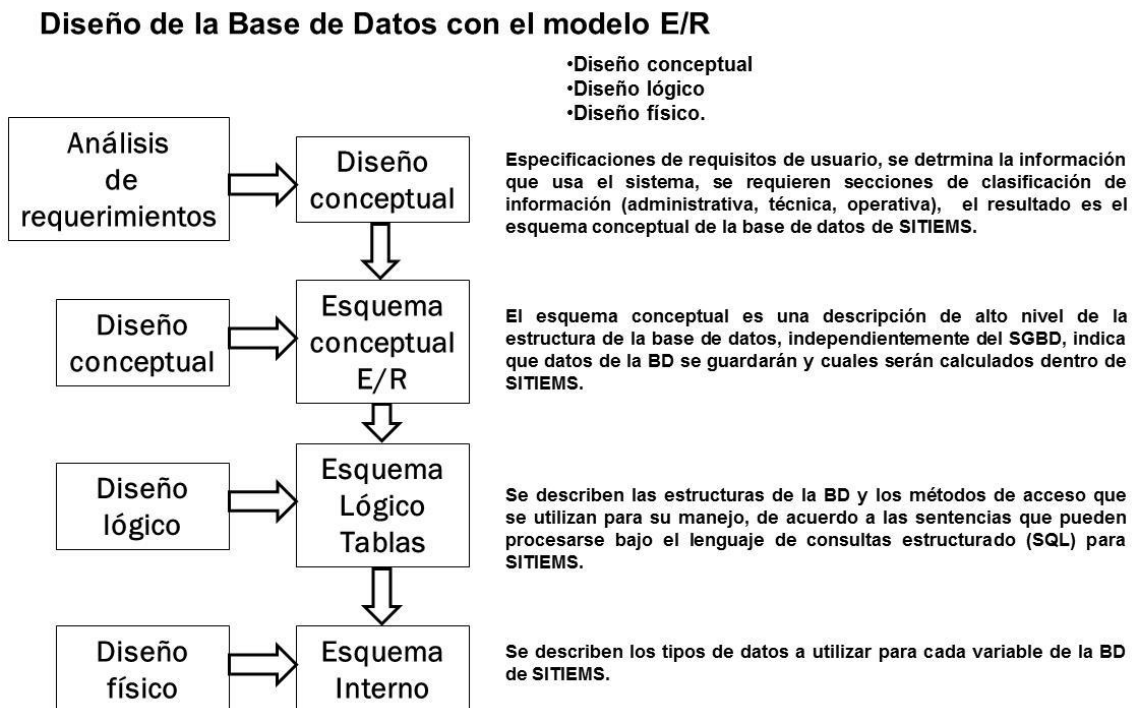


Figura 3.5. Fases de diseño de la Base de Datos.

Se conformará la base de datos en el esquema conceptual E/R (entidad/relación), modelo creado por Codd en 1970 en la compañía IBM.

### 3.4.2 Diseño lógico de la BD de SITIEMS

La finalidad del diseño lógico, es describir el contenido de información de la base de datos más que describir las estructuras de almacenamiento que manejarán dicha información.

El diseño lógico de la base de datos implica la utilización de los atributos adecuados para identificar los objetos o entidades.

Se presenta un esquema lógico de la base de datos que contiene algunas de sus tablas y sus campos ver figura 3.6.

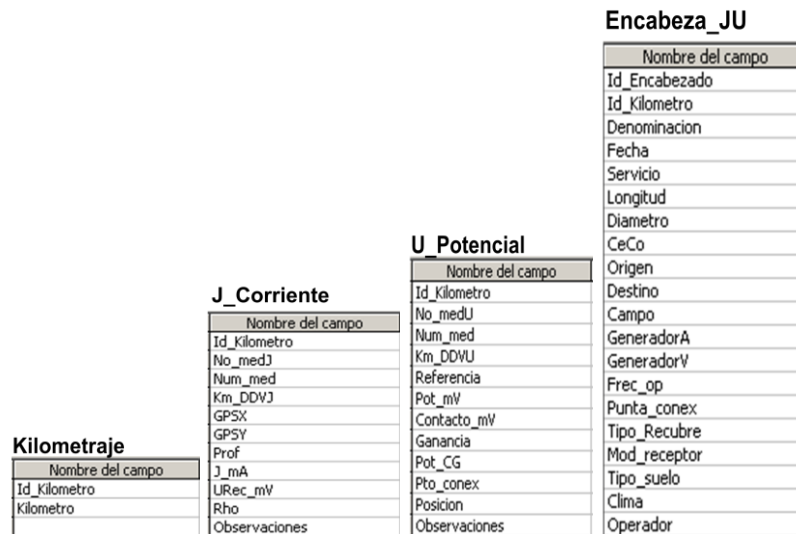


Figura 3.6. Diseño lógico de las tablas de SITIEMS.

### 3.4.3 Diseño físico de la BD de SITIEMS

El diseño físico de la base de datos implica aprovechar las características disponibles del hardware y software que permiten obtener acceso físico a los datos. Es importante diseñar correctamente la base de datos, de no ser así posteriormente es difícil realizar cambios. Se describen el tipo de datos y la longitud de campo, ver figura 3.7.

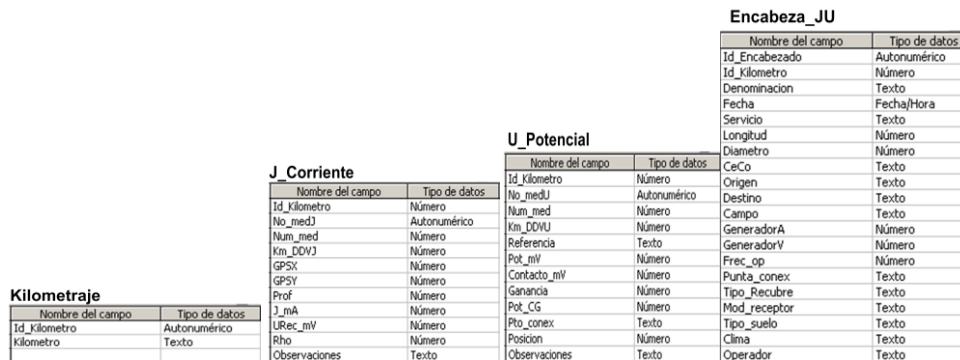


Figura 3.7. Diseño físico de la base de datos de SITIEMS.

El modelo de datos relacional [19], [22], [23], utiliza conceptos como entidades, atributos y relaciones.

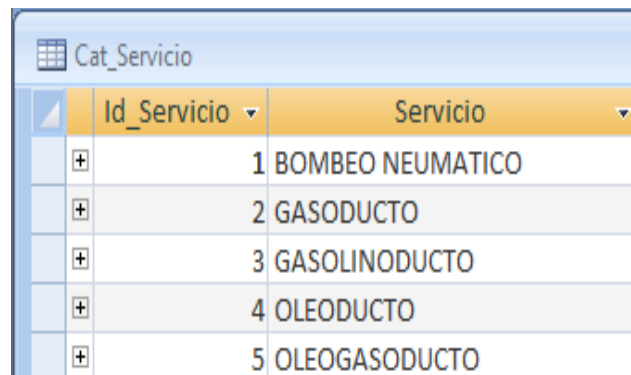


Una **entidad** representa un objeto o concepto del mundo real como, por ejemplo, una medición de parámetros físico (corriente o potenciales, resistividad).

Un **atributo** es una unidad básica e indivisible y representa alguna propiedad de importancia de una entidad como, por ejemplo, si se va a modelar una medición durante el servicio de inspección del ducto, probablemente se quiera saber, quién es el responsable, con qué equipo se realizó, en qué distancia fue tomada la medición y qué ubicación geográfica tiene.

Cada atributo tiene un conjunto de valores asociados denominado dominio. El dominio define todos los valores posibles que puede tomar un atributo.

Por ejemplo, si tomamos como atributo para una entidad tipo de servicio del ducto y su rango ver figura 3.8, está claro que el tipo de dato que tendremos que usar será de tipo cadena, sin embargo, los únicos valores que puede tomar son los del conjunto {BOMBEO NEUMÁTICO, GASODUCTO, GASOLINODUCTO, OLEODUCTO, OLEOGASODUCTO} este sería el dominio del atributo servicio del ducto.



Id_Servicio	Servicio
1	BOMBEO NEUMATICO
2	GASODUCTO
3	GASOLINODUCTO
4	OLEODUCTO
5	OLEOGASODUCTO

Figura 3.8. Entidad o tabla Cat\_Servicio.

Además de los atributos de cada entidad, un modelo de datos debe especificar las asociaciones existentes entre las entidades. Estas asociaciones son las relaciones entre entidades. Por ejemplo, la frase "las mediciones de corriente sobre el derecho de vía " nos dice que hay dos entidades, "Kilometraje de DDV" y "Corrientes", que están relacionadas por " mediciones".

Una **relación** describe una interacción o asociación entre dos o más entidades, por ejemplo, la relación que hay entre un rango de kilometraje y las de corriente o potencial registradas.

La estrategia seguida para el diseño: TOP-DOWN de arriba a abajo. Se comienza con un esquema con entidades de alto nivel, que se van refinando para obtener entidades de bajo nivel, atributos y relaciones.

### 3.4.4 El modelo relacional para SITIEMS

Características del modelo relacional [22], [23].

- Todos los datos se representan en tablas.
- Las tablas están compuestas por filas (registros) y columnas (atributos).
- Las tablas representan objetos físicos como es el caso de las mediciones, cada una es especificada en una fila (registro).
- Las filas y las columnas no tiene un orden específico
  - Las filas sólo se ordenan indicándoselo a la BD mediante el comando SQL apropiado.
  - El orden de las columnas lo determinan las consultas(SQL).
- Cada tabla tiene una **clave primaria**, un identificador único, compuesto por una o más columnas.
- La mayoría de las claves primarias están formadas por una única columna (p.ej., ID\_Kilometraje).
- Para establecer una **relación** entre dos tablas es necesario incluir, en forma de columna, en una de ellas la clave primaria de la otra. A esta columna se le llama **clave secundaria**.
- Identificar las entidades que deben ser consideradas en la base de datos.
- Una relación es una característica especial de las BD relacionales que permite trabajar con los datos de varias tablas a través de un campo en común. Existen tres tipos de relaciones de acuerdo a su **cardinalidad** y son:
  - Uno a uno (p.ej., un rango de kilometraje tiene un solo encabezado).
  - Uno a muchos (p.ej., un rango de kilometraje tiene muchas mediciones de corriente).
  - Muchos a muchos.

Para establecer las relaciones entre entidades [22] fue necesario realizar:

- Dibujar el diagrama Entidad/Relación.
- Determinar los atributos de cada entidad.
- Definir la clave primaria (única) de cada entidad.
- Corresponder la clave primaria de una entidad con una clave no primaria de la segunda entidad.

Se diseñó una BD relacional en formato ACCESS que consta de diez tablas ver figura 3.9.

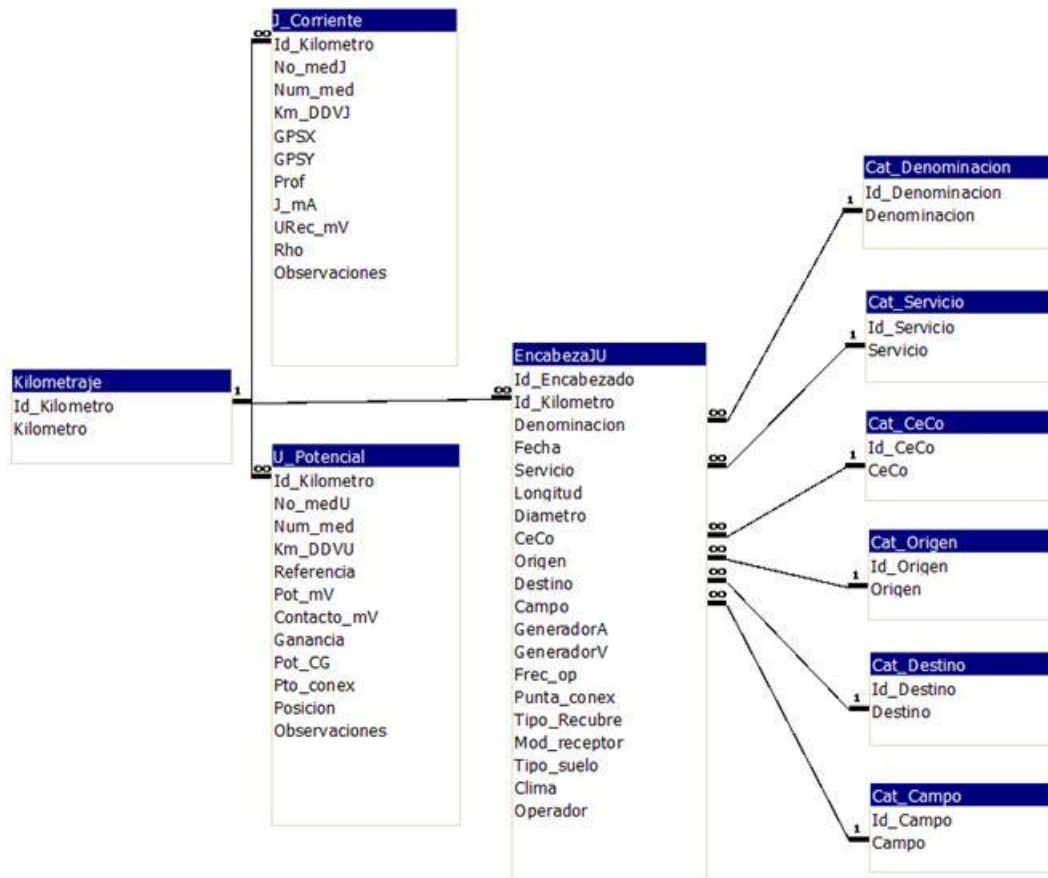


Figura 3.9. Diseño de la BD y relaciones de SITIEMS.

A continuación se describen las tablas de la BD de SITIEMS

Cuatro de ellas para:

- Rango de kilometraje      Kilometraje
- Mediciones de Corriente    J\_Corriente
- Mediciones de Potencial    U\_Potencial
- Encabezado                    Encabeza\_JU

Las seis restantes son utilizadas como catálogos:

Catálogo Denominación	Cat_Denominacion
Catálogo Servicio	Cat_Servicio
Catálogo Centro de Coste	Cat_CeCo
Catálogo Origen	Cat_Origen
Catálogo Destino	Cat_Destino
Catálogo Campo	Cat_Campo

Ejemplo de la tabla J\_Corrientes de SITIEMS referente a los datos de inspección de corrientes ver figura 3.10a.

		Clave o llave primaria			Columnas Campos atributos				
Filas Registros		Id_Kilometro	No. Med	Km. DDV	GPS X	GPS Y	Prof. [m]	J [mA]	Observaciones
→		1	1	10	452615	1990248	1.47	109	Barda perimetral área de trampa POPB
→		1	2	20	452504	1990250	0.51	106	Cruce acceso área de trampas
→		1	3	40	452595	1990251	1.03	78	Barda perimetral

Figura 3.10a. Tabla y sus componentes.

Y la forma en que se hace referencia a la entidad con sus respectivos atributos es:

J\_Corriente(Id\_Kilometro, NoMedJ, KmDDVJ, GPSX, GPSY, Prof, J\_mA, Observaciones)

Nombre de la tabla seguida de sus atributos encerrados entre paréntesis y las llaves primarias son los atributos subrayados.

Ejemplo de la relación del tipo uno a muchos de la tabla Kilometraje con la tabla J\_Corriente, ver figura 3.10b.

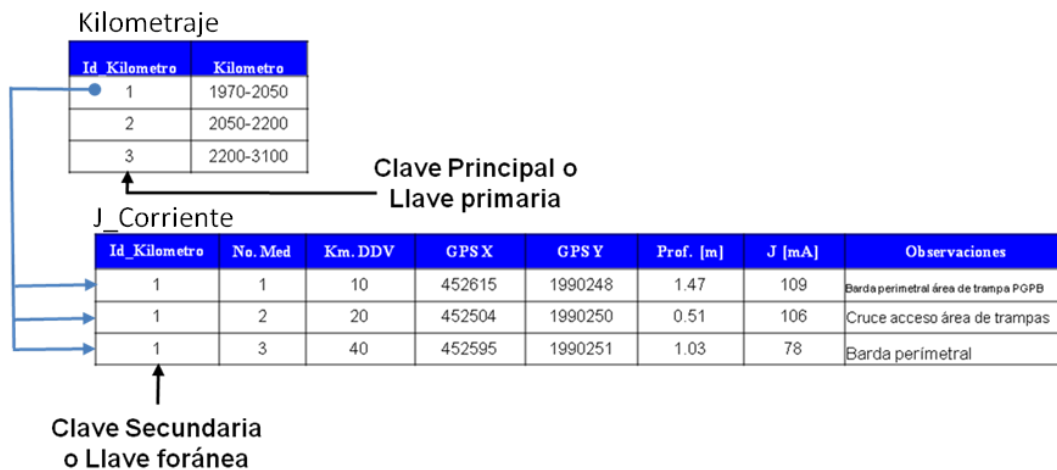


Figura 3.10b. Relación uno a muchos en SITIEMS.

En el contexto de interpretación de las relaciones ver figura 3.11., se puede leer en ambos sentidos dependiendo de la entidad inicial, es decir:



Figura 3.11. Interpretación de las relaciones.

La relación se lee desde la entidad kilometraje:

- Un Kilometraje {puede ser} contenedor de {una o varias} mediciones de J\_corriente

o bien desde la entidad J\_Corriente:

- Una o muchas mediciones de J\_corriente {debe estar} contenida en {uno y solo un} Kilometraje.

### 3.4.5 Resumen de la BD para SITIEMS

Para mayor claridad de la finalidad de la BD, se describe su función en lenguaje natural:

La base de datos de SITIEMS contiene 4 tablas principales.

La primera tabla **kilometraje** contiene los rangos de kilometraje asociados a la inspección del ducto, cada rango de kilometraje tiene un identificador único (**Id\_Kilometro**).

Cada rango de kilometraje es especificado como un múltiplo de 10, de tal forma que por procedimiento cada 10 metros se realiza una medición.

Para cada medición se registran valores de potencial y corriente.

Cada medición de corriente tiene asociados parámetros de ubicación GPSXY, valor de la corriente, profundidad del ducto en ese punto y observaciones generales de interés.

La segunda tabla corresponde a la información de un encabezado (**EncabezadoJU**) asociado a cada uno de los rangos de kilometraje referidos en la primera tabla. Y contiene información de tipo administrativo y técnico

La tercera tabla (**J\_Corriente**) contiene cada una de las mediciones del parámetro corriente y su respectiva distancia, coordenadas GPS, profundidad y observaciones

La cuarta tabla (**U\_Potencial**) contiene cada una de las mediciones del parámetro potencial, potencial de contacto, ganancia, potencial corregido en ganancia, punto de conexión y observaciones.

Se tienen seis tablas como catálogos, el uso de catálogos permite clasificar los datos sistemática y temáticamente, con ellos se valida y se mantiene la integridad y coherencia de los datos. Los catálogos relacionados a algún atributo determinarán el dominio de dicho atributo.

Es importante considerar que una vez establecida la BD ésta será consultada y modificada por el programa de aplicación, la forma de realizarlo es por medio del lenguaje propio de las bases de datos, el SQL (Structured Query Language) lenguaje estructurado de consultas.

Es primordial establecer que por así convenir en la forma de trabajo del usuario la estructura de la base de datos va a estar físicamente en el directorio del disco duro de las máquinas de usuario por ejemplo, C:\SITIEMS\BD\estruct.mbd, las réplicas de esta estructura se manejarán en el directorio SITIEMS.

Finalmente en el Anexo B: Diccionario de datos de las BD de SITIEMS contiene la información referente a la estructura de la base de datos, se muestra cada tabla con sus atributos y el tipo de dato asignado.

### 3.4.6 Dimensionamiento de la BD.

El dimensionamiento de la BD es determinante para evaluar las capacidades de almacenamiento que son requeridas. Para ello se establece el escenario más crítico de información que es obtenida dentro de las actividades de inspección.

El caso crítico es inspeccionar un ducto con diez kilómetros de extensión. En primera instancia por normatividad se considera las restricciones de la metodología de inspección de la TIEMS y las condiciones operativas:

Se tiene diez registros de kilometraje que indicaría

- Km\_00+xxx
- Km\_01+xxx
- Km\_02+xxx
- ⋮
- Km\_09+xxx

Los puntos de conexión del generador y la toma de potenciales se realizan en los postes del SPC, cuya distribución es de acuerdo a la norma NRF-047-PEMEX-2007.



Figura 3.12. Tipo de poste R y RA para SPC.

#### Poste tipo “R”

Se instalan con espaciamiento máximo de 1 kilómetro, a lo largo de los ductos por proteger, o donde sea más conveniente.

#### Poste tipo “RA”

Se deben instalar con espaciamiento máximo de 5 km, a lo largo de la(s) tubería(s) por proteger, o donde lo indique el proyecto.

El tramo de ducto a inspeccionar debe estar entre al menos dos puntos (sugerido tres puntos) donde se ha medido el potencial. Considerando la extensión total del ducto tenemos:

La figura 3.13., muestra la forma en que se dispone para realizar las mediciones.

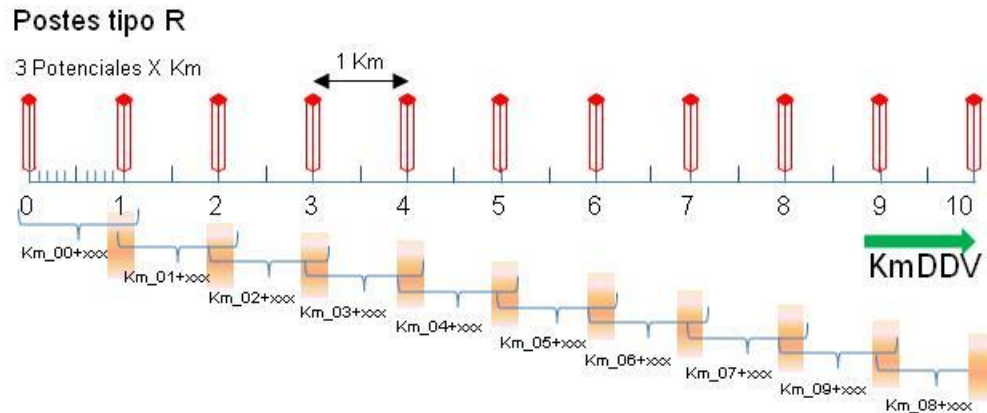


Figura 3.13. Disposición de elementos para toma de mediciones.

A continuación se muestran las tablas con el tipo de campo utilizado y su extensión en bytes.

Para la tabla de kilometraje ver figura 3.14.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Kilometro	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Kilometro	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes 2 byte/caracter.

Figura 3.14. Dimensión tabla kilometraje.

Los diez registros de kilometraje consumen:

$$\text{NumRegKilom} \times \text{NoBytesRegKilom} = \text{TotalBytesRegKilom}$$

$$10 \quad \times \quad 44 \text{ Bytes} \quad = \quad 440 \text{ Bytes}$$

Un Kbyte= 1024 bytes => 440 bytes equivalente 0.43 Kbytes

Se considera que para cada registro de kilometraje se tiene uno de encabezado que describe particularidades del ducto.

Un registro de encabezado ver figura 3.15., que contiene toda la información asociada al ducto:

$$\text{NoEncabezados} \times \text{TamBytesEncabezado} = \text{TotalBytesEncabezados}$$

$$10 \quad \times \quad 704 \text{ bytes} \quad = \quad 7040 \text{ bytes}$$

Así TotalBytesEncabezados = 6.875 Kbytes.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción	
Id_Encabezado	Autonumérico	Entero largo	4 bytes
Id_Kilometro	Número	Entero largo	4 bytes
Denominacion	Texto	Tamaño del campo 55, 110 bytes	2 byte/caracter.
Fecha	Fecha/Hora	Fecha	8 bytes
Servicio	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes	2 byte/caracter.
Longitud	Número	Simple	2 bytes
Diametro	Número	Simple	2 bytes
CeCo	Texto	Tamaño del campo 40, 80 bytes	2 byte/caracter.
Origen	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes	2 byte/caracter.
Destino	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes	2 byte/caracter.
Campo	Texto	Tamaño del campo 40, 80 bytes	2 byte/caracter.
GeneradorA	Número	Entero	2 bytes
GeneradorV	Número	Entero	2 bytes
Frec_op	Número	Entero	2 bytes
Punta_conex	Texto	Tamaño del campo 30, 60 bytes	2 byte/caracter.
Tipo_Recubre	Texto	Tamaño del campo 30, 60 bytes	2 byte/caracter.
Mod_receptor	Texto	Tamaño del campo 8, 16 bytes	2 byte/caracter.
Tipo_suelo	Texto	Tamaño del campo 18, 32 bytes	2 byte/caracter.
Clima	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes	2 byte/caracter.
Operador	Texto	Tamaño del campo 40, 80 bytes	2 byte/caracter.

Figura 3.15. Dimensión tabla encabezado.

Para el caso de las mediciones de corriente ver figura 3.16., para 10 km desde el punto inicial se señalizan tramos de 10 m, de tal forma que se tiene 1000 puntos de medición.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción	
No_medJ	Autonumérico	Entero largo	4 bytes
Num_med	Número	Entero	2 bytes
Km_DDVJ	Número	Doble	8 bytes
GPSX	Número	Entero largo	4 bytes
GPSY	Número	Entero largo	4 bytes
Prof	Número	Simple	2 bytes
J_mA	Número	Doble	8 bytes
URec_mV	Número	Doble	8 bytes
Rho	Número	Doble	8 bytes
Observaciones	Texto	Tamaño del campo 60, 120 bytes	2 byte/caracter.

Figura 3.16. Dimensión tabla Corrientes.

$$\text{NoRegCorriente} \times \text{TamBytesRegCorriente} = \text{TotalBytesRegCorriente}$$

$$1000 \times 168 = 168000 \text{ bytes}$$

Si un Kb=1024 bytes, tenemos que para los 1000 registros se tendrán 164 Kbytes.

$$\text{TotalBytesRegCorriente} = 164 \text{ Kbytes}$$

**Para potenciales**, ver figura 3.17

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción	
Id_Kilometro	Número	Entero largo	4 bytes
No_medU	Autonumérico	Entero largo	4 bytes
Num_med	Número	Entero	2 bytes
Km_DDVU	Número	Doble	8 bytes
Referencia	Texto	Tamaño del campo 25, 50 bytes	2 byte/caracter.
Pot_mV	Número	Entero	2 bytes
Contacto_mV	Número	Entero	2 bytes
Ganancia	Número	Doble	8 bytes
Pot_CG	Número	Simple	2 bytes
Pto_conex	Texto	Tamaño del campo 50, 100 bytes	2 byte/caracter.
Posición	Número	Entero	2 bytes
Observaciones	Texto	Tamaño del campo 60, 120 bytes	2 byte/caracter.

Figura 3.17. Dimensión tabla Potenciales.



Se evalúan condiciones operativas de acuerdo a los puntos de conexión del generador de señales electromagnéticas en los postes R o RA.

Se considera el caso de once postes del tipo R separados un kilómetro, para cada kilómetro se miden tres potenciales. Así en diez kilómetros se tienen treinta registros de potenciales con la siguiente demanda de almacenamiento:

$$\begin{array}{rclcl} \text{NoRegPotencial} & & \times & \text{TamBytesRegPotencial} & = & \text{TotalBytesRegPotencial} \\ 30 & & \times & 304 \text{ bytes} & = & 9120 \end{array}$$

TotalBytesRegPotencial = 8.9 Kbytes.

Finalmente considerando cada uno de los catálogos ver figura 3.18.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Campo	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Campo	Texto	Tamaño del campo 40, 80 bytes 2 byte/caracter.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_CeCo	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
CeCo	Texto	Tamaño del campo 40, 80 bytes 2 byte/caracter.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Denominacion	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Denominacion	Texto	Tamaño del campo 55, 110 bytes 2 byte/caracter.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Destino	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Destino	Texto	Tamaño del campo 30, 60 bytes 2 byte/caracter.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Origen	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Origen	Texto	Tamaño del campo 30, 60 bytes 2 byte/caracter.

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
Id_Servicio	Autonumérico	Entero largo 4 bytes
Servicio	Texto	Tamaño del campo 20, 40 bytes 2 byte/caracter.

Figura 3.18. Dimensión tablas de Catálogos.

En total consumen 454 bytes y considerando que cada catalogo contiene como información inicial de 10 registros se tiene.

$$\begin{array}{rclcl} \text{NoRegCatalogos} & \times & \text{NoBytesCatalogos} & = & \text{TotalNoBytesCatalogos} \\ 10 & \times & 454 & = & 4540 \end{array}$$

Así TotalNoBytesCatalogos = 4.43 Kbytes.

Sumando todo el dimensionamiento anterior se obtiene el total, ver tabla 3.2.

Tipo de registros	Kbytes
TotalBytesRegKilom	0.43
TotalBytesEncabezados	6.875
TotalBytesRegPotencial	164
TotalNoBytesCatalogos	4.43
Dimensionamiento Total	184.635

Tabla 3.2 Ejemplo de Dimensionamiento de la BD.

Esta es la demanda en almacenamiento para un archivo del tipo .mdb, que contiene la información de un ducto de diez kilómetros.

Se ha tratado un caso específico en el cual se muestra que la demanda de almacenamiento no es restrictiva, para el caso del manejo de estos archivos, ACCESS permite un almacenamiento de hasta 2 Gigabytes. Ahora bien para cada BD generada se realiza un respaldo en disco duro para llevar un histórico de los ductos inspeccionados que posteriormente pueden ser adicionados a grandes sistemas de gestión y administración de información de PEMEX como @ditep ADITEP (Administración de Datos e Información Técnica de Exploración y Producción), en donde se correlaciona información asociada a los ductos.

### **3.5 Arquitectura de SITIEMS**

La arquitectura de SITIEMS permite organizar y planificar cada uno de los módulos y la relación entre ellos.

El sistema informático debe brindar para cada subsistema del esquema general las siguientes características:

- Un ahorro sustancial en el tiempo de operación en cada subsistema mostrado en la arquitectura general.
- Optimizar los recursos.
- Permitir disponer de la información de forma fiable y oportuna.

Como resultado de lo anterior se propone como solución la arquitectura general SITIEMS ver figura 3.19, se muestra como se estratifica del nivel de bloques a nivel de procesos.

En la figura 3.19 se presenta la arquitectura general del SITIEMS en un diagrama que contiene los bloques antes mencionados:

- Entrada / Salida de datos
- Procesamiento
- Almacenamiento
- GUI's para entradas, procesamiento y salidas.

El diseño de la arquitectura general de SITIEMS es soportado bajo la definición de un diseño lógico, considerando las características y especificaciones a cumplir se determinó que SITIEMS trabajará bajo el contexto de un sistema con programación orientada a eventos en la cual podemos realizar actividades por medio de botones que generan eventos y disparan procedimientos, también no es necesario seguir un orden predeterminado para realizar alguna operación, y es el control el que indicará la secuencia de ciertos eventos.

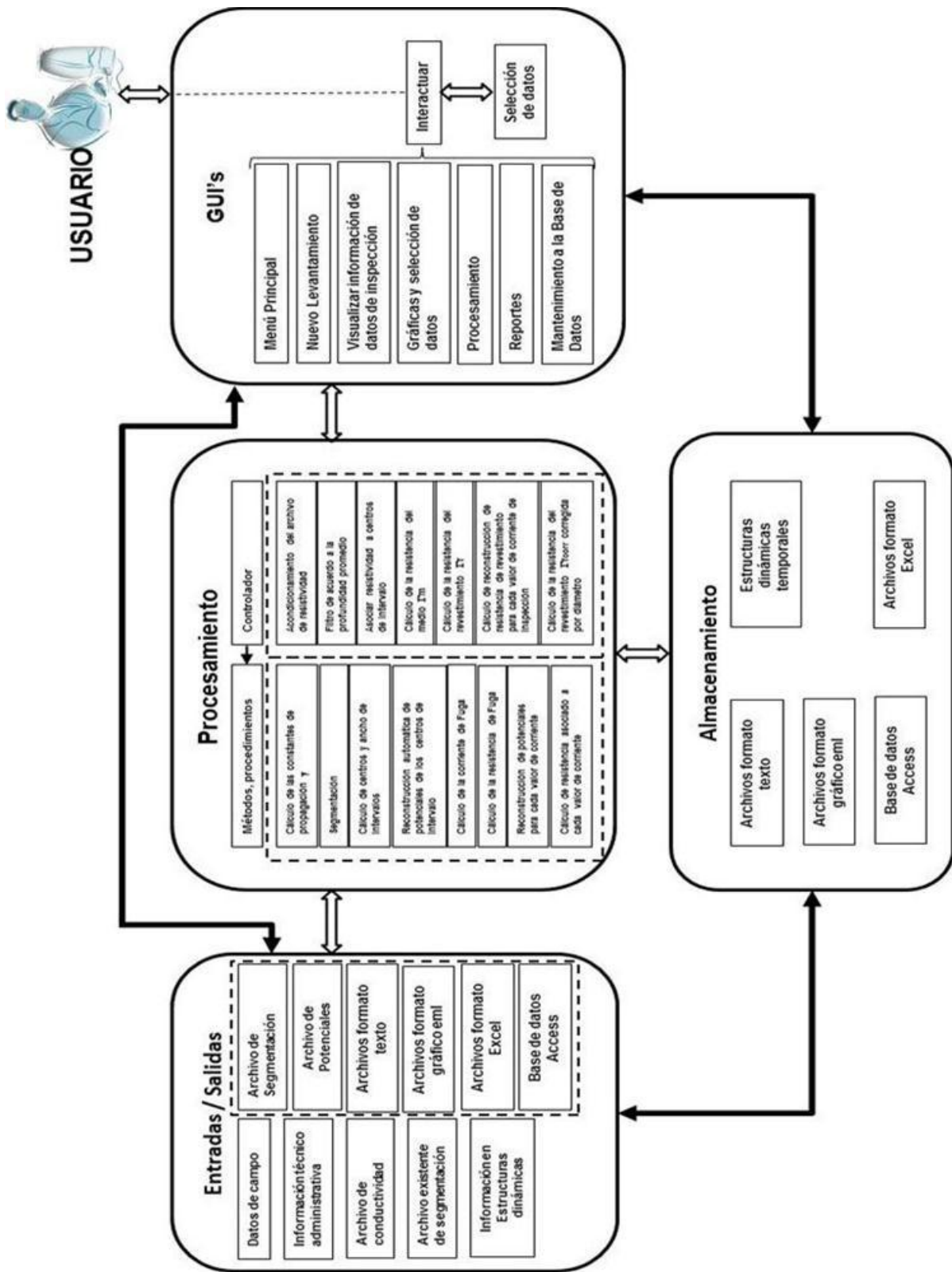


Figura 3.19 Arquitectura General de SITIEMS.

### 3.6 Funcionamiento general de SITIEMS

A partir de un DDF (diagrama de flujo) se puede describir en forma general el funcionamiento modular de SITIEMS ver figura 3.20.

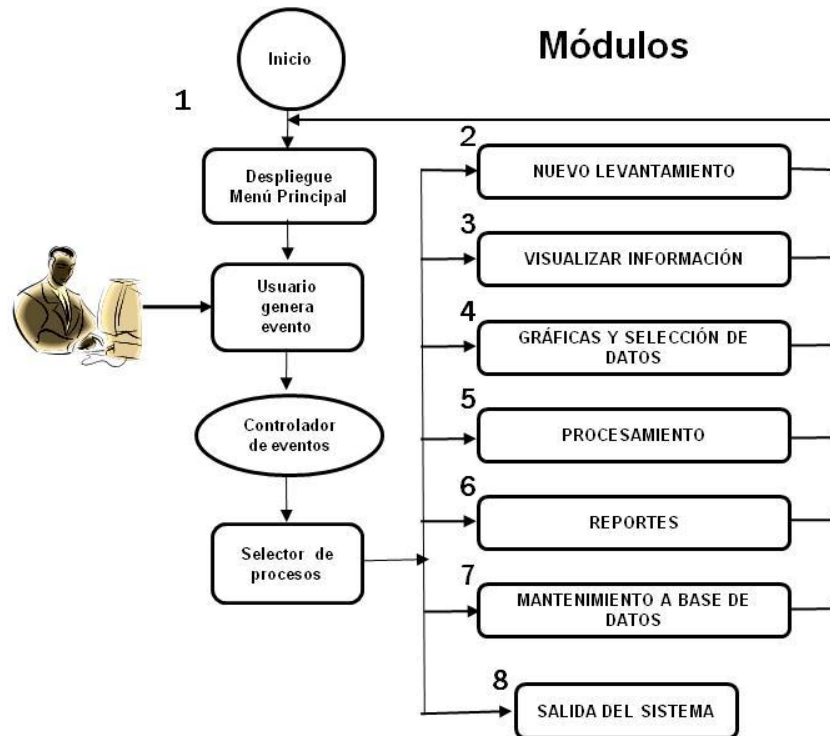


Figura 3.20. Diagrama general de flujo del funcionamiento modular del SITIEMS

Considerando la arquitectura general de SITIEMS y su diagrama de flujo se describe la forma general de su funcionamiento mediante lenguaje natural.

1) En un inicio se presentará al usuario una interfaz de **menú principal** en donde:

El usuario genera un evento (hacer clic en un control de botón), el controlador de eventos decodifica y seleccionará una de las diversas interfaces para interactuar con el programa.

2) Se accede al módulo de **nuevo levantamiento** cuando se crea una BD, para ello desde la GUI del módulo, el usuario nombra el archivo de BD y después el usuario ingresa al módulo de **visualización de datos** de entrada para poder ingresar la información desde la GUI correspondiente.

3) Si la BD ya existe (alojada en el módulo de almacenamiento) el usuario la selecciona de una lista y automáticamente se muestran los datos de: corrientes, potenciales y de encabezado en la GUI **visualización de datos de inspección**.

En esta interfaz, el usuario interactúa con los datos para crearlos y editarlos. En la información del encabezado se presentan campos que presentan listas de opciones (catálogos) que deben ser ingresados. Al terminar se actualiza la información de encabezado o se restablece la información que se tenía.

Cuando se ha terminado de introducir la información, el usuario regresa al menú principal, durante esta acción se actualiza la información de la BD de: la corriente, potenciales y el encabezado, un evento provoca que un proceso genere automáticamente el archivo de potenciales y se llenen los arreglos con la información de la corriente y potenciales.

4) El usuario accede al módulo **gráficas y selección de datos** que consta de tres Interfaces gráficas de usuario:

- Kilometraje DDV vs. Corriente
- Kilometraje DDV vs. Profundidad
- GPSX vs. GPSY

Se ejecutan procesos que muestran la información en forma gráfica y texto de los arreglos de corrientes y del archivo de potenciales. El usuario interactúa con los datos para realizar la segmentación (seleccionar datos directamente de la gráfica de corrientes) de la gráfica de Kilometraje DDV vs. Corriente, en esta interfaz el usuario puede mediante la acción de un control, generar el archivo en formato texto de la segmentación y cuyo nombre se produce automáticamente y se salva en un directorio específico y forma parte del módulo de almacenamiento.

Las gráficas: Kilometraje DDV vs. Profundidad y GPSX vs. GPSY permiten interacción con el usuario para visualizar el perfil topográfico y ubicación georeferenciada del ducto.

En las interfaces anteriores se puede imprimir o generar el archivo de la imagen de las gráficas mostradas.

5) Al regresar al menú principal la secuencia de ejecución indica acceder al módulo de **procesamiento**. En la interfaz de este módulo el usuario observa la información de:

- Cálculo de las constantes de propagación.
- Corriente de fuga.
- Potenciales reconstruidos para los centros de intervalo.
- Potenciales reconstruidos para cada valor de corriente.

La información anterior resulta de los cálculos y procesos automáticos aplicados a: el archivo de segmentación y potenciales. En esta interfaz se tiene un control para leer el archivo de conductividad y considerar el efecto del sistema ducto suelo y conformar la solución final de TIEMS en la etapa regional. Al activar dicho control,

se accede a la interfaz que se denomina G31, en donde el usuario selecciona el archivo de conductividad asociado al kilometraje inspeccionado, se realizan ajustes por diámetro y complementan los cálculos para obtener finalmente la resistencia del recubrimiento en cada punto de medición de corriente y una representación en esquema de semáforo de la resistencia del recubrimiento.

6) En el módulo referente a **reportes** mediante su GUI permite al usuario seleccionar el rango de kilometraje o definir el rango de distancia de interés, el usuario valida su selección accionando un control que ejecuta un proceso de consulta a la BD del módulo de almacenamiento para conformar y obtener un reporte con los datos de corriente medidos y la información asociada en el levantamiento así como la información resultante de los cálculos (potenciales y resistencia). El usuario observa la información en pantalla del reporte y si lo desea, puede enviarlo a impresión.

7) En el módulo de **mantenimiento a la base de datos**, la GUI del módulo permite al usuario acceder a los diferentes catálogos de información (técnico-administrativa y de entorno) que son utilizados para caracterizar el ducto, se accede a esta opción si se requiere incluir nueva información dentro de los catálogos o modificar la ya existente.

8) El menú principal contiene un control de botón que al ser accionado permite salir del sistema.

Ahora se traslada el diseño lógico a un esquema de programación que permita integrar todas las características y requerimientos de SITIEMS, para ello se debe de definir la plataforma de desarrollo del sistema.

### **3.7 Descripción de bloques operativos**

A manera de ejemplo se muestra en diagrama de flujo ver figura 3.21., descripción general del procesamiento de datos de inspección de TIEMS, este diagrama de flujo muestra la interacción entre bloques operativos, en este caso: Visualización, Gráficas y Selección de datos y el de Procesamiento, se indica como fluye la información de un bloque a otro y cómo se comunican a través de archivos y estructuras temporales de almacenamiento de datos.

1. El proceso inicia cuando los datos de campo son ingresados a la base datos por medio de la GUI Visualizar datos de inspección, si se requiere ingresar o editar los datos, el usuario lo realiza sobre las secciones de: corriente, potenciales y encabezado, de no requerirse, la BD se actualiza automáticamente cuando el usuario sale de la interfaz y se genera el archivo de potenciales.

2. Al ingresar a la interfaz de Gráficas y selección de datos para realizar la segmentación, se realiza el proceso de leer la BD y con esa información llenar estructuras de tipo arreglos para alojar las variables de cálculo y con estas mismas se realiza la gráfica de kilometraje DDV vs. corriente. El usuario interactúa con la gráfica y realiza el proceso de selección de datos y con un control de botón puede activar el proceso de generar el archivo de segmentación con los datos que seleccionó. Los datos seleccionados se alojan nuevamente en arreglos los cuales permiten gran flexibilidad de manejo.
3. La secuencia del procesamiento lleva a la interfaz de procesamiento, en donde los modelos de cálculo actúan sobre la información alojada en los arreglos, el resultado es mostrado en interfaces de usuario en forma tabular y texto. El usuario puede generar archivos de procesamiento intermedio.
4. Finalmente el usuario puede completar el procesamiento considerando el archivo de resistividad realizándose en forma automática los cálculos para finalmente entregar visualmente el resultado del procesamiento en un esquema de semáforo. Aquí el usuario puede generar los archivos correspondientes de resultados, los archivos resultantes se alojan en un esquema de subdirectorios específico para cada tipo de archivo. Y se termina el proceso de cálculo.

Con la conformación de la arquitectura general de SITIEMS se muestran cuatro módulos o bloques que operan conjuntamente para obtener el resultado final.

El bloque de entrada de datos contiene estructuras que contienen información de: entrada, procesamiento y salida, alojada en archivos de formato diverso. La información anterior puede ser mostrada en las GUI's o puede ser mostrada en formatos o informes para impresión. Las interfaces gráficas de usuario permiten a los usuarios introducir valores e interactuar con el sistema de bases de datos

Se hace uso de la herramienta de diagramas de flujo para poder describir a un nivel más profundo la descripción de los bloques operativos.

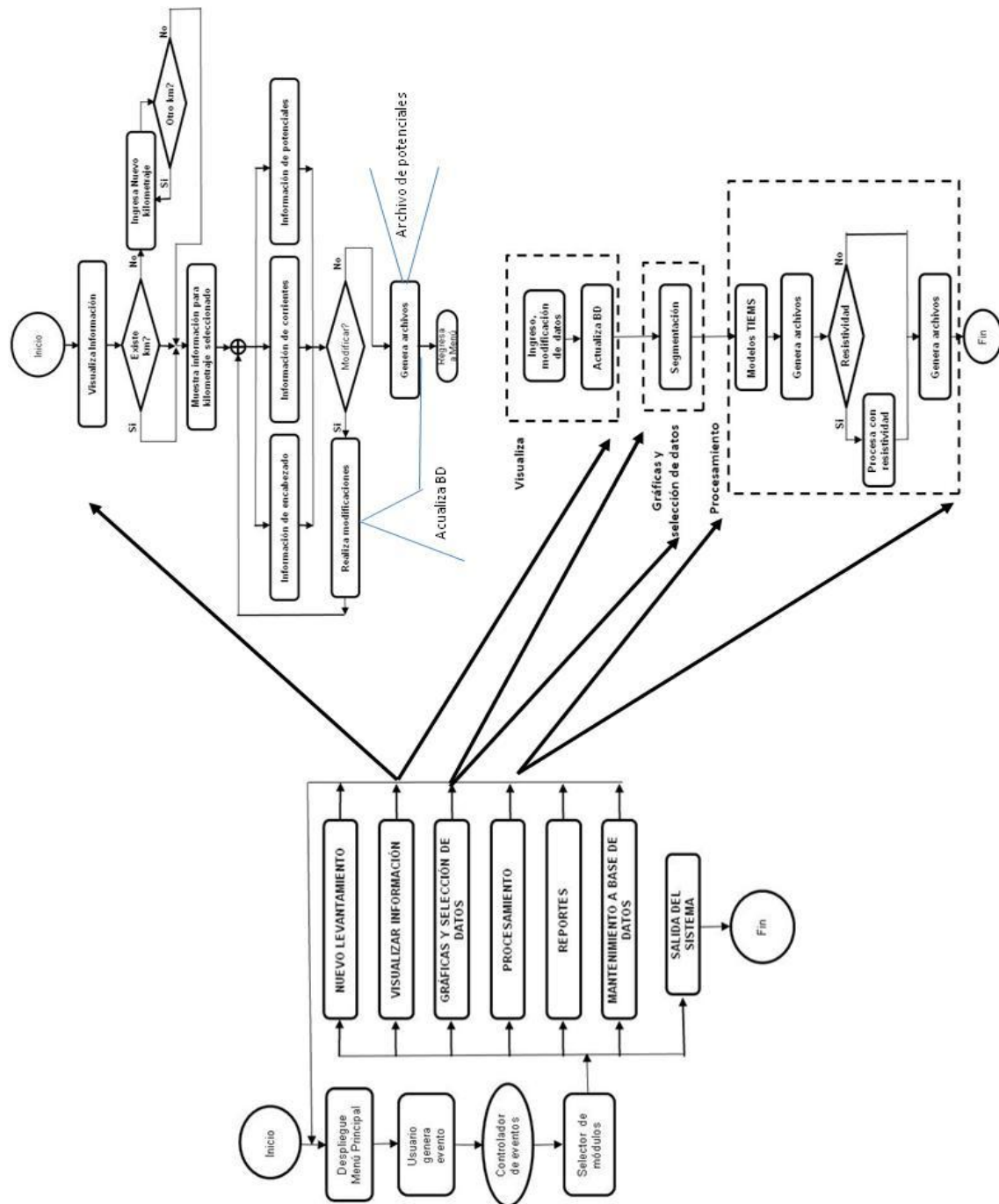


Figura 3.21. Diagrama de flujo de la descripción general del procesamiento de datos de inspección de TIEMS.

**El módulo de reportes** permite generar informes predefinidos sobre los contenidos actuales de la base de datos de acuerdo a las consultas predefinidas por el sistema y filtradas por el usuario. El usuario especialista examina estos informes para tomar decisiones.



Dentro de las diferentes GUI's el usuario puede analizar e interactuar con los datos, introducir y extraer datos en las tablas de la base de datos mediante sentencias del lenguaje de consultas SQL [27]. Las sentencias SQL se ligan a los botones de comando dentro de la GUI's, de modo que al hacer clic sobre dichos botones se ejecuta la sentencia de consulta, obteniéndose la información específica desde una o varias tablas de la BD.

### **3.8 Conclusiones del capítulo 3**

Fue determinante establecer una arquitectura modular para SITIEMS a partir de un modelo conceptual y de diversos esquemas de diseño como: MVC así como la metodología TOP-DOWN.

El uso de un enfoque sistémico permitió delimitar y definir una arquitectura modular para SITIEMS, en donde se estableció la forma de trabajar de cada subsistema o módulo así como sus interrelaciones.

El uso de la metodología de DFD (Diagrama de Flujo de Datos) para cada subsistema permitió identificar la información de manera más precisa y detallada para especificar las estructuras de datos y procedimientos.

El esquema modular del nuevo sistema SITIEMS permitió integrar en un solo entorno las funcionalidades de los diversos programas de software que se empleaban, ya que delimitó y ubicó la acción de cada software no integrado dentro de los bloques generales de entrada, proceso, almacenamiento y salida.

El establecimiento del modelo E/R y del diccionario de datos permitió identificar las estructuras y entidades para conformar la base de datos relacional, así como definir los tipos, tamaño y formato de los datos para cada entidad.

Cada módulo operativo de SITIEMS, maneja parcialmente la información y la integración e interrelación entre ellos permitió identificar los procesos y funciones para cada uno, así como la determinación de las diversas interfaces de entrada y salida, asociados a cada módulo y la forma en que ciertos procesos generan información para los archivos temporales o finales del procesamiento correspondiente.

## CAPÍTULO 4.

# Desarrollo de módulos constitutivos de SITIEMS

En este capítulo se realiza la etapa referente al desarrollo dentro del CVDS propuesto para SITIEMS ver figura 2.4., del capítulo 2. El objetivo de esta fase es establecer y exponer el orden de la construcción de los módulos, que fueron identificados y establecidos en la arquitectura general de SITIEMS durante la fase de diseño y como hacen para satisfacer los requerimientos del sistema.

A cada módulo funcional se le aplica el proceso de bloques funcionales entrada-proceso-salida.

Cada módulo se soporta en el análisis y diseño de acuerdo a su función y se delimita su alcance para posteriormente integrarse en un todo y actuar de acuerdo a las reglas establecidas, al flujo de información y orden de procesamiento.

Se gestiona que la presentación de la información en las GUI's sea la adecuada ya que es con la que el usuario interactúa.

Considerando la arquitectura general del SITIEMS ver figura 3.19 del capítulo 3., se presentaron cuatro bloques:

- Entrada / Salida de datos.
- Procesamiento.
- Almacenamiento.
- GUI's para entradas, procesamiento y salidas.

Ahora se da orden para el desarrollo de los módulos.

### 4.1 Módulos que conforman el SITIEMS

SITIEMS fue estructurado en siete módulos operativos, cada módulo está inmerso dentro de los cuatro bloques de la arquitectura general.

- Módulo del Menú Principal.
- Módulo de Nuevo Levantamiento.
- Módulo de Visualización.
- Módulo de Gráficas y Selección de Datos.
- Módulo de Procesamiento.
- Módulo de Generación de Reportes.
- Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos.

## 4.2 Módulo del Menú Principal

Presenta la interfaz de inicio Menú Principal con la que el usuario interactúa para acceder a los diferentes módulos de SITIEMS y realizar los diversos procesos para determinar el estado del recubrimiento del ducto. Está compuesto por botones de comando que dan acceso a los módulos o bloques operativos.

### 4.2.1 Estructura del Módulo del Menú Principal

Se conformó la estructura de la interfaz de menú principal, ver figura 4.1. El módulo de la interfaz del menú principal presenta botones de comando que permiten acceder a los diferentes módulos de SITIEMS, cada botón es sensible a los eventos generados por el usuario. Dependiendo de la secuencia de eventos algunos botones de la interfaz pueden no estar activos hasta que ciertas condiciones se cumplan. El módulo del menú principal representa la entrada a los demás módulos y la forma de navegar por todo el SITIEMS.

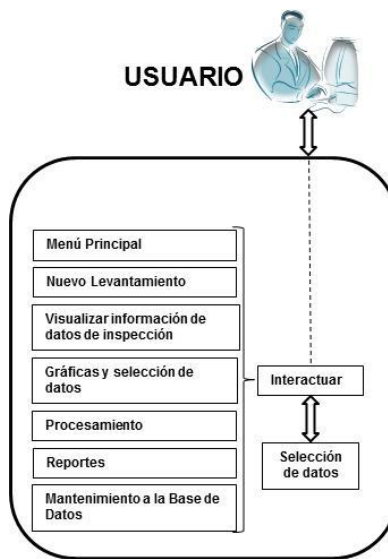


Figura 4.1 Estructura del módulo Menú Principal.

### 4.2.2 Descripción del Módulo Menú Principal

Una técnica que nos ayuda a clarificar el sentido de un servicio es expresarlo en lenguaje natural.

1. Como inicio se muestra la interfaz del menú principal.
2. Por ser un sistema orientado a eventos, éste responde a las acciones de usuario el cual genera un evento en un control para seleccionar el módulo.
3. El controlador de eventos verifica banderas de estado indicadoras de condiciones válidas para habilitar o no un botón de comando de acceso a algún

módulo o GUI de SITIEMS. Es claro que no podemos procesar sin tener información, por lo que el sistema indicará las condiciones que deben prevalecer para dar continuidad a algún proceso.

4. De acuerdo a lo anterior el selector de módulos accede al módulo seleccionado, presentando la interfaz característica de dicho.
5. La interfaz dispone de un botón de comando en la parte inferior de la interfaz para salir de la aplicación.

Se construyó un diagrama de flujo del menú principal, en él se muestra la secuencia de selección de cada módulo como resultado del evento generado por él usuario, ver figura 4.2.

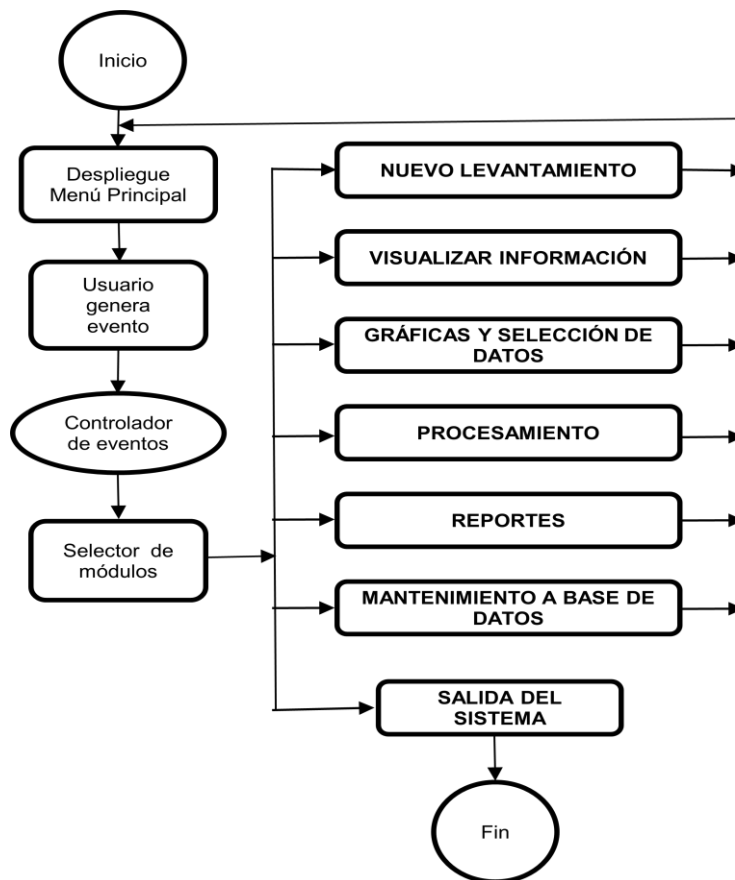


Figura 4.2. Diagrama de flujo del menú principal.

### 4.2.3. Desarrollo del Módulo del Menú Principal

Se construyó la siguiente interfaz gráfica de usuario, figura 4.3.

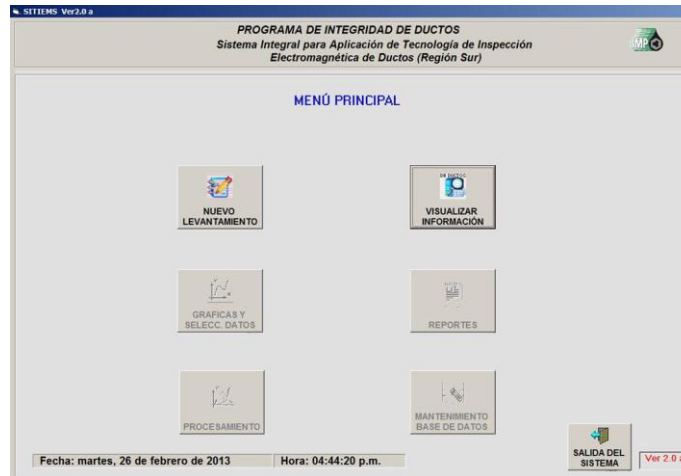


Figura 4.3. Interfaz del Menú Principal.

A continuación como ejemplo y solo para este caso se presenta parte del código desarrollado para el módulo del Menú Principal, ver figura 4.4., código con sintaxis similar fue desarrollado para los demás módulos en Visual Basic 6, [40].

```

' Formulario de Opciones frm_Opciones
Private Sub CmdCaptura_Click() ' Modulo de Nuevo levantamiento
    Load FrmCaptura
    FrmCaptura.Show
    FrmCaptura.Refresh
End Sub

Private Sub CmdMttoBD_Click() 'Modulo de Mantenimiento
    Load FrmCatalogos
    FrmCatalogos.Show
    FrmCatalogos.Refresh
End Sub

Private Sub CmdGraficas_Click() 'Modulo de Selección de datos y gráficas
    Load FrmGraficas
    FrmGraficas.Show
    FrmGraficas.Refresh
End Sub

Private Sub CmdProcesa_Click() ' Modulo de Procesamiento
    Load FrmProcesa
    FrmProcesa.Show
    FrmProcesa.Refresh
End Sub

Private Sub CmdReportes_Click() 'Modulo de Reportes
    Load frmReportes
    frmReportes.Show
    frmReportes.Refresh
End Sub
Private Sub CmdSalida_Click() ' Salida de SITIEMS
    End
End Sub

```

```

Private Sub CmdVisualiza_Click() ' Modulo de Visualización de datos
    Load frmVisualiza
    frmVisualiza.Show
    frmVisualiza.Refresh
End Sub

Private Sub Form_Load() ' Inicialización de controles
    CargaPrograma = False
    CmdGraficas.Enabled = False
    CmdReportes.Enabled = False
    CmdMttoBD.Enabled = False
    CmdProcesa.Enabled = False
    Me.Refresh
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    DoEvents
    StatusBar1.Panels(1).text = " Fecha: " & Format(Date, "Long Date")
    StatusBar1.Panels(2).text = " Hora: " & Time
End Sub

```

Figura 4.4. Código de la interfaz de usuario para el Menú Principal.

### 4.3. Módulo de Nuevo Levantamiento

Permite crear una nueva base de datos en donde se alojan todos los datos asociados al ducto, a la inspección, al entorno y equipo.

#### 4.3.1 Estructura del Módulo de Nuevo Levantamiento

Contiene los elementos necesarios (métodos, procesos), para la replicación de la estructura de la BD con información mínima necesaria, figura 4.5.

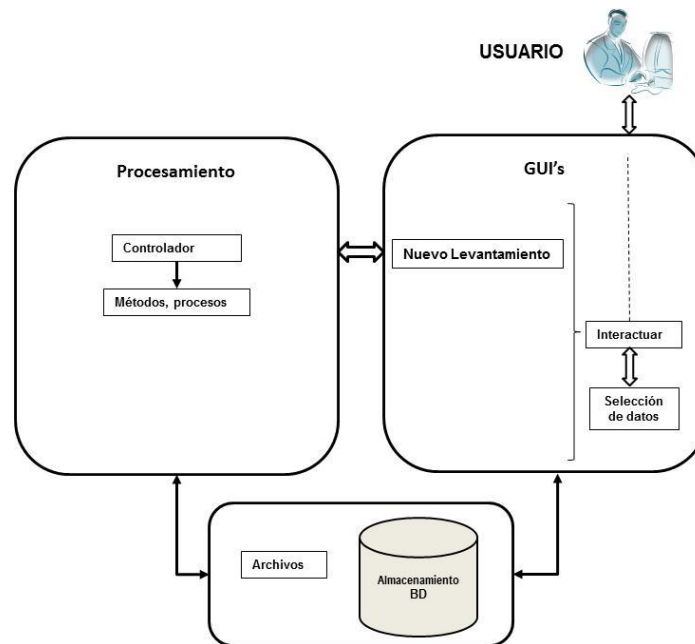


Figura 4.5. Estructura del módulo de Nuevo Levantamiento.

### 4.3.2 Descripción del Módulo de Nuevo Levantamiento

Una técnica que nos ayuda a clarificar el sentido de un servicio es expresarlo en lenguaje natural.

El usuario interactúa con SITIEMS para solicitar la generación de una nueva base de datos para ingresar datos de inspección; si la base de datos ya existe se le indica al usuario de otro modo si el nombre que ingresa para la base de datos es válido se crea una nueva base de datos.

Lo anterior expresado en pseudocódigo:

1. Desde la GUI del menú principal el usuario. selecciona realizar un nuevo levantamiento.
2. El usuario accede a la GUI nuevo levantamiento.
3. Ingresa el nombre de una nueva base de datos.
4. Un proceso verifica la validez del nombre.
5. Si el nombre es válido continúa en el punto 7.
6. Si el nombre no es válido regresa al punto 3.
7. Un proceso verifica si una base con ese nombre ya existe.
8. Si existe, lo indica al usuario y regresa al punto 3
9. Si no existe la crea.
10. El usuario sale de la GUI nuevo levantamiento.
11. El control lo ubica en el menú principal.

### 4.3.3 Desarrollo del Módulo de Nuevo Levantamiento

Se construyó la siguiente interfaz de usuario de acuerdo a los requerimientos descritos anteriormente, figura 4.6.

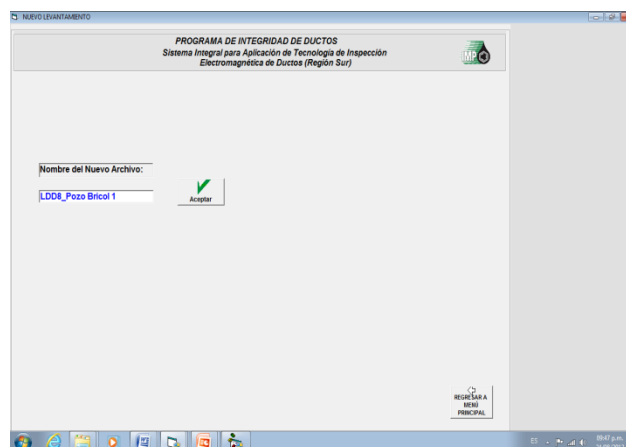


Figura 4.6. GUI para Módulo de Nuevo Levantamiento.



#### 4.4 Módulo de Visualización

Este módulo presenta la interfaz en donde el usuario puede interactuar para crear y modificar información de los datos de inspección de campo y aquella asociada al ducto, la información está organizada en secciones de acuerdo a su contexto.

##### 4.4.1 Estructura del Módulo de Visualización

Se muestra la arquitectura del módulo, ver figura 4.7.

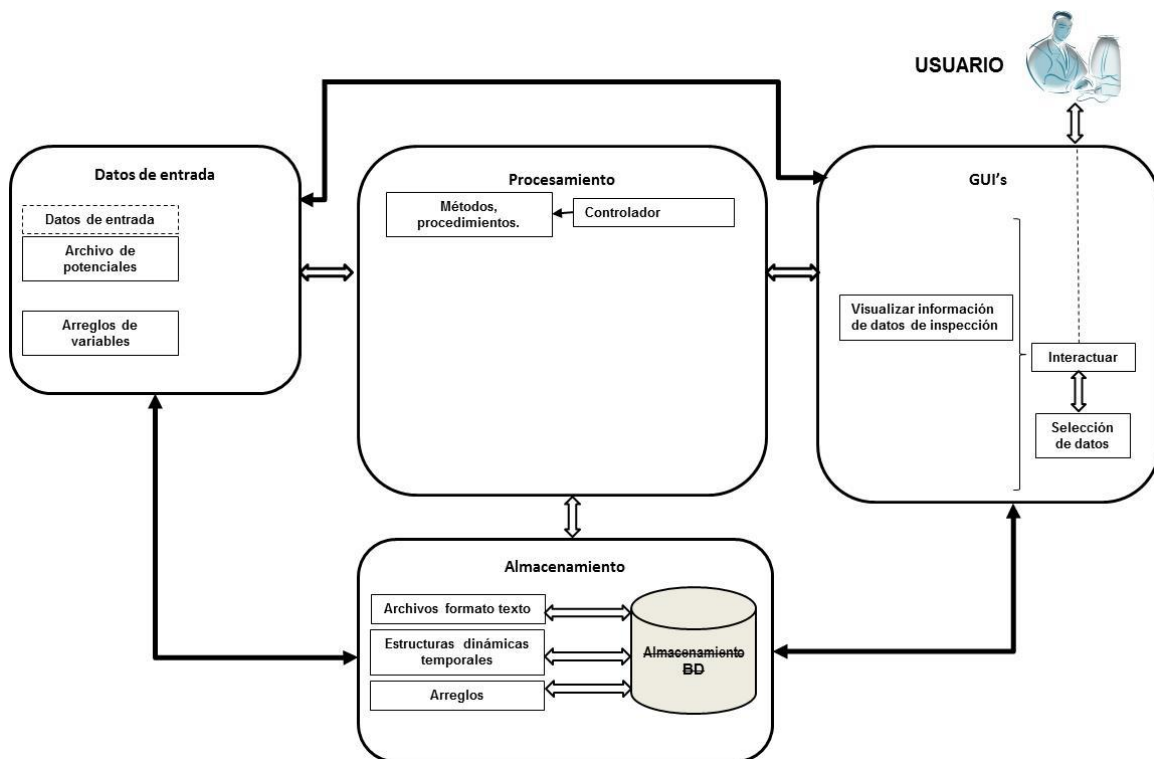


Figura. 4.7. Estructura del Módulo de Visualización.

##### 4.4.2 Descripción del Módulo de Visualización.

El módulo de visualización se accede cuando requerimos mostrar o editar información en la base de datos para ser procesada. Solo se accede a este módulo si ya existe una base de datos vacía o con información. La GUI asociada presenta un control de cuadro combinado para mostrar una lista de rangos de kilometraje para seleccionar el requerido y de acuerdo a este kilometraje se presenta la información asociada en tres secciones: encabezado, corrientes y potenciales.

Adicionalmente se tiene una sección de control de aceptación o cancelación de modificaciones para el encabezado y un botón de comando de salida. Esta interfaz

contiene diversos controles: cuadrículas, cajas de texto, botones de comando y de lista. Si la base de datos contiene información, ésta se lee y se presenta en las secciones correspondientes, en el caso de que la BD esté vacía; para el caso del encabezado se presenta información preliminar genérica para ahorrar tiempo de ingreso al usuario y solo modificará la necesaria.

Si la BD contiene información ésta se lee y se aloja en estructuras de información y desde dichas estructuras se transfiere para ser presentada en las diferentes secciones y controles de las interfaces:

**Sección de Encabezado.** Se muestra información técnico-administrativa asociada al ducto y de acuerdo al kilometraje seleccionado, el resumen de los datos presentados se muestra en la tabla de parámetros técnico administrativos figura 4.8., tabla (**Encabeza\_JU**) y detallada en el diccionario de datos

**Sección de corrientes.** Se muestra información en un control de cuadrícula la información de mediciones de corriente y de acuerdo al kilometraje seleccionado para cada punto inspeccionado, para editarla y complementando con información de sus respectivas coordenadas formato UTM, distancia y profundidad. Esta información se encuentra en la tabla de Corrientes figura 4.8., tabla (**J\_Corrientes**)

**Sección de potenciales.** Se muestra información en un control de cuadrícula la información de mediciones de potenciales y de acuerdo al kilometraje seleccionado para cada punto inspeccionado para editarla y complementando con información: puntos de conexión del generador, de sus respectivas coordenadas formato UTM, KmDDV, referencias, observaciones y profundidad. Esta información se considera en la Tabla de Potenciales figura 4.8., tabla (**U\_Potencial**)

Para cada cambio o ingreso de nueva información la BD se actualiza automáticamente, cuando la información ha sido completada para las tres secciones, el usuario sale de este módulo al menú principal.

La salida de este módulo dispara los siguientes eventos que producen:

- Un procedimiento extrae de la BD la información necesaria y la almacena en estructuras temporales como arreglos para ser graficada posteriormente en el módulo gráficas.
- Un procedimiento genera como salida un archivo en modo texto de las mediciones de potenciales, este archivo será información de entrada para el módulo de procesamiento de información.

#### 4.4.3 Desarrollo del módulo de Visualización

Se construyó la siguiente interfaz de usuario, figura 4.8., la interfaz es de fácil operación y valida la información de entrada, mediante restricciones de campo y mediante la información precargada en catálogos.

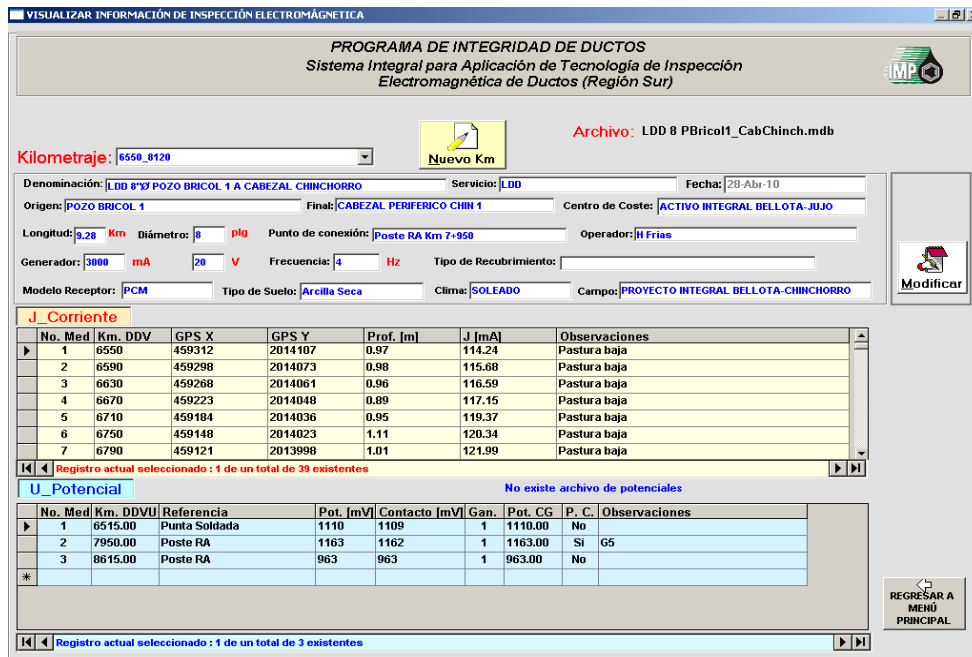


Figura 4.8. GUI para Módulo de Visualización.

Como ayuda para la concepción del módulo y su codificación, se construyó un diagrama de flujo ver figura 4.9.

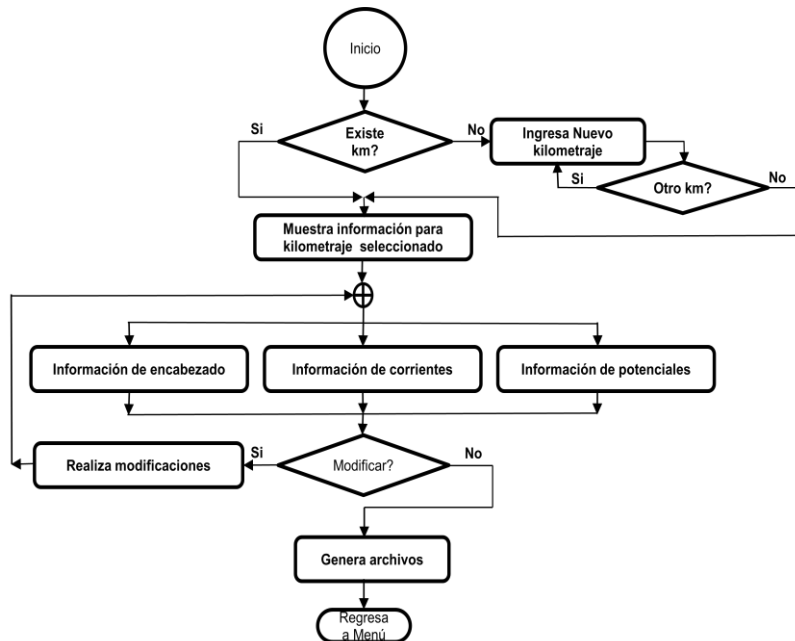


Figura 4.9. Diagrama de Flujo para el módulo de Visualización.

### 4.5 Módulo de Gráficas y Selección de Datos

En este módulo figura 4.10., el usuario interactúa con gráficas para seleccionar datos referentes a los procesos de cálculo de los modelos. La presentación gráfica de datos asociados a las variables que se utilizan en el procesamiento e interpretación es una herramienta de ayuda, para el usuario al identificar de manera visual el comportamiento de los datos asociados a una inspección o levantamiento específico.

#### 4.5.1 Estructura del Módulo de Gráficas y Selección de Datos.

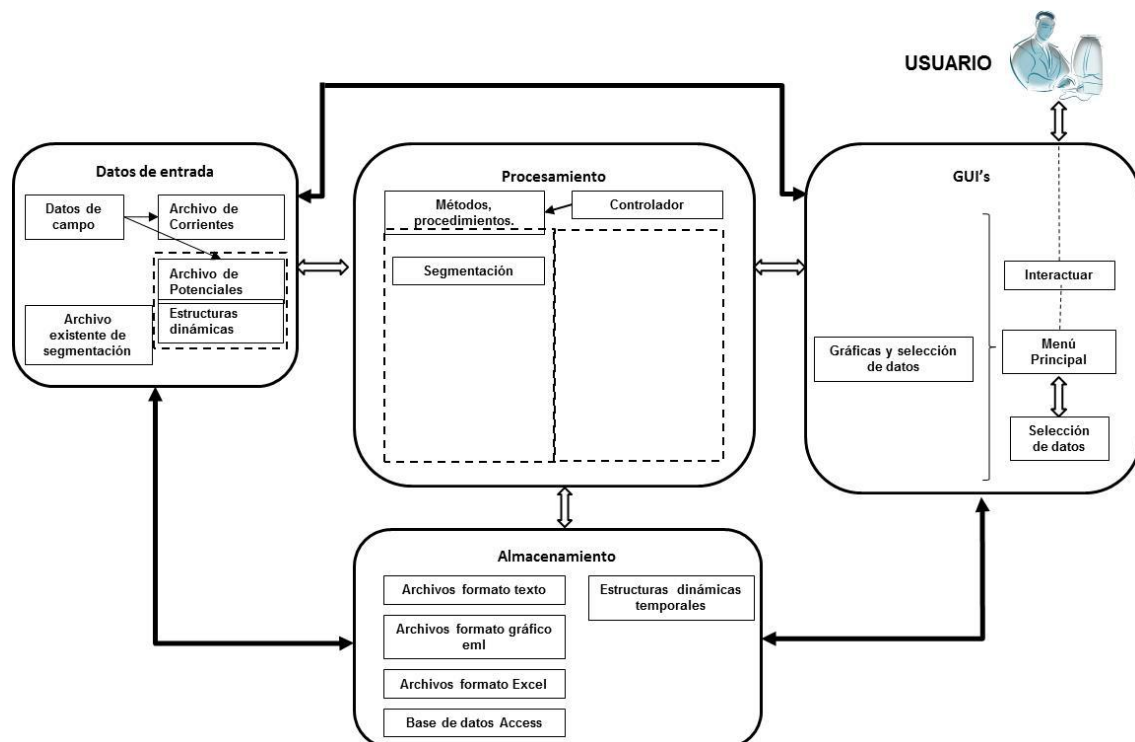


Figura 4.10 Estructura del Módulo de Gráficas y Selección de Datos.

#### 4.5.2 Descripción del Módulo de Gráficas y Selección de Datos

El usuario activando el botón correspondiente desde el menú principal selecciona esta opción y el control lo transfiere a módulo de gráficas y selección de datos.

Se accede solamente a esta opción cuando previamente en la interfaz de Visualización de información se ha ingresado la información necesaria asociada a las mediciones de corrientes, potenciales y encabezado para continuar con el procesamiento. Este módulo toma como entrada los datos de corriente y el archivo

generado automáticamente en modo texto de los potenciales de medición al salir del modo de visualización.

Al acceder a la interface Gráficas y selección de datos, se presentan tres opciones de gráficos:

- Kilómetro DDV vs. Corriente
- Kilometraje DDV vs. Profundidad
- GPSX vs. GPSY

En la GUI Kilómetro DDV vs. Corriente el usuario puede seleccionar los valores de interés de la corriente, realizando el proceso de segmentación en donde el usuario selecciona el conjunto de datos de corriente en donde se atribuye que conforman un segmento homogéneo del ducto, y que por su comportamiento (condición necesaria) y basado en su experiencia y criterio le permite suponer que existen problemas en el revestimiento. Si los datos son de su entera satisfacción, los datos de corriente desde la gráfica son registrados para ser usados en el proceso de cálculo sin perder ningún atributo. Se genera el archivo de segmentación en formato texto. Se tienen en la GUI secciones para:

- Mostrar valores de corriente y la distancia correspondiente.
- Controles de modo de operación de los controles de interacción sobre la gráfica.
- Generación de archivo modo texto para la segmentación.
- Generación del archivo gráfico de la imagen mostrada.
- Sección de gestión de aceptación de los puntos seleccionados sobre la gráfica.

La disposición de los controles para las gráficas Kilometraje DDV vs. Profundidad y GPSX vs. GPSY son similares.

La gráfica Kilometraje DDV vs. Profundidad, muestra el perfil topográfico del ducto con respecto a la distancia.

La gráfica GPSX vs. GPSY muestra la ubicación de la trayectoria del ducto en coordenadas UTM.

#### **4.5.3 Desarrollo del Módulo de Gráficas y Selección de Datos**

Para este módulo se construyeron las siguientes interfaces:

Para la gráfica Kilómetro DDV vs. Corriente, ver figura 4.11. La interface incluye una sección de modo de operación con la gráfica, para poder realizar la selección de datos interactuando con la gráfica.

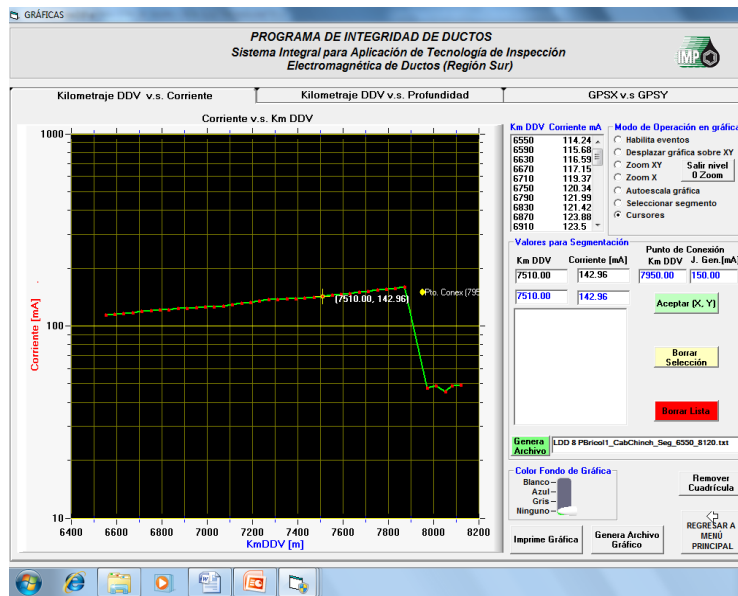


Figura 4.11. GUI para Kilómetro DDV vs. Corriente.

Para la gráfica Kilómetro DDV vs. Profundidad, ver figuras 4.12., esta gráfica muestra la profundidad a la que el ducto está enterrado.

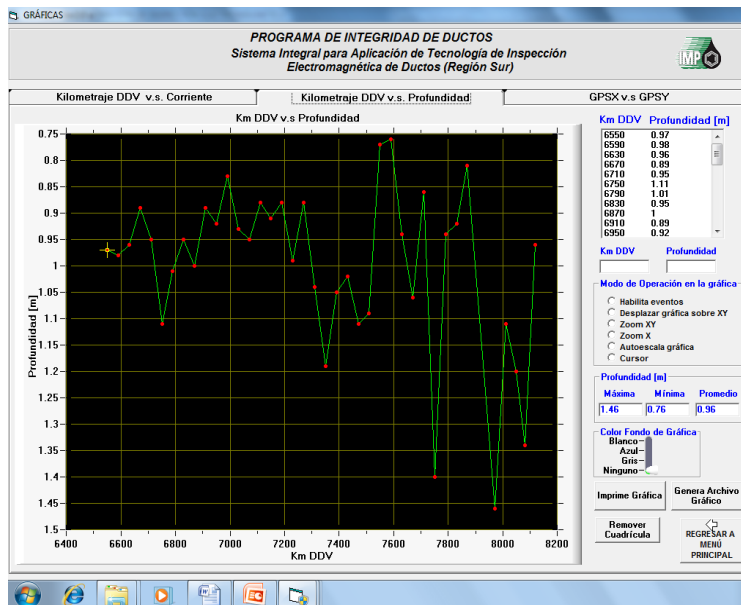


Figura 4.12. GUI de Kilómetro DDV vs. Profundidad.

Para la gráfica GPSX vs. GPSY muestra la ubicación georeferenciada del ducto..

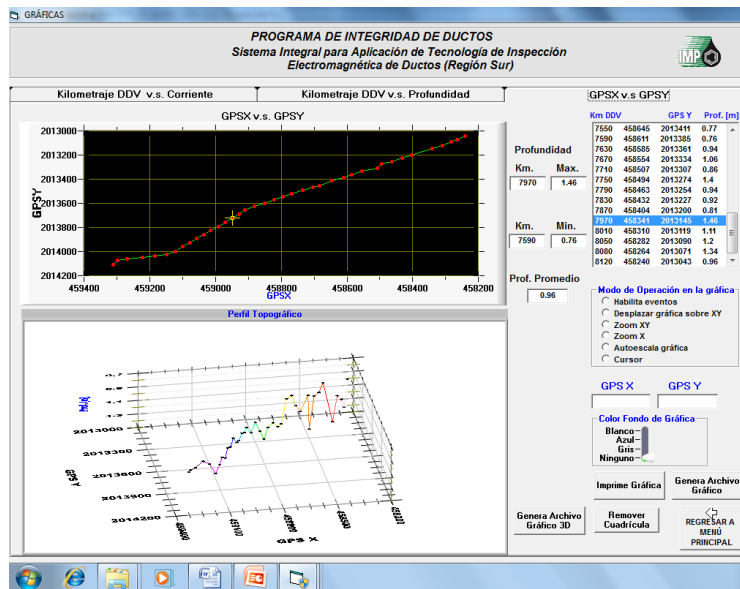


Figura 4.13. GUI para GPSX vs. GPSY.

## 4.6 Módulo de Procesamiento

Este módulo presenta la interfaz en donde el usuario obtiene los resultados del procesamiento, las interfaces muestran la información de los procesos de cálculo intermedios y finales. El resultado inmediato de los cálculos utilizando los modelos TIEMS confirma o no al usuario especialista su consideración acerca de los datos que selecciono. La condición necesaria en los datos atribuida por el especialista y la confirmación por medio de los modelos de cálculo, en conjunto son condiciones suficientes para determinar que ese tramo del ducto es motivo de inspección con la etapa local (alta resolución) de TIEMS.

### 4.6.1 Estructura del Módulo de Procesamiento

El procesamiento se realiza de forma automática aplicando los modelos de cálculo sobre los datos que ha acondicionado el usuario especialista vía los archivos de segmentación y de potencial, ver figura 4.14. La estructura muestra los procesos de cálculo, así como la interrelación que guarda con las la información de entrada y salida que son mostradas en las GUIs correspondientes.

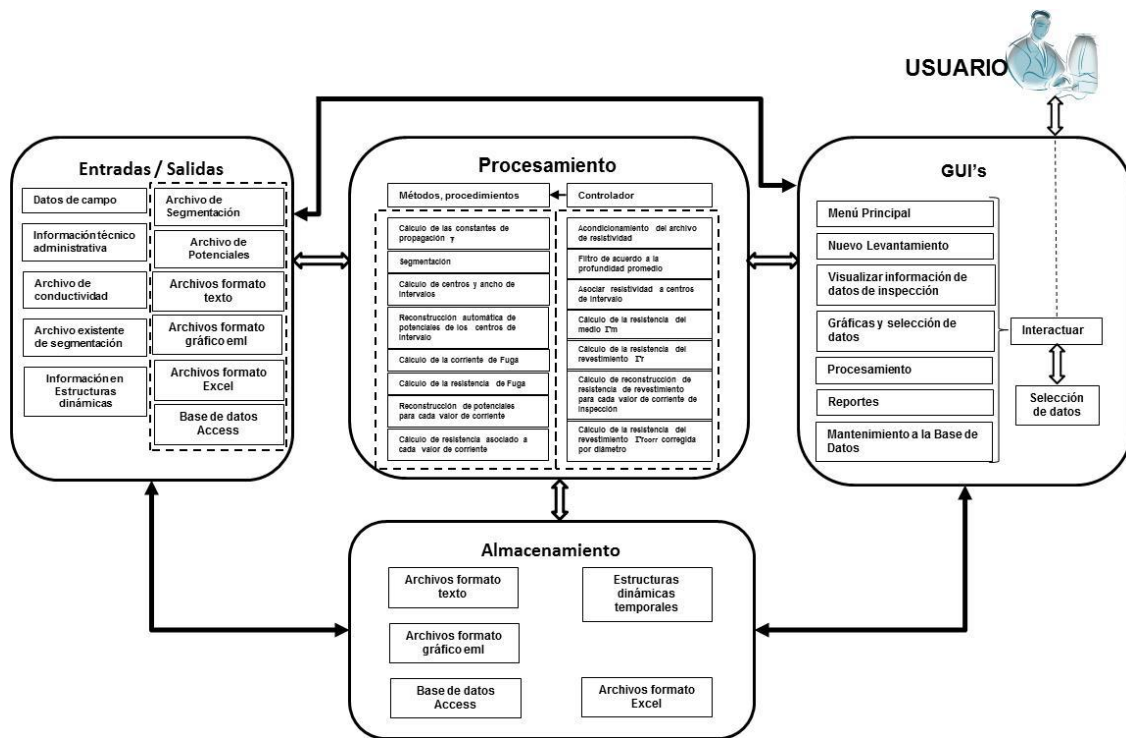


Figura 4.14. Estructura del módulo de procesamiento.

#### 4.6.2 Descripción del Módulo de Procesamiento

El usuario activando el botón correspondiente desde el menú principal selecciona esta opción y el control lo transfiere al módulo de procesamiento.

Se accede a esta opción cuando previamente en la interfaz de Gráficas y selección de datos el usuario realizó la segmentación y generó el archivo correspondiente.

A los datos del archivo de potenciales se les aplica un proceso para calcular las gammas (constantes de propagación), también se lee el archivo de segmentación y realiza un tratamiento sobre los datos: se calcula el centro y ancho de intervalo de los segmentos. Se realiza además el cálculo de la corriente y resistencia de fuga, y posteriormente se calcula el potencial de los centros de intervalo y la reconstrucción de potenciales para cada valor de corriente.

Continuando con el procesamiento, mediante el accionar de un botón de comando denominado G31 en la interfaz de procesamiento, se transfiere el control del programa a una segunda GUI denominada G31, en esta interfaz el usuario:



- Selecciona el archivo de conductividad al cual se procesa para obtener la resistividad del suelo inspeccionado.
- Se realiza el proceso de filtrado de la resistividad respecto al valor promedio de profundidad del ducto.
- Se asocia una resistividad a los centros de intervalo de tal forma que la longitud de ese segmento puede considerarse con la misma resistividad.
- Se realiza el cálculo de resistencia del medio y del recubrimiento.
- Se realiza el cálculo de reconstrucción de resistencia de recubrimiento para cada valor de corriente de inspección.
- Se realiza el cálculo de la resistencia del recubrimiento corregida ( $\Gamma_r$ ) por diámetro.
- Y finalmente de acuerdo a una escala de valores (resistividad de suelo y agresividad de corrosión) de resistividad, se ubica el valor dentro del esquema de semáforo. Se genera y almacena automáticamente en un subdirectorio predeterminado un archivo en Excel de los resultados. También se genera y almacena un archivo de los potenciales reconstruidos para cada medición de corriente.

#### 4.6.3. Desarrollo del Módulo de Procesamiento

Para este módulo se construyeron las siguientes interfaces; procesamiento y G31 ver figura 4.15a, y 4.15b.

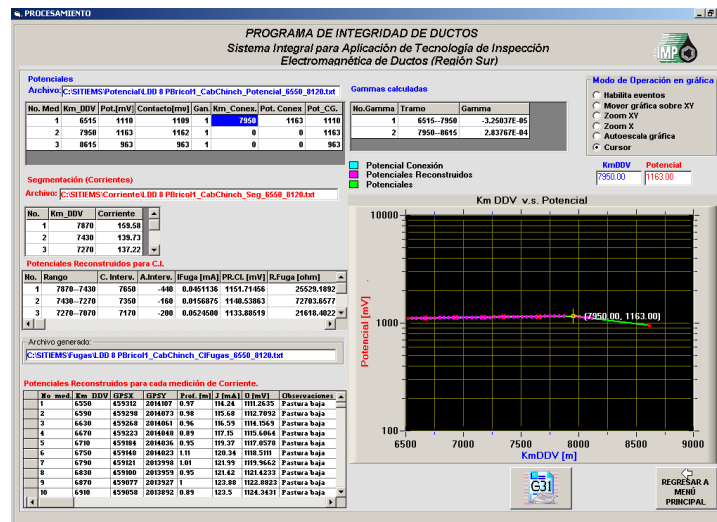


Figura 4.15a. GUI de procesamiento.

Se muestra al usuario diferentes controles que contienen resultados de cálculo de los modelos matemáticos, ver figura 4.15a.

#### 4

### Desarrollo de módulos constitutivos de SITIEMS

Se le presentan secciones con controles de contención de información tipo cuadrícula y gráfico:

- Datos del archivo de potenciales.
- Cálculo de las gammas (Constantes de propagación).
- Datos del archivo de segmentación.
- Reconstrucción de potenciales de los centros de intervalo.
- Reconstrucción de potenciales para cada valor en corriente.

En esta interfaz (figura 4.15a) se muestra el botón de comando con el título G31 para transferir al usuario a otra parte de procesamiento dentro de la interfaz denominada G31.

En esta interfaz (G31) ver figura 4.15b., se lee el archivo de resistividad asociada a la inspección del ducto. El archivo G31 permite tomar en cuenta los efectos de la resistividad del suelo, para finalmente obtener los resultados bajo el esquema de semáforo cuyos colores son aplicados en los datos resultantes.

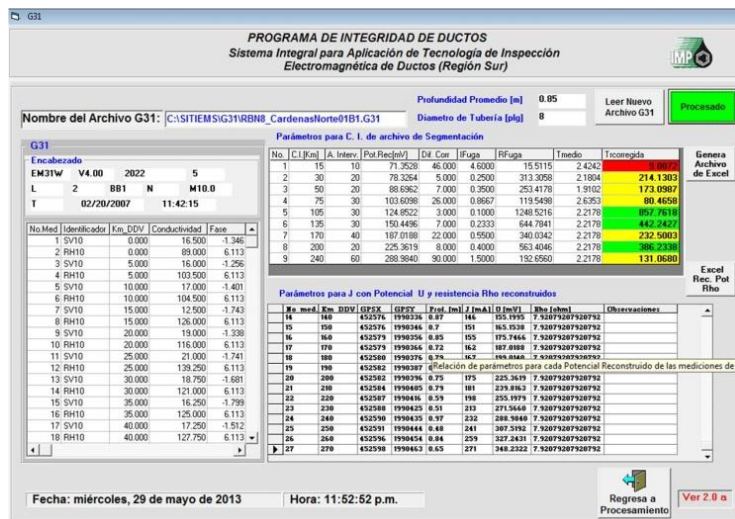


Figura 4.15b. GUI G31.

Se tienen secciones para observar el archivo de conductividad (G31) y sobre este archivo se realiza un adecuación y conversión para obtener un archivo de resistividades las cuales se asocian a los valores de distancia más cercanos y de acuerdo a la profundidad del ducto, posteriormente calcular la reconstrucción de potenciales. En esta interfaz existe un botón de comando para generar el archivo Excel con esquema de semáforo. El archivo Excel generado ver figura 4.16., es el reporte principal de la tecnología TIEMS es su etapa regional.

No.	C.I. [Km]	A. Interv.	Pot. Rec [mV]	Dif. Corr	IFuga	RFuga	Tmedio	Trcorregida
1	15	10	71.3528	46	4.6	15.5115	2.4242	9.0072
2	30	20	78.3264	5	0.25	313.3058	2.1804	214.1303
3	50	20	88.6962	7	0.35	253.4178	1.9102	173.0987
4	75	30	103.6098	26	0.8667	119.5498	2.6353	80.4658
5	105	30	124.8522	3	0.1	1248.5216	2.2178	857.7638
6	135	30	150.4496	7	0.2333	644.7841	2.2178	442.2427
7	170	40	187.0188	22	0.55	340.0342	2.2178	232.5003
8	200	20	225.3619	8	0.4	563.4046	2.2178	386.2338
9	240	60	288.984	90	1.5	192.656	2.2178	131.068

Figura 4.16. Archivo con Esquema de Semáforo.

Mediante este reporte se indican los estados del recubrimiento de los ductos y es a partir de este reporte que se toman decisiones determinantes, en primer lugar realizar mediciones de detalle con la etapa local de TIEMS.

A partir de los resultados de la etapa local se indica la posición exacta en donde está la falla en el recubrimiento, esto se verifica realizando la excavación en el lugar indicado. De este modo se provee al responsable de la administración del ducto la información necesaria y oportuna para la toma de decisiones acerca del plan de mantenimiento que aplique de acuerdo a la severidad de la falla.

#### 4.7 Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos

Este módulo figura 4.17, permite al usuario especialista realizar las actividades asociadas al mantenimiento para tener la información actualizada, cierta y oportuna para ser considerada en las diferentes partes del sistema. Está orientado a mantener los catálogos actualizados para facilitar la entrada de datos en la sección de encabezado de la interfaz de visualización.

#### 4.7.1 Estructura del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos

La estructura muestra los elementos que interaccionan para mantener actualizada la base de datos para los catálogos.

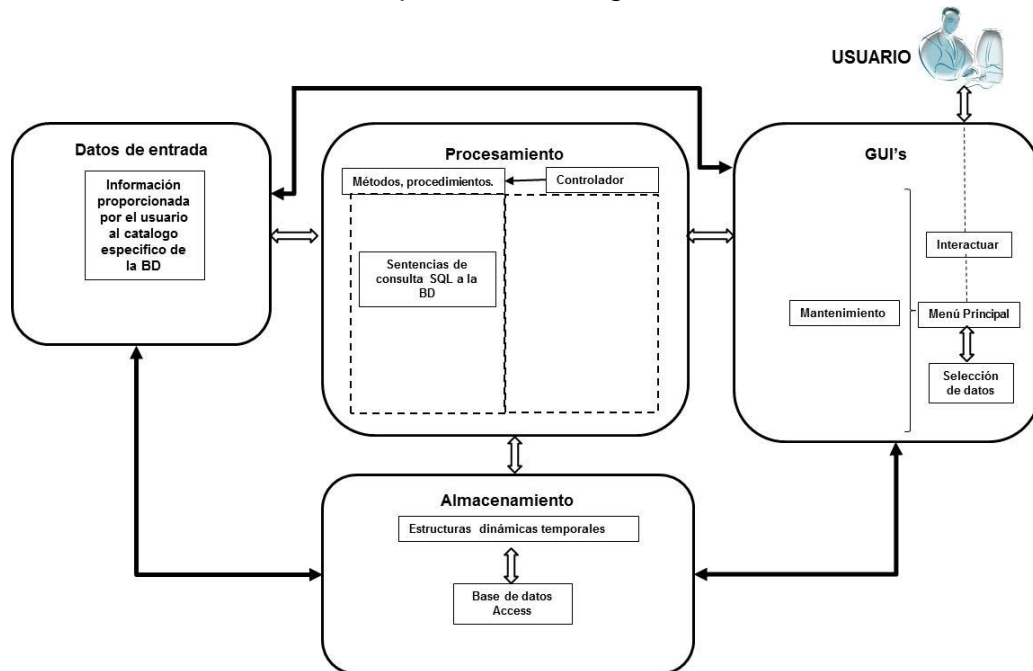


Figura 4.17. Estructura del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos.

#### 4.7.2 Descripción del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos

El usuario activando el botón correspondiente desde el menú principal selecciona esta opción y el control lo transfiere al módulo de mantenimiento.

Se accede a esta opción cuando se quiere incorporar o actualizar información de los catálogos como resultado de falta de información en los mismos para rellenar la sección de encabezado.

Desde la GUI del módulo, el usuario selecciona el catálogo a actualizar, el catálogo seleccionado es buscado en la BD vía una sentencia de consulta SQL, al encontrarse el catálogo la información del mismo se muestra en un control de cuadrícula, en ese momento el usuario puede introducir, borrar y editar la información como mejor convenga. Al salir, la información se actualiza y estará disponible para su uso.

#### 4.7.3 Desarrollo del Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos

Para este módulo se construyó la siguiente interfaz, ver figura 4.18.

Se accede a los diferentes catálogos para editar información, complementándola de acuerdo a las necesidades.

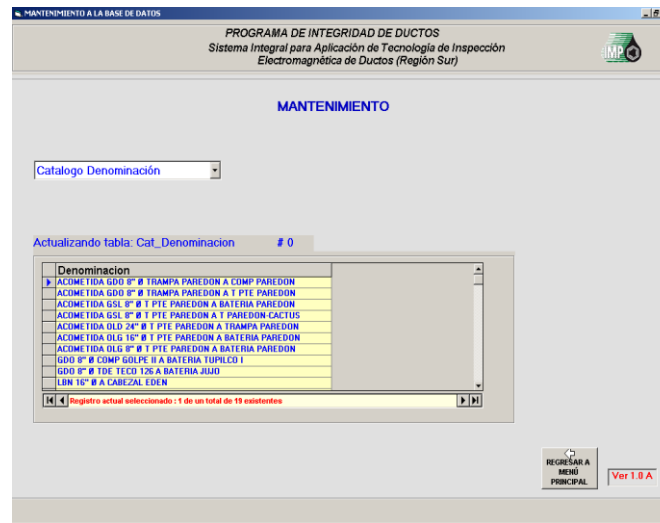


Figura 4.18. GUI de Mantenimiento a la Base de Datos.

El usuario selecciona el catálogo de interés e introduce la información, actualizada, de este modo se dispone de información confiable, actualizada y consistente que el usuario utilizará desde la GUI de visualización para modificar los datos de sección de encabezado, esta forma de seleccionar y utilizar la información disminuye las fuentes de error provocadas por el usuario. Además se crea una forma de trabajo en la que todos los usuarios manejan la misma nomenclatura para los diferentes ítems de los ductos trabajados.

### 4.8 Módulo Reportes

Este módulo figura 4.19 permite al usuario ingresar a la interface de generación y emisión de reportes. Los reportes contienen en un formato preestablecido la información resultante del procesamiento.

#### 4.8.1 Estructura del Módulo de Reportes

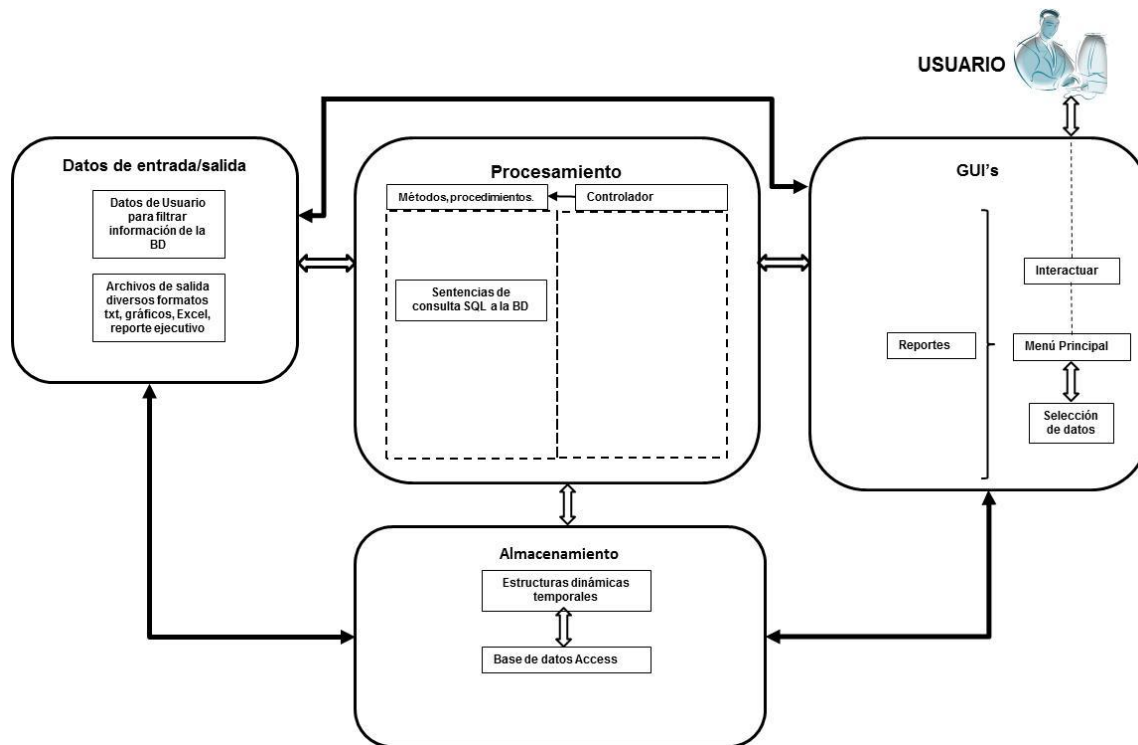


Figura 4.19 Estructura del Módulo de Reportes.

#### 4.8.2 Descripción del Módulo de Reportes

El usuario activando el botón correspondiente desde el menú principal selecciona esta opción y el control lo transfiere al módulo de reportes.

Se accede a esta opción cuando se ha realizado la fase de procesamiento y se presenta al usuario una interfaz para poder seleccionar el tipo de variable (corriente o potenciales) para generar el reporte. Se presentan las siguientes opciones al usuario:

- Selección de Rango de kilometraje.  
El usuario selecciona el rango de kilometraje de interés.
- Definir kilometraje.

El usuario puede definir los límites en distancia que abarque el reporte, si los valores no corresponden exactamente a los rangos de inspección y están dentro de las distancias inspeccionadas, el sistema consulta a la base de datos (sentencias SQL) para entregar resultados que cumplan con la condición [27].

- Impresión General  
El usuario elige tener el reporte de todos los rangos de kilometraje seleccionado.

Los datos de usuario anteriores son los argumentos para formar las sentencias de consulta a la base de datos basadas en el lenguaje SQL. El resultado de la consulta se transfiere a estructuras de datos que posteriormente son descargadas en los formatos de reporte preestablecidos. Se presenta una vista preliminar del reporte en la GUI de reportes y si el usuario así lo requiere, se manda a impresión y automáticamente se genera un archivo en formato Excel con la información del reporte que se aloja en el subdirectorío correspondiente de la estructura de subdirectoríos. El usuario tiene control absoluto sobre el tipo de reporte que necesite.

#### 4.8.3 Desarrollo del Módulo de Reportes

Para este módulo se construyeron las siguientes interfaces, ver figura 4.20a. Generación de reportes de SITIEMS y figura 4.20b Reporte de SITIEMS.

**PROGRAMA DE INTEGRIDAD DE DUCTOS**  
Sistema Integral para Aplicación de Tecnología de Inspección Electromagnética de Ductos (Región Sur)

**SELECCION DE IMPRESION**

VARIABLES  
 Corrientes  Potenciales

Definir kilometraje

Del Km: 6510 al Km: 7000

Aceptar

Cancelar Selección

**Corrientes Del Km :6510 al Km: 7000**

Num. med Km. DDV	GPSX	GPSY	Prof	I, mA	Observaciones	UIRec. mV	Rho
1 6650	459312	2014107	0.97	114.24	Postura Baja	1111.26348881924	57.262172803
2 6690	459298	2014073	0.96	115.68	Postura baja	1112.70923677936	50.394421746
3 6630	459268	2014061	0.96	116.95	Postura baja	1114.15689931360	44.615145636
4 6670	459223	2014048	0.89	117.15	Postura baja	1115.60637825446	45.54486724
5 6710	459184	2014036	0.95	119.37	Postura baja	1117.0577648353	39.431267694
6 6750	459148	2014023	1.11	120.34	Postura baja	1118.51106239432	29.734474434
7 6790	459121	2013988	1.01	121.99	Postura baja	1119.96624018344	34.78880017
8 6830	459100	2013969	0.95	121.42	Postura baja	1121.42331057073	51.41727032
9 6870	459077	2013927	1.1	123.86	Postura baja	1122.86220595910	46.748933564
10 6910	459058	2013892	0.89	123.5	Postura baja	1124.34314073502	62.560880912
11 6950	459036	2013868	0.92	124.29	Postura baja	1125.80596544768	62.553191488
12 6990	459015	2013825	0.82	125.43	Postura baja	1127.2709720398	63.093732025

REGRESAR A MENU PRINCIPAL

Figura. 4.20a GUI para Generación de Reportes de SITIEMS.

Este tipo de reportes son herramientas de gran importancia para el especialista de procesamiento ya que permite observar cómo influye la resistividad del terreno en los resultados.

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO**  
DIRECCIÓN REGIONAL SUR  
PROCESO DE SOLUCIONES EN TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Ducto: LDD 8° POZO BRICOL 1 A CABEZAL CHINCHORRO Fecha: 28/04/2010  
 Dranaje Generador: 200 20 Frecuencia Op: 4  
 Modelo de Emisor: PCM Punto de Conexión: Poste RA Km 7+950  
 Tipo de Suelo: Arcilla Seca Clima: SOLEADO

No. Med.	Km (DDV)	GPS X	GPS Y	Prof (m)	J (mA)	URec (mV)	Rho(ohm.m)	Observaciones
1	6550	459312	2014107	0.97	114.24	1111.26	57.2822	Pastura baja
2	6590	459298	2014073	0.98	115.88	1112.71	50.3944	Pastura baja
3	6630	459268	2014061	0.96	116.59	1114.16	44.6152	Pastura baja
4	6670	459223	2014048	0.89	117.15	1115.61	45.5449	Pastura baja
5	6710	459184	2014036	0.95	119.37	1117.06	39.4313	Pastura baja
6	6750	459148	2014023	1.11	120.34	1118.51	29.7345	Pastura baja
7	6790	459121	2013998	1.01	121.99	1119.97	34.7870	Pastura baja
8	6830	459100	2013959	0.95	121.42	1121.42	51.4173	Pastura baja
9	6870	459077	2013927	1	123.88	1122.88	46.7499	Pastura baja
10	6910	459058	2013892	0.89	123.5	1124.34	62.5609	Pastura baja
11	6950	459036	2013858	0.92	124.29	1125.61	82.5532	Pastura baja
12	6990	459015	2013825	0.83	125.43	1127.27	83.0937	Pastura baja

Figura. 4.20b. Reporte de SITIEMS.

#### 4.9 Conclusiones del capítulo 4

En este capítulo se presentó el desarrollo de los siete módulos operativos de SITIEMS: 1) Módulo del Menú Principal, 2) Módulo de Nuevo Levantamiento, 3) Módulo de Visualización, 4) Módulo de Gráficas y Selección de Datos, 5) Módulo de Procesamiento, 6) Módulo de Generación de Reportes y 7) Módulo de Mantenimiento a la Base de Datos.

Durante el proceso de desarrollo, se implementó cada módulo considerando aportaciones significativas de herramientas como: el pseudocódigo, los diagramas de flujo y en su siguiente fase se generó el código bajo la plataforma de desarrollo seleccionada. Se identificaron los puntos de enlace entre los módulos, así como las estructuras de datos modificadas o generadas. Todos los módulos fueron construidos cumpliendo rigurosamente los diferentes requerimientos y especificaciones normativas aplicables.

En esta fase se pudo determinar el orden y actuación de cada elemento de las interfaces de usuario, así como de cada rutina de programación.

El lenguaje de consulta SQL permite explorar la BD para generar nueva información ya que permitió combinar información de diferentes tablas para ser mostradas en un solo control de despliegue de información. Se manifestó la importancia de estructurar GUI's de fácil acceso para organizar y clasificar la información proveniente de las diferentes fuentes de almacenamiento.



## CAPÍTULO 5.

# Implantación y evaluación del sistema.

La última etapa del ciclo de desarrollo de sistemas de información propuesto para SITIEMS denominado implantación y evaluación ver figura 2.4 en el capítulo dos, involucra los procesos para poner en funcionamiento el sistema, lo que implica instalarlo, crear las condiciones para que sea utilizado, someterlo a procesos de evaluación y a análisis de resultados [12].

Dentro del proceso de evaluación [32] están las pruebas, que se utilizan para demostrar que el sistema cumple con las especificaciones y satisface las necesidades de usuario. El usuario es determinante en esta etapa ya que es quién impacta directamente en la aceptación del sistema, sobre todo si sus requerimientos han sido cubiertos.

La siguiente metodología fue aplicada para el desarrollo de este capítulo:

- Implantación del SITIEMS.
- Pruebas de operación del Sistema.
- Análisis de resultados.
- Mantenimiento del sistema.
- Capacitación de los usuarios.

### 5.1 Implantación del SITIEMS

Una implantación adecuada permite lograr que un sistema sea confiable siempre que cumpla con los requerimientos para lo que fue creado.

La implantación de SITIEMS se asegura mediante el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- Instalación de SITIEMS y acondicionamiento de las instalaciones para su operación.
- Preparación de datos y archivos.
- Estrategias de implantación de SITIEMS.

#### 5.1.1 Instalación de SITIEMS y acondicionamiento de las instalaciones para su operación

Esta fase consistió en la instalación del software **SITIEMS** en diez computadoras de los usuarios especialistas en el procesamiento de TIEMS. Los recursos

mínimos requeridos para estas computadoras fueron especificados en la etapa de requerimientos del sistema para el hardware (punto 2.8.7).

El programa de instalación contiene todos los elementos necesarios para conformar el ambiente de operación de SITIEMS.

### 5.1.2 Preparación de datos y archivos

Consistió en configurar la estructura de directorios de SITIEMS, en donde se alojan los diferentes archivos como resultado del procesamiento, ver figura 5.1.

Directorio	Contiene:
BD	La base de datos genérica del sistema.
Corriente	Archivos generados en la segmentación en formato txt.
Fugas	Archivos de potenciales reconstruidos para CI, Rfuga, Jfuga específicos, formato txt.
G31	Archivos asociados a la resistividad formato G31.
Graficas	Archivos de las gráficas generadas formato emf.
Imágenes	Uso futuro
Potencial	Archivos de potenciales formato txt.
Procesamiento	Archivos resultantes del procesamiento de parámetros reconstruidos en formato xls.
Revestimiento	Archivos resultantes del procesamiento para el revestimiento en formato txt.

Figura 5.1. Estructura de directorios.

La implantación [21] considera la aplicación de ciertas estrategias aplicadas al usuario considerado el factor más importante en el éxito de todo tipo de sistema.

### 5.1.3 Estrategias de implantación de SITIEMS

- Se determinó que algunos usuarios especialistas y de interpretación utilizaran SITIEMS y lo evaluarán a la par con la forma tradicional de procesar la información señalando y enmarcando los puntos de comparación en el desempeño de los mismos durante la obtención de resultados parciales y totales
- Un mismo usuario especialista procesó con los dos métodos y evaluó las

ventajas y desventajas de los mismos. La experiencia, preferencias y conocimiento del usuario impacta directamente en los resultados. Esto implicó establecer y formular medidas de desempeño para evaluar a los usuarios.

La aceptación de SITIEMS fue rápida sin embargo en algunos casos se debió dar mantenimiento a algunos módulos, se realizaron cambios y modificaciones en: el software, archivos o procedimientos para satisfacer las nuevas necesidades de los usuarios, pero todo dentro de una cota de ajustes del sistema. Por ejemplo se estableció la información que más frecuentemente se utiliza para que estuviera disponible en los catálogos.

Los escenarios de aplicación de TIEMS son diferentes de acuerdo al tipo de instalaciones de campo y a las características propias de cada servicio de inspección de ductos por lo que existirán cambios y adecuaciones de manera frecuente. Nuevas situaciones de trabajo sugieren que SITIEMS debe mantenerse siempre al día, el resultado es que SITIEMS está en continua evolución (situación considerada en el mantenimiento), esta actualización es factible gracias a su diseño modular.

## **5.2 Pruebas de operación del Sistema**

Las pruebas de SITIEMS fue una actividad que se realizó a lo largo del desarrollo del sistema y ayuda a asegurar la calidad del sistema. Se dice que una prueba es un éxito cuando se detecta un error y no cuando no se presentan.

En esta etapa se verificó y validó el funcionamiento de SITIEMS desde el cumplimiento de los diferentes requerimientos hasta la puesta en marcha del sistema. En este lapso los especialistas hicieron observaciones para realizar ajustes en el sistema. Lo anterior solo fue posible gracias al diseño modular, es decir el funcionamiento adecuado del software se probó por módulos o subsistemas y dentro de éstos por procedimientos y funciones. Una vez que los módulos operaron adecuadamente se integraron para verlos trabajar en conjunto y verificar que se desempeñaban como se planeó.

Todos los programas de SITIEMS así como sus interfaces fueron sometidos al siguiente esquema de pruebas de laboratorio y operativas.

### **5.2.1 Pruebas de laboratorio**

Se examinó la lógica del programa, se realizaron casos de prueba que producen resultados esperados durante la ejecución del programa o módulo específico, para una condición determinada el programa toma una ruta. Las limitaciones de tiempo impiden la ejecución de cada ruta dentro de un programa ya que puede haber cientos de ellas. Las pruebas no eximen las fallas del software, sin embargo

ayudan a disminuir su ocurrencia. A continuación se citan algunas pruebas realizadas a SITIEMS.

### 5.2.1.1 Pruebas parciales

Las pruebas se centran primero en los módulos (entrada, proceso, salida) independientes entre sí, para localizar errores; esto permite detectar errores en el código y lógica contenidos dentro de ese único módulo. Se prueba cada condición u opción. Si el módulo recibe una entrada o genera una salida, se examinan los rangos de valores esperados, incluyendo los datos válidos e inválidos.

Para los módulos que manejan iteraciones con procesos específicos contenidos dentro de un ciclo como el cálculo de potenciales reconstruidos se trabajan en las condiciones de frontera (cero iteraciones, una iteración en el ciclo y el máximo número de iteraciones en el ciclo)

Se consideró la prueba de código en forma ascendente, comenzando con los módulos más pequeños y de nivel inferior y continuando de uno en uno hasta pasar al siguiente nivel.

Por ejemplo:

El caso de uso del archivo de segmentación en el módulo de Proceso.

- 1) Inicio
- 2) ¿Existe archivo de segmentación?
  - a. Si existe Entonces  
Se genera un indicador de existencia  
y se puede continuar en el módulo de proceso para abrirlo
  - b. De otra forma (no existe)  
Se manda un mensaje de error, indicando que debe ser generado en el módulo de gráficas y selección de datos.
- 3) Fin

La prueba **descendente**, empieza con los módulos de nivel superior y no se examinan las actividades detalladas de los niveles inferiores. El módulo superior solo recibe el resultado del módulo inferior sin verificar si éste es correcto.

El caso de uso del archivo de base de datos.

- 1) Inicio
- 2) Si existe archivo de BD?
  - a. Si existe Entonces  
Se genera un indicador de existencia  
y se puede continuar en el módulo de visualización de datos para ingresar datos
  - b. De otra forma (no existe)

Se presenta una caja de diálogo para solicitar la selección de un archivo de BD o crearla.

3) Fin

#### **5.2.1.2 Prueba de integración de módulos.**

Se prueba la integración de cada módulo en el sistema. Se determinan las discrepancias entre el sistema y su objetivo original, especificaciones y documentación del sistema. Se trata de encontrar los módulos que hayan sido diseñados con especificaciones distintas para la longitud y tipo de datos y los nombres de los elementos de los datos. Debe verificar que los formatos de las variables y archivos son adecuados conforme a las especificaciones.

#### **5.2.1.3 Pruebas de operación de programas con datos de prueba.**

En esta etapa si es aplicable se prueban los programas en escritorio para verificar la forma en que el sistema trabajará siguiendo cada paso del programa en papel para revisar si la rutina trabaja como fue escrita, un modo alternativo fue utilizar el depurador del sistema de desarrollo para realizar un seguimiento de la operación del programa. Posteriormente se crean datos de prueba válidos e inválidos para ver si las rutinas básicas trabajan adecuadamente y se detectan errores.

El uso de catálogos para agilizar y disminuir los errores de entrada en el encabezado de la GUI de visualización de datos fue una buena opción, ya que delimitó el dominio de valores y disminuyó varias fuentes de error.

Conforme la salida de los módulos principales era satisfactoria se revisaban otros módulos relacionados que recibían las salidas de los anteriores. La selección de datos llevó a probar los valores mínimos y máximos permitidos, tal es el caso de la selección del diámetro de la tubería (existe solo un conjunto de datos válido disponible). Se revisaron cuidadosamente los archivos de salida de los datos de prueba.

#### **5.2.1.4 Prueba de enlace con datos de prueba.**

La denominada prueba en cadena. Se revisa si los programas que son interdependientes trabajan como se planeó. Se diseñó un conjunto de datos para probar las especificaciones del sistema y los programas. La prueba considera las combinaciones a través del sistema, es difícil descubrir los problemas si se trata de probar todo en una sola vez.

Se crean datos de prueba especiales que cubren una diversidad de situaciones de procesamiento, por ejemplo para la prueba de selección de ajuste en resistividad, se asocia una resistividad del suelo de acuerdo a la profundidad a la que se encuentra el ducto. Si no hubiese una resistividad asociada en distancia a un punto de medición el programa selecciona y asigna a ese punto de medición el valor de resistividad más cercano.

**5.2.1.5 Operación completa del SITIEMS con datos de prueba**

En esta etapa, a los usuarios especialistas finales se les involucra en la prueba, se usan datos creados con el propósito de probar los objetivos del sistema e incluye la reafirmación de los estándares de calidad para el desempeño del sistema. Incluye mediciones de: error, oportunidad, facilidad de uso, salida adecuada de consultas, aceptable tiempo de respuesta y manuales de operación comprensibles. Por ejemplo el usuario define un rango de kilometraje para reporte de las mediciones, los valores de kilometraje inicial y final pueden no corresponder exactamente a valores registrados, en este caso SITIEMS enviará el resultado considerando únicamente las mediciones que se encuentran dentro de ese rango.

Las pruebas anteriores de laboratorio son un gran soporte ya que se logra un software robusto en su ejecución interna y flujo de datos, ahora se determinan las pruebas desde el punto de vista ejecución de SITIEMS con datos propios de la inspección del ducto.

**5.2.2 Pruebas operativas**

Es el proceso que determina si, bajo condiciones de operación conocidas, el sistema produce los resultados deseados.

**5.2.2.1 Pruebas de especificación.** Se examinan las especificaciones que señalan lo que el programa debe hacer y cómo lo hace bajo diferentes condiciones. Se considera al programa como una caja negra, no se incursiona dentro del programa para estudiar el código y no interesa si se prueba cada instrucción o ruta dentro del programa. Solo se considera si se cumple con las especificaciones.

Se comprobó de manera satisfactoria punto a punto el total funcionamiento de SITIEMS de acuerdo con los requerimientos especificados de:

- Usuario
- Especificaciones del sistema
- Funcionalidades del sistema

**5.2.2.2 Pruebas especiales aplicadas a SITIEMS**

Ahora bien existen diferentes niveles de prueba y diferentes tipos de datos de prueba, dada la modularidad del sistema se deben realizar pruebas parciales para cada módulo así como para el sistema total. Se realizaron pruebas especiales a SITIEMS como lo describe la Tabla 5.1.

Tipo de prueba	Descripción
Prueba de carga máxima	Se operó a SITIEMS bajo la máxima demanda de datos considerando la inspección de un ducto de 10 Km inspeccionado cada 10 m, generando un volumen de 16000 datos en diverso formato, respondiendo de manera adecuada.
Prueba de almacenamiento	Determinar la capacidad del sistema para almacenar datos de inspección y datos calculados producto de operaciones de procesamiento así como la generación de archivos de diferente formato.
Prueba de tiempo de ejecución	Determinar el tiempo total que SITIEMS necesita para el manejo de la información, desde la entrada (los datos de inspección), procesamiento, hasta las salidas (impresión de reportes). Obteniendo una relación de diez veces más rápido que el esquema de procesamiento anterior.
Prueba de recuperación	Determinar la capacidad de SITIEMS para permitir a un usuario recuperar los datos o restablecer SITIEMS después de una falla.
Prueba de procedimientos	Determinar la claridad de la documentación en los aspectos de operación y uso de SITIEMS, haciendo que los usuarios lleven a cabo exactamente lo que el manual indica.
Prueba de factores humanos	Determinar cómo utilizarán los usuarios el sistema al procesar datos o preparar informes. Considera el uso del sistema bajo condiciones inesperadas provocadas por el usuario.

Tabla 5.1. Pruebas especiales aplicadas a SITIEMS.

### 5.2.3 Prueba completa del SITIEMS con datos reales

Se probó SITIEMS con un conjunto de datos de prueba (con resultados de procesamiento conocidos) para verificar su operación en un ambiente simulado (versión alfa) y después se examinaron los resultados para determinar desviaciones con respecto a lo esperado, esto ayuda a determinar en qué módulo pudiera generarse una inconsistencia. Esta prueba fue satisfactoria por lo cual ahora se prueba con datos reales.

SITIEMS fue probado con datos reales que son producto de las mediciones en campo de una inspección de un ducto. El resultado de este procesamiento llevó a realizar una comparación puntual con los resultados del esquema de procesamiento anterior.

Lo anterior enmarca la forma de cómo el SITIEMS se comportó con datos reales y ayudo a determinar las desviaciones que existen entre los dos métodos.

Se consideraron tres conceptos a observar

- Facilidad de uso.
- Funcionalidad de SITIEMS.
- Desempeño de SITIEMS.

#### **5.2.3.1 Facilidad de uso**

Se proporcionó un manual de operación de SITIEMS [Anexo C] que permite al usuario un rápido conocimiento de las características operativas del software.

La GUI de SITIEMS son de carácter intuitivo, el usuario al verlas rápidamente se familiarizó con ellas de modo que las indicaciones de uso fueron mínimas.

En este rubro se presentan las interfaces de entrada figura 5.2., el entorno de entrada y cálculo del método tradicional.

#### **5.2.3.2 Funcionalidad de SITIEMS**

A continuación se muestra la funcionalidad del nuevo sistema SITIEMS con respecto al esquema de procesamiento anterior.

Se seleccionaron puntos de control como comparativas entre los dos sistemas, por ejemplo se muestra la interfaz de SITIEMS para la entrada de datos, referirse a la figura 5.2.



Figura 5.2. Entorno de cálculo por el método tradicional.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Distancia	Prof	J 512 Hz	Dif Corr	U 512 Hz	Rho																				
	(m)	(m)																								
	X0	145	150.00																							
	X1	150	152.00																							
	X2	155	154.00																							
	X3	160	156.00																							
	X4	165	158.00																							
	X5	170	160.00																							
	X6	175	162.00																							
	X7	180	164.00																							
	X8	185	166.00																							
	X9	190	168.00																							
	X10	195	170.00																							
	X11	200	172.00																							
	X12	205	174.00																							
	X13	210	176.00																							
	X14	215	178.00																							
	X15	220	180.00																							
	X16	225	182.00																							
	X17	230	184.00																							
	X18	235	186.00																							
	X19	240	188.00																							
	X20	245	190.00																							
	X21	250	192.00																							
	X22	255	194.00																							
	X23	260	196.00																							
	X24	265	198.00																							
	X25	270	200.00																							

Semaforización

Valores resultado del cálculo  
De las resistencias de:  
fuga y recubrimiento.  
Datos para la resistividad  
del suelo

Valores resultado del cálculo y valores  
asociados a las  
mediciones de potencial  
del generador

Datos de inspección del  
ducto. Distancias y  
valores de corriente.  
En amarillo datos de  
corriente considerados  
en el proceso de  
segmentación

# 5

## Implantación y evaluación del sistema

Analogías de las Interfaces de entrada de datos SITIEMS y esquema de procesamiento anterior.

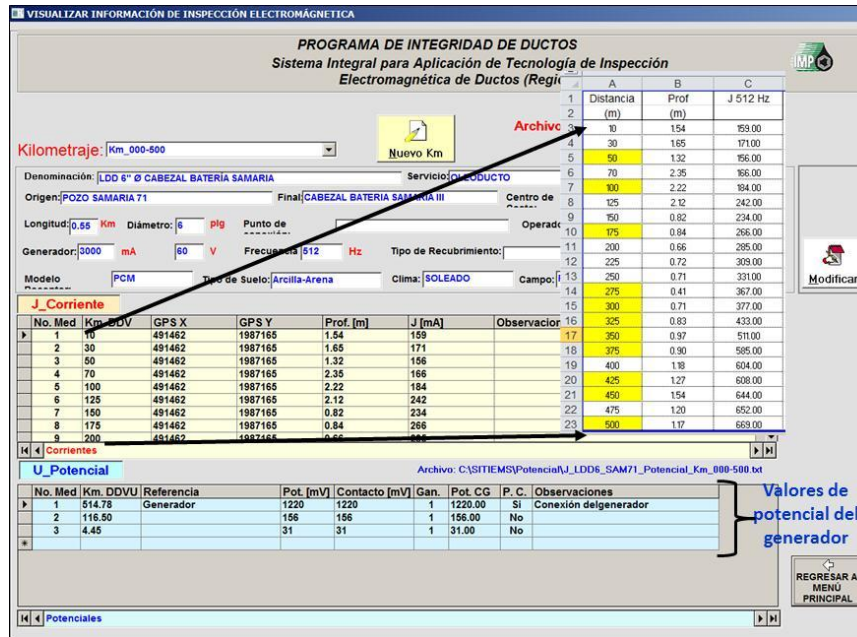


Figura 5.3. Interfaz de datos de entrada SITIEMS

Ahora se indican la interfaz de método tradicional para realizar el proceso de segmentación figura 5.4. El proceso es totalmente manual

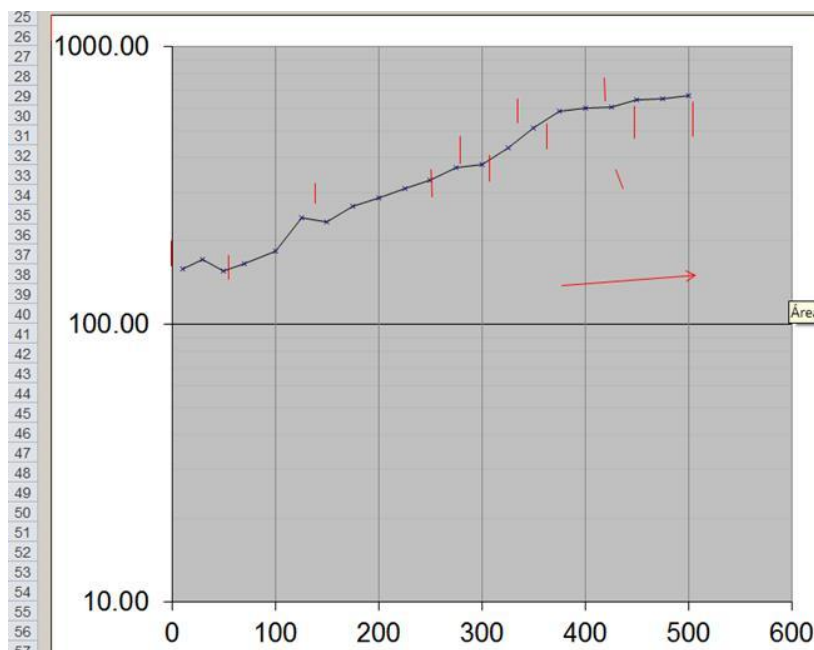


Figura 5.4. Interfaz para segmentación método tradicional.

En la segmentación con SITIEMS figura 5.5, el usuario interactúa con la gráfica y realiza la selección de datos sin opción a equivocarse, de tal forma que no se acumulan errores debido a la apreciación u omisión de cifras significativas en los valores, ya que estos fluyen sin modificación en el ambiente integrado de SITIEMS a diferencia del entorno no integrado que se pierde integridad de los datos al pasar de una aplicación a otra.

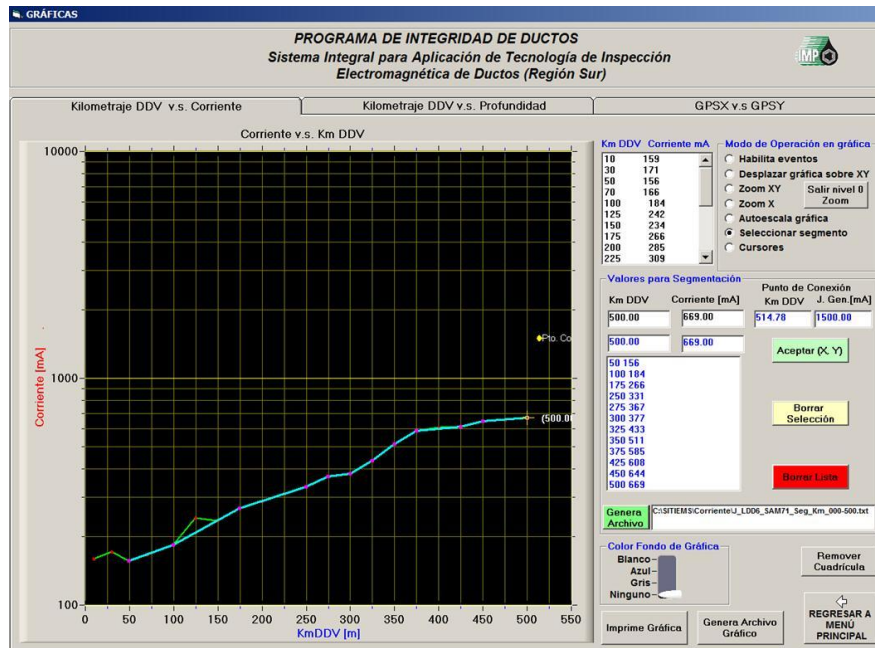


Figura 5.5. Interfaz para segmentación método SITIEMS.

### 5.2.3.3 Desempeño de SITIEMS

El tiempo de procesamiento e interpretación de los datos reales con SITIEMS fue extremadamente rápido con respecto al método tradicional relación de al menos diez veces más rápido.

Se realizó un extracto de los valores obtenidos por el método tradicional y se colocan sobre la interfaz de procesamiento de SITIEMS para observar sus similitudes y diferencias, figura 5.6., de lo cual obtenemos

- Comparación de resultados parciales del SITIEMS contra el esquema de procesamiento anterior de acuerdo al flujo de los datos.
- Durante la fase de prueba el SITIEMS no presentó fallas, es decir, que funciona de acuerdo con las especificaciones y en la forma en que los usuarios esperaban que lo hiciera.

- Se permite que varios usuarios utilicen el SITIEMS para observar si tratan de emplearlo en formas no previstas, se somete a operación en un ambiente no simulado con usuarios seleccionados (versión Beta).
- Se permitió que personas ajenas a las pruebas utilizaran SITIEMS para lograr objetividad e imparcialidad en las mismas y lograr la confiabilidad del software.

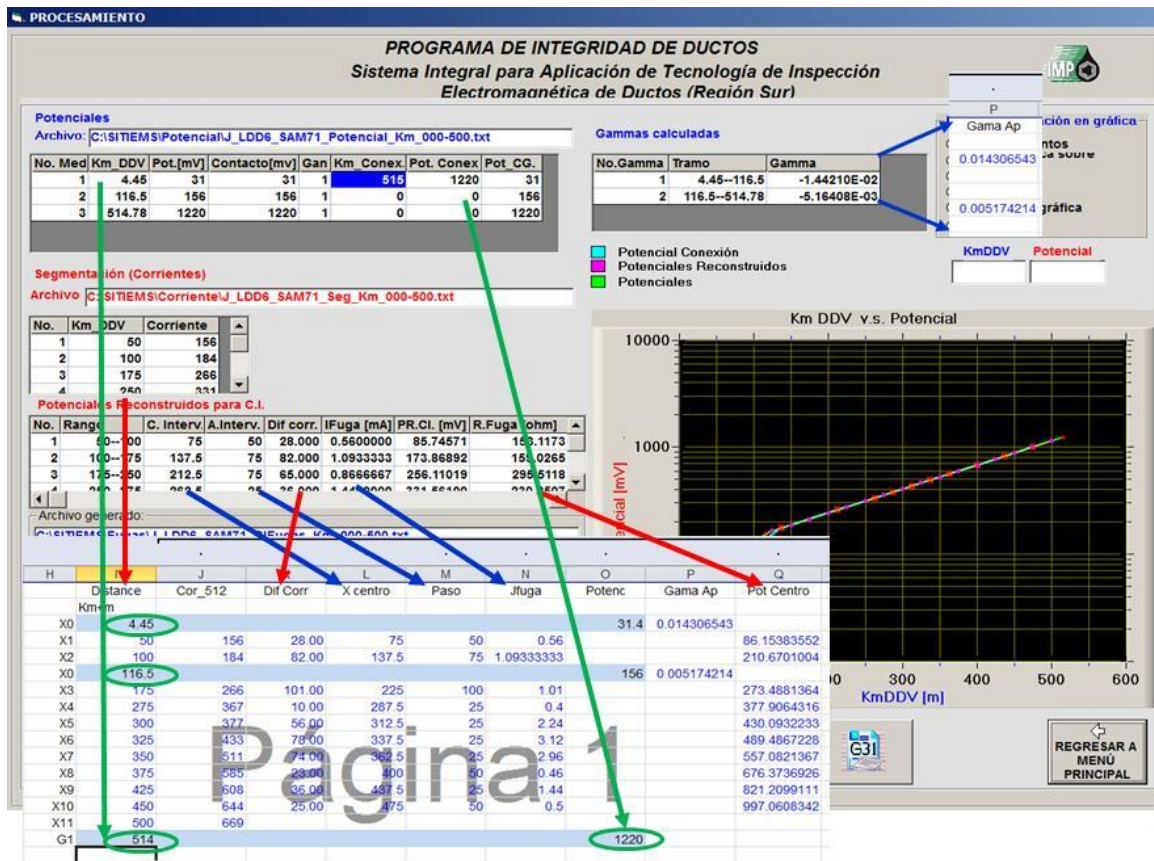


Figura 5.6. Comparación de procesamiento del método tradicional y SITIEMS.

Se observa que para el valor de las gammas (coeficiente de propagación de la señal) los signos son diferentes, este signo depende y solo indica desde cual referencia se realiza la segmentación, es decir alejándose (+) del generador o acercándose (-) a él, en este caso los segmentos se formaron acercándose a él.

Ahora se muestra la parte final de procesamiento para obtener el esquema de semáforo para determinación del estado del recubrimiento del ducto, ver figura 5.7.

Todas las características anteriores aplicadas en simulaciones de procesamiento de datos basadas en los modelos de la TIEMS a fin de determinar el estado del

recubrimiento del ducto en un esquema de semaforización (niveles de resistividad del recubrimiento) y su comparación de datos experimentales comprobaron la consistencia y validación del modelo y así como el funcionamiento adecuado del sistema de información por computadora SITIEMS con respecto a los datos reales de inspecciones de campo.

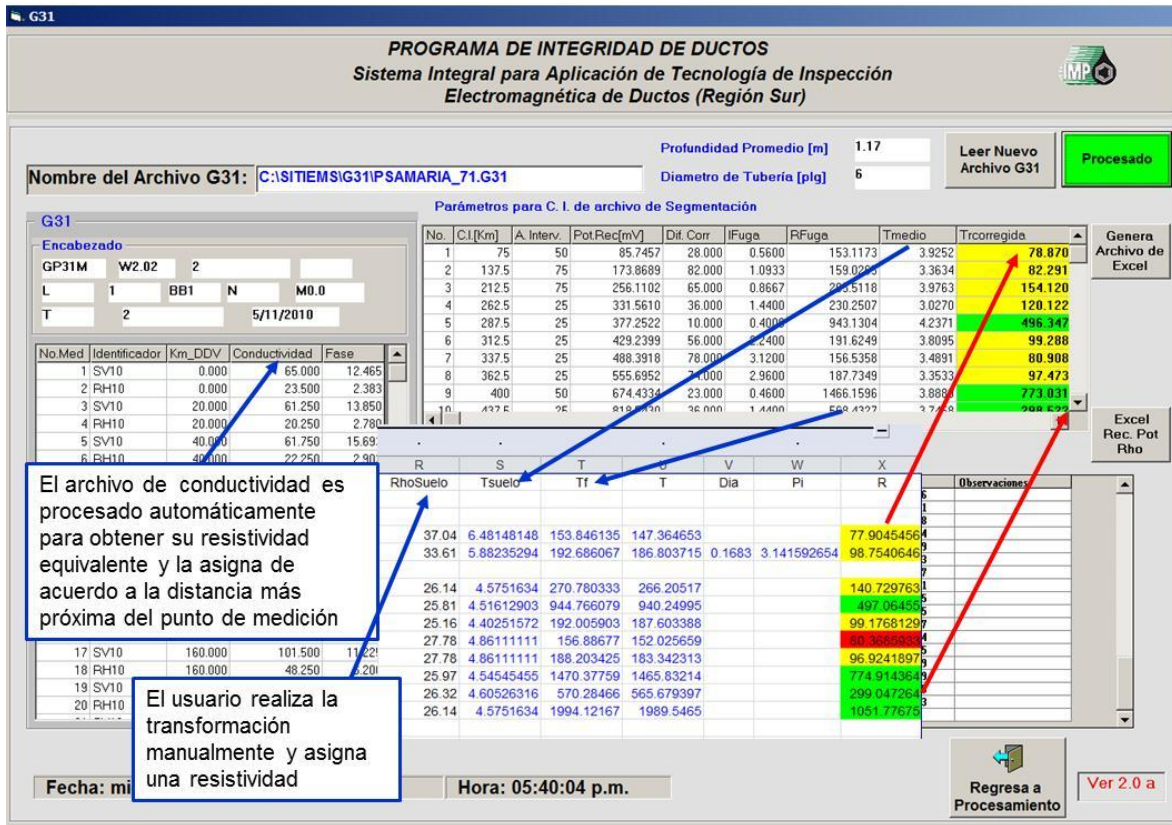


Figura 5.7. Esquema de semáforo para el estado del recubrimiento del ducto.

La importancia de un usuario especialista queda de manifiesto en la siguiente situación.

De acuerdo al criterio establecido del valor de la resistencia del recubrimiento figura 5.8.

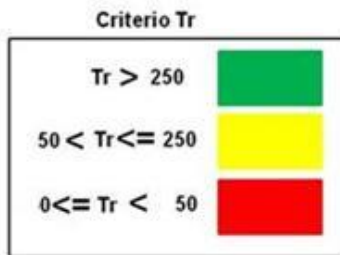


Figura 5.8. Criterio de valores de semaforización.

## 5

## Implantación y evaluación del sistema

SITIEMS marca en color amarillo el valor de 80.908 y en el método tradicional a criterio del usuario el valor 80.3685 lo marca en rojo ya que por la proximidad al límite inmediato inferior (50) se tiene un hallazgo y sospecha de un daño significativo en el recubrimiento del ducto.

El usuario tiene el mismo criterio para el valor de SITIEMS lo cual es consistente en su apreciación.

Considerando el porcentaje de error (*%error*).

$$\%error = \left[ \frac{Vr - Ve}{Vr} \right] * 100 \quad \text{En donde: } \begin{array}{l} Ve = \text{Valor experimental} \\ Vr = \text{Valor real} \end{array}$$

$((80.908 - 80.3685) / 80.908) * 100 = 0.668\%$  de error

Se verifico el indicador del daño correspondiente al tramo 325-350 correspondiendo al centro de intervalo 337.5, se realizó la excavación (denominada caja) 1.5 x 1.5 y profundidad de 70 cm encontrándose un serio problema en el recubrimiento, ver secuencia de eventos, figura 5.9.



Excavación



Ducto al descubierto



Anomalías en el recubrimiento

Observaciones del especialista:

Ducto expuesto, daño en el recubrimiento y corrosión localizada Km. 0+338

Dictamen:

Programar de inmediato o a mediano plazo la atención de la anomalía.

Figura 5.9. Seguimiento de un hallazgo y detección de daño en el recubrimiento del ducto.

### 5.3 Análisis de resultados del SITIEMS

SITIEMS supera en desempeño y tiempo de respuesta de procesamiento al esquema de procesamiento anterior. Se comprobó que SITIEMS cumple totalmente con todas las especificaciones y requerimientos para cumplir finalmente con todos los objetivos para los cuales fue creado.

#### 5.3.1 Uso de SITIEMS en procesamiento de datos de campo

El uso que se le ha dado a SITIEMS abarca las operaciones de inspección realizadas en la región sur en sus cinco activos en el período 2010- 2013, que suman en total 450 Km.

LUGAR	DUCTO	Kilometraje	Excavaciones	Resultado	%Aciertos
Bellota-Jujo	Gas	120 km	20	35 Km daños	100
Samaria	Crudo	95 km	15	25 Km daños	100
Cinco Presidentes	Crudo	80 km	14	19 Km daños	100
Muspac	Gas	70 km	16	27 Km daños	100
Macuspana.	Crudo	80 km	18	23 Km daños	100
		445 km	83	129 km	

Tabla 5.2 Uso de SITIEMS en procesamiento de datos de campo

Lugares, ductos inspeccionados, kilometraje inspeccionado, número de veces que se ha empleado el sistema desarrollado y el porcentaje de aciertos.

El porcentaje de aciertos es una medida en la que la etapa local ha identificado el lugar exacto de la falla en el revestimiento tomando como base la información de SITIEMS.

### 5.4 Mantenimiento del SITIEMS.

Como resultado de las actividades en el proceso de mejora y optimización de SITIEMS se considera al mantenimiento como factor imprescindible para revisión, ampliación y corrección. De tal forma que se aplican diferentes tipos de mantenimiento que a continuación se describen.

#### 5.4.1 Mantenimiento Preventivo

Este mantenimiento prevé la corrección, mejora y optimización del software bajo condiciones de uso inesperadas o anómalas por parte del usuario, normalmente considera cuando el usuario introduce un tipo de variable por otra, o trata de acceder a un tipo de archivos no válidos. Para el caso de SITIEMS se validaron entradas a algunos campos de variables de tipo numérico o texto y en otros casos se implementó el uso de catálogos para el nombre que identifica a cada ducto, anteriormente cada usuario nombraba de diferente forma al mismo ducto de modo que provocaba confusión.

### 5.4.2 Mantenimiento Perfectivo

SITIEMS recibió mantenimiento de este tipo también llamado mantenimiento evolutivo adaptativo para mejorar el rendimiento, flexibilidad y reusabilidad ya que la implementación de cambio en los requisitos como fue el prescindir de la entrada de datos de las coordenadas UTM ya que por su extensión consumía alrededor del 50% en tiempo total de entrada de datos. Por lo que se consideró cambiar la restricción de dato requerido.

Se estima que el mantenimiento de software existente puede consumir más del 60% de las inversiones efectuadas para el desarrollo y se incrementa a medida que se produce más software.

Mediante el uso constante del software el usuario puede percibir que funciones adicionales se puedan añadir para un mejor desempeño, por lo que el mantenimiento perfectivo amplía el software más allá de sus requisitos funcionales originales.

Conforme pasa el tiempo los errores en el sistema presentan un comportamiento de la curva de la bañera figura 5.10.

En su etapa inicial el software presenta muchos problemas que son solucionados como parte del mantenimiento, hasta que a un tiempo determinado el software entra en su etapa de madurez, en este lapso es cuando se tiene un mínimo de errores y en su etapa de vejez, el software presenta gran cantidad de errores como resultado de la obsolescencia del hardware y la falta de mantenimiento para mantener actualizado y adaptado el software para las nuevas necesidades. Para el caso de SITIEMS se puede ubicar en la etapa de madurez.

Comportamiento del software con respecto al tiempo, curva de la bañera, ver figura 5.10..

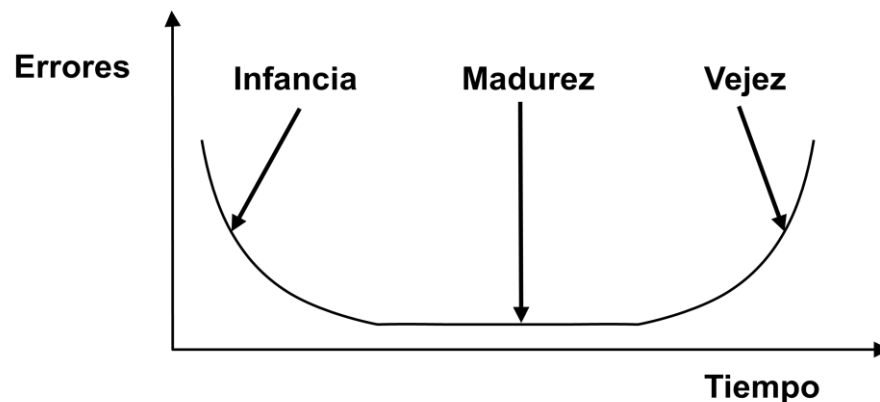


Figura 5.10. Comportamiento del software con respecto al tiempo.



### **5.4.3 Mantenimiento Adaptativo**

Se presenta cuando surgen nuevas condiciones de operación del software y se deban incluir o adaptar para el logro de los objetivos de procesamiento. Con el paso del tiempo es probable que cambie el entorno original de trabajo por ejemplo que se cambien las computadoras o el sistema operativo cambie sin respaldo a versiones anteriores. Para el caso de SITIEMS el cual opera bajo el sistema operativo XP, al cambiar el sistema operativo Windows 7, SITIEMS se corre bajo compatibilidad con versiones anteriores.

### **5.4.4 Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento tiene lugar cuando el software falla en algún módulo, de manera que el restablecimiento de operación amerita una corrección inmediata en el software para eliminar la falla.

## **5.5 Capacitación a los usuarios**

Su función principal fue facultar a los usuarios (capturista, especialista de procesamiento e interpretación) para poder utilizar de forma óptima SITIEMS, mediante la aplicación de los diversos métodos de capacitación:

- Cursos.
- Seminarios.
- Asesorías.
- Ejemplos.
- Manuales de consulta.
- Información general.

El uso de SITIEMS solo fue posible mediante la capacitación que recibieron los usuarios de diferente rol en la cadena de valor de las actividades de procesamiento de información.

La capacitación se estratificó, es decir se otorgó de acuerdo al perfil o rol que cada especialista tiene en el procesamiento de información y se aplicaron diversas estrategias de capacitación.

### **5.5.1 Estrategia de capacitación.**

Existen usuarios de diferentes niveles, habilidades y experiencia de campo de tal forma que el impacto de SITIEMS para cada uno de ellos es diferente, pero la ventaja es que homologa el método de trabajo en el procesamiento de información.

El usuario especialista fue capacitado en dos niveles:

- Primero. Usuarios que solo capturan la información de la inspección de campo, transfieren la información desde la bitácora al sistema.
- Segundo. Usuario especialista que utiliza el SITIEMS para actividades de procesamiento, interpretación y emite dictámenes necesarios para la toma de decisiones.

El tiempo de capacitación dependió del grado de experiencia de los usuarios y del grado de impacto que el SITIEMS tiene en su trabajo.

Para los usuarios especialistas en el procesamiento se consideraron seminarios intensivos y aplicación con datos reales de inspección en tareas de campo.

### **5.5.2 Aceptación del usuario**

Los usuarios aceptaron y adoptaron de buena forma al SITIEMS ya que les ha permitido optimizar sus recursos, realizar en menor tiempo el procesamiento de información y tener resultados acordes a los objetivos de su creación.

## **5.6 Mejoras al SITIEMS**

Debido al éxito de la TIEMS y su futura extensión de uso a las regiones centro y norte y el advenimiento de nuevas necesidades, es primordial que SITIEMS evolucione e incluirle mejoras y extensiones como:

- Incluir el procesamiento de la etapa local de TIEMS.
- Incluir módulos de sistemas de información geográfica.
- Migrar a tecnologías totalmente orientadas a objetos.
- Incluir metodologías para la incursión de análisis de riesgo.
- Incluir algoritmos de predicción para optimizar los programas de mantenimiento preventivo.
- Incluir un sistema experto.
- Incluir redes neuronales.
- Incluir un software de gestión de ductos.

### **5.6.1 Incluir el procesamiento de la etapa local de TIEMS.**

La siguiente etapa en la mejora del SITIEMS es incluir la etapa local, en esta etapa se realizan mediciones de alta resolución en las zonas que indicó el esquema de semáforo de la etapa regional, dichas mediciones son objeto de cálculo en los modelos de inversión de datos para ubicar los puntos exactos de las fallas en el recubrimiento y determinar la profundidad real. Esta etapa tiene su mayor relevancia cuando se tiene geometrías complejas de DDV compartido en donde la distancia entre ductos esta fuera de especificaciones y norma, además de estar interconectados para compartir el mismo SPC.

**5.6.2 Incluir módulos de sistemas de información geográfica**

La inclusión de módulos de información geográfica podrá aumentar la capacidad de SITIEMS ya que mediante la Integración de datos técnicos y estadísticos en un entorno geoespacial, se podrá correlacionar información geoespacial con la de inspección del ducto para la mejor administración de los programas de mantenimiento y predicción de desastres sobre zonas de riesgo potencial.

**5.6.3 Migrar a tecnologías totalmente orientada a objetos**

Conforme el sistema crece y se añaden nuevas funcionalidades es necesario implementarlo bajo un nuevo paradigma de programación que permite al sistema sea altamente escalable, actualizable, flexible, fácil de modificar, acorde con las nuevas tecnologías.

**5.6.4 Incluir metodologías para la incursión de análisis de riesgo.**

El análisis de riesgo es el proceso sistemático e integrado que permite identificar, analizar, evaluar, jerarquizar y administrar las amenazas en el sistema de ductos de Petróleos Mexicanos [NRF-018-PEMEX-2008], con el objetivo de disminuir la probabilidad de falla. Estas amenazas disminuyen la vida útil del ducto, el análisis de riesgo permite a través de recomendaciones preventivas y la toma de mejores decisiones controlar estas amenazas, de modo que la operación resulte segura bajo un nivel de riesgo tolerable.

Es necesario integrar todos los datos relevantes de los ductos (edad, material, tipo de soldadura, producto que transporta, tipo de recubrimiento, datos físicos) y sus inspecciones en un sistema de referencia común (ampliar la BD existente), generar las funciones que ponderen los elementos de riesgo y que la suma de estos indique el grado de riesgo potencial del ducto.

El análisis de riesgo podrá evaluar y documentar la efectividad de la reducción del riesgo en los ductos, considera la necesidad de que el operador tome medidas adicionales en donde la reducción del riesgo por las inspecciones, medidas de prevención y mantenimiento no son suficientes.

También se incluyen algoritmos de predicción de fallas para optimizar los programas de mantenimiento preventivo.

### **5.6.5 Inclusión de algoritmos de predicción para optimizar los programas de mantenimiento preventivo.**

De los datos de las diferentes inspecciones de cada ducto en las diversas zonas forman un historial de ductos, se pueden tomar en cuenta los datos históricos de escenarios de fallas, así como de probabilidades de ocurrencia, se establecen funciones, tablas y diagramas que muestran la mayoría de probables causas y magnitud de los problemas que se pueden presentar antes de un evento catastrófico, esto permite realizar una mejor programación del mantenimiento preventivo.

### **5.6.6 Incluir un sistema experto (SE).**

En el entorno de la aplicación de TIEMS, la experiencia está estrechamente relacionada con la cantidad de casos que el especialista ha tratado de tal forma que es un valor no tangible y es un hecho que esté valor debería ser preservado. Los sistemas expertos [17], emulan el razonamiento de un experto en un dominio del conocimiento, siendo programas de computadora que apoyados en una base de conocimiento poseen información de uno o más expertos en un área del saber. Estos sistemas imitan las actividades de un humano para resolver problemas en un área del conocimiento.

Un tipo de SE que es factible de ser contemplado en SITIEMS, es el de aplicación del razonamiento basado en casos, donde la solución a un problema similar planteado con anterioridad se adapta al nuevo problema. Los especialistas de la TIEMS día con día se encuentran con casos de procesamiento nuevos con respecto a los ya tratados. Es decir las condiciones de operación no son las mismas para todos los ductos, el experto humano transmite su conocimiento a un SE basado en hechos (incrementando la base de conocimiento) y se debe construir dentro del motor de inferencias (programa que controla la base de conocimiento) el caso específico para que el SE lo contemple con los datos propios de un problema específico (base de hechos). Por ejemplo la base de hechos podría ser la base de datos de inspección. El módulo de procesamiento de SITIEMS puede ser considerado para ser parte del SE.

### **5.6.7 Inclusión de redes neuronales (RN).**

Los especialistas experimentados pueden visualizar en primera instancia una condición necesaria aunque no definitiva de un daño en el recubrimiento, reuniendo varias premisas (correlacionando diversa información asociada al ducto) pueden reconocer patrones de comportamiento al observar el perfil de corrientes, los valores de potencial, la profundidad del ducto y los valores de resistividad del suelo, determinando secciones del ducto con problemas en el recubrimiento, aun cuando esta situación es solamente cualitativa.

Cuando la aplicación de los modelos de cálculo de TIEMS corroboran lo supuesto se ha determinado cuantitativamente el resultado, cuando no es así el especialista reconsidera lo supuesto e identifica en cuál de sus premisas faltó considerar algún parámetro que omitió, de este modo el especialista incrementa su conocimiento.

Sería conveniente capacitar bajo un conjunto de casos o de lecciones aprendidas al personal sin experiencia, que este conjunto se incremente y con la capacidad de aprendizaje. Considerando algunas características de las redes (RN) neuronales como: reconocer patrones [2], incluyendo imágenes, tendencias de comportamiento, capacidad de aprender y mejorar su funcionamiento, la inclusión de las RN como complemento a los modelos de TIEMS permiten extender las capacidades de la tecnología.

Los módulos susceptibles de automatizarse bajo RN en SITIEMS son el módulo de procesamiento en la que las secciones gráficas presentan los patrones o imágenes de comportamiento de los datos. Correlacionando diferentes gráficas y datos se infieren las tendencias de comportamiento y si se implanta una RN con aprendizaje adaptativo [6], el conjunto de patrones sería una forma de entrenamiento de RN. El nivel de capas de la RN dependería de la diversidad, arquitectura y algoritmos que permitan el aprendizaje. El resultado indicaría el patrón más adecuado del proceso de segmentación para aplicar los modelos de TIEMS.

Considerar la inclusión de redes neuronales como herramientas de apoyo en la determinación del estado del recubrimiento de ductos sería determinante ya que el soporte dado al personal que toma decisiones sería de mucho valor considerando el factor humano complementado con una RN con aprendizaje [13].

#### **5.6.8 Incluir un software de gestión de ductos.**

Una extensión de SITIEM es la de contar con un módulo de gestión de operaciones en ductos. El módulo de mejora debe considerar que a partir de la decisión tomada (como respuesta a problemas en el recubrimiento de los ductos) para intervenir el ducto se permita: la planificación, logística y seguimiento del historial de los programas de mantenimiento y las operaciones realizadas a cada ducto. Bajo este módulo se pueden evaluar los programas de mantenimiento, costos y custodia de los ductos de las diversas regiones.

Como se observa todavía hay mucho por hacer, el presente trabajo es una pequeña aportación dentro del universo del quehacer en los sistemas para la industria petrolera nacional.

### **5.7 Conclusiones del capítulo 5**

El reconocimiento y convencimiento del usuario al apreciar las ventajas y la diversidad de opciones que provee SITIEMS, para optimizar y facilitar el proceso de interpretación de resultados, facilitó su implantación y aceptación en poco tiempo.

Se efectuó una comparación de SITIEMS con el esquema de procesamiento anterior logrando una velocidad de procesamiento en un margen de al menos diez veces más rápido. Además, la inclusión de catálogos para la entrada de datos disminuyó la fuente de errores y estandarizó la forma de hacer referencia a tópicos de uso común para los diversos usuarios y considerarlos en sus reportes.

Durante las pruebas de funcionamiento e integración SITIEMS se comportó de forma esperada ya que cumplió con los requisitos de cada fase, obteniendo un grado de certidumbre del 100% en los resultados del procesamiento. La arquitectura modular de SITIEMS permitió que durante el mantenimiento se pudieran realizar extensiones a las funciones o añadir nuevas para mejora del sistema. El mantenimiento de SITIEMS abre una opción a integrar nuevos módulos considerados en trabajos futuros como resultado de nuevas necesidades operativas de la tecnología TIEMS.

La capacitación de los usuarios en el funcionamiento de SITIEMS permitió lograr una nueva forma de trabajo, en la que las actividades de procesamiento de información de TIEMS ahora tienen un orden definido. Los usuarios saben exactamente en qué etapa del proceso se está trabajando, en donde está almacenada la información generada y se refieren a los resultados intermedios y finales en el mismo contexto.

## CAPÍTULO 6.

# Conclusiones finales.

Al fin de este trabajo se procedió a evaluar los resultados obtenidos con respecto a los objetivos trazados.

### 6.1 Logros alcanzados.

Se desarrolló un sistema de información integral SITIEMS, para el manejo y procesamiento de datos de las señales del tipo electromagnéticas superficiales de la TIEMS en su etapa regional, el cual permite determinar cuantitativamente el estado del recubrimiento de los ductos en un esquema de semáforo y es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones que impacta en los programas de mantenimiento preventivo de la red de ductos de los diferentes activos de PEMEX en la región sur.

El uso del enfoque de sistemas y la metodología estructurada aplicada al ciclo de vida de desarrollo de sistemas (CVDS), permitió el desarrollo modular y estructural de SITIEMS. El uso de modelos conceptuales permitió identificar los diversos módulos o subsistemas para establecer sus límites y relaciones y así plantear y diseñar la arquitectura general de SITIEMS. La utilidad de diversas técnicas de acopio de información fue determinante para conformar la solución.

El sistema SITIEMS se estructuró en siete módulos: Menú Principal, Visualizar información; Gráficas y selección datos; Nuevo levantamiento; Procesamiento; Reportes y Mantenimiento a la base de datos, que permiten realizar todas las funciones de: entrada, procesamiento, almacenamiento y salida con sus respectivas GUI's diseñadas para una fácil interacción con el sistema cumpliendo con todos los requerimientos.

El módulo de menú principal es la entrada del sistema, constituye el punto de navegación a los demás módulos de acuerdo a eventos generados por el usuario y controla la secuencia general de operación.

El módulo de Nuevo levantamiento permitió al usuario generar una base datos con datos precargados y uso de catálogos para facilitar y minimizar los errores de entrada de información.

El módulo de visualizar información permitió editar la información para ser almacenada en la BD y generar archivos asociados en forma automática, mostrando la información administrativa, técnica-operativa, datos de inspección y de entorno.

El módulo de Gráficas y selección de información permitió: el despliegue de gráficas para los datos de inspección; corrientes y potenciales, así como interactuar con las gráficas y seleccionar información sin pérdida de integridad para generar los archivos gráficos y de segmentación a ser utilizados en el procesamiento.

El módulo de Procesamiento permitió realizar el cálculo de parámetros como las corrientes de fuga, constantes de propagación, y la reconstrucción de potenciales entre otros, necesarios para determinar el estado del recubrimiento del ducto. Además, en este módulo se muestran los resultados en un esquema de semáforo que indica el estado del recubrimiento del ducto. SITIEMS puede mostrar los resultados del procesamiento en pantalla o bien generar los archivos en formato gráfico, Excel y texto.

En el módulo de Reportes presenta una GUI al usuario en donde puede seleccionar los rangos de kilometraje a ser mostrados en un reporte ejecutivo.

Por último, el módulo de mantenimiento de la BD, permitió al usuario el poder añadir información a los diversos catálogos utilizados para llenar los campos de información de la sección de encabezado de la GUI Visualizar información.

Cabe mencionar que SITIEMS permite evaluar diversos escenarios del procesamiento cuando la selección de datos es diferente, brindando la capacidad al usuario de interactuar con los datos durante el proceso de segmentación y asociar en forma automática los datos de resistividad de suelo para obtener en forma inmediata el resultado del procesamiento.

El ambiente integrado de SITIEMS permitió optimizar el flujo de información entre los diferentes módulos de operación; el manejo y selección de información mediante la interacción con las gráficas eliminó los errores por apreciación y captura manual, repercutiendo en resultados más confiables del procesamiento con una disminución de al menos diez veces en tiempo de procesamiento.

La organización automática de información almacenando los archivos resultantes del procesamiento en subdirectorios específicos, así como el proceso automático y de acuerdo al contexto de nombrar, generar y guarda los archivos de: selección de información, cálculos y resultados en diferentes formatos (texto, gráfico, Excel), ha permitido tener un orden y mejor control de la información optimizando tiempos.

Una serie de pruebas fueron realizadas durante la evaluación del sistema para verificar y evaluar su funcionamiento, cumpliendo con los diferentes requerimientos hasta la puesta en marcha del sistema.

La implantación de SITIEMS fue aceptada por convicción de los usuarios, ya que apreciaron sus ventajas y capacidades, repercutiendo en un mejor desempeño y optimización de las actividades en el procesamiento e interpretación de resultados.



En las bases teóricas para el nivel de investigación y el desarrollo del sistema se aplicaron diversos conceptos asimilados durante la maestría en el CIC y reforzados durante el actuar profesional en el IMP como: ingeniería de software, teoría general de sistemas, técnicas de recopilación de información, base de datos, programación estructurada, enfoque de sistemas, lenguajes de programación entre otros.

El uso de herramientas como los DFD (diagramas de flujo de datos) para cada módulo y el DD (diccionario de datos) permitió que el proceso de codificación fuese más claro y simple.

La arquitectura modular permite a SITIEMS ser flexible y ajustarse a la inclusión de nuevos requerimientos, mejoras y extensiones.

Se realizaron pruebas de laboratorio y operativas para comprobar y validar el funcionamiento de SITIEMS, las pruebas de laboratorio se realizaron con datos simulados y durante el todo el desarrollo del sistema, permitiendo la depuración en el momento a nivel de rutinas de programación y finalmente las pruebas operativas fueron con datos reales de inspección obteniendo excelentes resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los que todos y cada uno de los requerimientos del sistema fueron cubiertos, se lograron completamente los objetivos establecidos.

SITIEMS provee un gran potencial de procesamiento de información y mediante una estrategia de uso adecuado ha posicionado a las entidades de servicio de inspección del IMP en un privilegiado plano competitivo

## 6.2 Aportaciones

Se cuenta con un sistema SITIEMS que permite el manejo y procesamiento óptimo de los datos de la TIEMS. Se crearon las estructuras de las bases de datos en función de las necesidades de almacenamiento de información, las cuales son controladas por formularios simples de entrada de datos, que mediante rutinas de programación permiten realizar consultas específicas de datos y generar informes.

SITIEMS conforma un ambiente integrado en donde los datos e información fluyen de manera directa entre los módulos (entrada, procesamiento y salida) de modo que no es necesario que al final de un proceso intermedio se adecue la información para ser entrada del siguiente proceso, esto lo realiza automáticamente SITIEMS, esto permite mantener la integridad y confiabilidad de la información. Procesos como el de seleccionar información interactuando

directamente sobre las gráficas (segmentación) evita errores de apreciación de los datos seleccionados.

Las salidas de cada módulo de cálculo pueden observarse en su totalidad, pudiendo inferir resultados esperados de acuerdo a la correlación con los datos asociados, lo mismo puede observar una inconsistencia de datos en la presentación gráfica que no es evidente en su formato tabular. Asimismo puede realizar modificaciones en la sección de entrada de datos la cual se reflejará automáticamente en las diversas interfaces en donde se presenten salidas como resultado de ese cambio, a diferencia de los software no integrados en donde habría que reflejar manualmente el cambio en cada uno de ellos, lo cual consumía demasiado tiempo.

Desde la presentación gráfica de los datos del perfil de corriente y potenciales el usuario puede observar en la gráfica los cambios de corriente e inferir los segmentos de ducto que presentan problemas por falla en el recubrimiento, aunque es una condición necesaria, no es suficiente, con la aportación de la presentación de valores de cálculo como las resistencias de fuga y de recubrimiento y de los ajustes por diámetro se puede concluir los resultados de la resistencia del recubrimiento la cual es presentada por el esquema de semáforo como salida.

SITIEMS provee el resultado de la inspección y procesamiento en BD y archivos que cumplen con los requisitos técnicos y documentales de las plataformas y organismos concentradores de información de PEMEX, como @DITEP e iDuctos para correlacionar información con otras bases de datos de diferente ámbito de aplicación, por tanto ayuda a enriquecer y complementar la información de ductos del sector petrolero

SITIEMS permite aumentar la exactitud en el cálculo de las ecuaciones del modelo TIEMS, reducir el tiempo de obtención de resultados mejorando los tiempos de procesamientos.

Se cuenta con SITIEMS que incluido en la TIEMS potencializa los recursos y mejora el tiempo de respuesta en el procesamiento de información, cumpliendo completamente con las expectativas. El desempeño de SITIEMS es al menos diez veces más rápido con respecto al método tradicional de procesamiento.

SITIEMS permite a los usuarios especialistas de TIEMS optimizar los tiempos de entrega de los reportes de interpretación y evaluación del estado del recubrimiento de los ductos inspeccionados en los activos de la región sur de PEMEX, lo que facilita la planeación y ejecución de los programas de mantenimiento preventivo.

Debido a que la TIEMS supera a las tecnologías extranjeras en la inspección superficial de ductos y al contar con SITIEMS coloca en una situación de vanguardia al IMP con respecto a las compañías competidoras. Actualmente los servicios contratados para dichas compañías ha disminuido trayendo beneficios inherentes como son la confiabilidad y custodia de la información de PEMEX.

Actualmente se realizan servicios a PEMEX para los activos:

Activo Integral Bellota Jujo PEP Villahermosa.  
Activo Integral Samaria Luna PEP Villahermosa.  
Activo Integral Cinco presidentes PEP Villahermosa.  
Activo Integral Macuspana PEP Villahermosa.  
Activo Integral Muspac PEP Villahermosa.

Se cuenta con un SI que permite disminuir la dependencia tecnológica en el servicio de inspección de ductos con tecnología electromagnética superficial.

Y dada la aceptación de esta tecnología se planifica utilizarla en la zona norte y centro de país en donde SITIEMS será susceptible de poder adaptarse y extender sus capacidades para solventar las nuevas necesidades para las condiciones de trabajo de la zona.

### **6.3 Trabajos a futuro**

Día con día las cuadrillas de inspección se encontraran con problemas más complejos en los diferentes tipos de instalaciones, que demandarán soluciones e interpretaciones alternas que deberán tomar en cuenta: historiales de inspecciones, lecciones aprendidas y correlaciones. Para potencializar y extender las capacidades de SITIEMS, en el procesamiento e interpretación de los datos de inspección, será necesario:

- Incluir el procesamiento en etapa local de TIEMS.
- Incluir módulos de sistemas de información geográfica.
- Migrar a tecnologías totalmente orientada a objetos.
- Incluir metodologías para la incursión de análisis de riesgo.
- Inclusión de algoritmos de predicción para optimizar los programas de mantenimiento preventivo.
- Incluir un sistema experto (SE).
- Incluir de redes neuronales (RN).
- Incluir un software de gestión de ductos.



# Bibliografía

- [1] Chris Pitt, MVC, Pro PHP MVC, Publisher Professional Apress, Oct. 2012.
- [2] Christopher M. Bishop, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, Reprinted 2004.
- [3] Cornell Gary, "Manual de Referencia Visual Basic 6.0", McGraw-Hill, 1999.
- [4] Daniel Cohen, Sistemas de información para la toma de decisiones. "2ª Edición, McGraw-Hill, México 1999.
- [5] David M. Kroenke, Procesamiento de Bases de Datos Fundamentos, diseño e instrumentación, Ed., Prentice Hall, Quinta edición, México 1996.
- [6] De la Fuente Aparicio María Jesús, Calonge Cano Teodoro, Aplicaciones de las redes de neuronas en supervisión, diagnosis y control de procesos, Ediciones CYTED-Conicit, 1999.
- [7] Delgado-Rodríguez O., Mejía-Aguilar A., Mousatov A., Nakamura Labastida E., y Shevnin V. **Derecho de Autor** Tecnología de estimación del estado de recubrimiento de ductos utilizando mediciones superficiales del campo electromagnético. N de registro: 03-2002-071812212000-01.
- [8] Fernández Alarcón, Vicenç, Desarrollo de sistemas de información una metodología basada en modelaje, 1ª Edición, Editorial/Distribuidor: UPC: Jun. /2006.
- [9] G. Levaggi, Teoría General de Sistemas, UGERMAN Editor, Buenos Aires, 1999.
- [10] Galindo Soria Leopoldo A., "Apuntes de la materia de la maestría en ciencias en ingeniería de sistemas especialidad en ingeniería de sistemas del Instituto Politécnico Nacional", 2006.
- [11] Galindo Soria Leopoldo A., "Una Metodología para el Desarrollo de Sistema de Información Basados en Computadoras", Memorias del 6to. Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y Sistemas SEPI,

## Bibliografía

---

- ESIME, IPN, México D.F. Noviembre 2007, 7 pp.
- [12] Gil, I., Guarch, JJ y Palacios, D. Implantación de Sistemas y Tecnologías de la Información en las organizaciones. DSPUPV, 1998.
- [13] Henk G. Sol, Cees A. Th. Takkenberg, Pieter F. de Vries Robbé, Expert Systems and Artificial Intelligence in Decision Support Systems, Kluwer Academic Publishers, 1987.
- [14] igp ingeniería, gas y petróleo (2011) Literatura, XLI Spectrum , [Online]. Available: [http://www.igp-srl.com.ar/pdf/xli\\_alcance\\_tecnico.pdf](http://www.igp-srl.com.ar/pdf/xli_alcance_tecnico.pdf)
- [15] James A. Senn, Análisis y Diseño de Sistemas de Información, Segunda Edición, Mc Graw Hill, Abril 2000.
- [16] James O'Brien, Sistemas de información gerencial, 4ª Edición, Irwin McGraw-Hill, Bogotá. 2001.
- [17] J. Biondo Samuel, Fundamentals of Expert Systems Technology: Principles and Concepts. Ablex Publishing Corporation, 1990.
- [18] Kendall Kenneth E. y Kendall Julie, "Análisis y Diseño de Sistemas", Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, 2005.
- [19] Korth Henry F., Silberschatz Abraham,"Fundamentos de Bases de Datos", McGraw-Hill, Segunda Edición, 1993.
- [20] Laudon Kenneth C. y Laudon Jane P., "Sistemas de Información Gerencial", Prentice Hall, 2000.
- [21] Lou Gerstner, Principios de Sistemas de información. Enfoque administrativo. "2ª Edición, McGraw-Hill, México. 1999.
- [22] McManus Jeffrey P., "Bases de Datos con Visual Basic", Prentice Hall, 1999.
- [23] Mortier Gustavo du,"Bases de Datos en Visual Basic 6.0", Compumagazine, 2000.
- [24] Mousatov A., Nakamura-Labastida E., y Shevnin V. Patente. Método para determinar el estado de aislamiento de ductos utilizando mediciones de fugas de corriente. Texto 25 pp., Figuras 6 pp. 21 de febrero de 2003. No IMP 849, No. de expediente PA/a/2003/005187, Reg.N:PA/E/2003/022387. Fecha 11 Junio 2003. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

## Bibliografía

---

- [25] Norma NRF-030-PEMEX-2009. Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos.
- [26] Norma NRF-047-PEMEX-2007. Diseño, Instalación y Mantenimiento de Sistemas de Protección Catódica.
- [27] Pérez Cesar, "SQL Server 2005", Alfaomega Ra-Ma, 2007.
- [28] pipetegrity (2011), riesgo, [Online]. Available: <http://www.pipetegrity.com/riesgo/item/download/124.html>
- [29] Pressman Roger S., "Ingeniería del software un enfoque practico", McGraw-Hill, 1998.
- [30] PROTAN S.A. (2007), Estudios Mediciones Servicios CIS y DCVG, [Online]. Available: [http:// www.protansa.com](http://www.protansa.com).
- [31] R. L. Pawson: "*Close Interval Potential Surveys - Planning, Execution, Results*", Proceedings on Corrosion, NACE publications, paper 575, pp.16-21, February 1998.
- [32] Ralph M. Stair, George W. Reynolds, Sistema de información gerencial, 4ª Edición, International Thomson Editores, 2000.
- [33] Schmuller Joseph, "Aprendiendo UML en 24 horas", Prentice Hall, 2000.
- [34] Shevnin V. A. and Modin I. N., 1999, "*Geoecological inspection of oil industrial enterprises*", Moscow, 511 pp. (En ruso).
- [35] Swan Lane, Hindley Green (2012), *DC Voltage Gradient Technology and Supply Ltd.* [Online]. Available: [http:// www.dcvg.com/page10.html](http://www.dcvg.com/page10.html)
- [36] TechCorr. (mayo 7, 2012), Carpeta de folleto, [Online]. Available: <http://www.TechCorr.com>
- [37] Tecnología Total (2008 ), Control integral de corrosión (2011), [Online]. Available: <http://www.tecnologiatotal.net>
- [38] Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica Año XIII, No 36, ISSN 0122-1701, Septiembre de 2007.
- [39] Van Gigch John P., "Teoría General de Sistemas", Editorial Trillas, México D. F., 1981.
- [40] Vaquero Sánchez Antonio y Quiroz Vieyra Gerardo, "Visual Basic 6.0

## Bibliografía

---

- Manual del programador", McGraw-Hill, 1998.
- [41] Wilbert O. Galitz, *The Essential Guide to User Interface Design: An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*, Wiley Publishing, Inc. Third edition, 2007.
- [42] Whitten J. & Bentley L., *Systems Analysis and Design Methods.*, Irwin/McGraw-Hill, 4<sup>th</sup> ed., 1998.
- [43] Z. Masilela and J. Pereira: "*Using the DCVG technology as a quality control tool during construction of new pipelines*". *Engineering Failure Analysis*, Vol. 5, No. 2, 1998, pp. 99-104.



**ANEXO A****GENERALIDADES DE LOS MÉTODOS DE INSPECCIÓN**

Actualmente no existe un solo método de inspección que determine todas las fallas en los ductos, cada método tiene alcances y características particulares que lo hacen apto para la inspección de la parte metálica del ducto o de su revestimiento. Mientras los resultados de inspección de algunos tienen un fuerte soporte matemático y uso de modelos específicos, otros están basados en cuestiones heurísticas (de acuerdo a la experiencia de casos tratados) que entregan resultados puramente cualitativos.

**Problemática general de los métodos de inspección**

Las herramientas de inspección interna (diablos) proporcionan información principalmente sobre; corrosión, fracturas y anomalías geométricas en el ducto, pero no determinan el grado de daño en:

- El recubrimiento,
- El estado de los sistemas de protección catódica
- El nivel de los potenciales del sistema de protección catódica (SPC).

Generalmente, para estimar estos parámetros, se utilizan métodos eléctricos y electromagnéticos. Algunos métodos se combinan para poder obtener mejores resultados que su alcance individual.

Los métodos combinados CIPS y DCVG delimitan cualitativamente los intervalos dañados del recubrimiento en el ducto con mediciones de campo eléctrico de CD [43], [34], pero no revelan las causas que lo originan, no proporcionan una estimación cuantitativa de la resistencia de aislamiento y requieren de equipo especial para sincronizar el encendido y apagado (“on-off”) de las estaciones de protección catódica.

Los métodos anteriores solo aportan información de tipo cualitativo cuya interpretación depende en gran medida de la experiencia del analista, el cual correlaciona la información resultante de diferentes métodos.

De acuerdo al estudio de las tecnologías de inspección orientadas a la determinación del estado del recubrimiento de ductos se resume que los principales problemas son:

- No cuentan con un marco teórico o soporte matemático que permita la simulación rápida de las características electromagnéticas del ducto.
- No evalúan cuantitativamente el estado del recubrimiento de los ductos.
- No identifican el origen de las fallas.

## Anexo A Generalidades de los métodos de inspección

- Son necesarios equipos altamente sofisticados de sincronía satelital para interrupción del funcionamiento del sistema de protección catódica (caso CIPS) y medir los potenciales “on-off”.
- Diversos métodos requieren complementarse con la información de mayor relevancia proporcionada por cada uno:
  - Método CIPS proporciona información sobre protección catódica.
  - Método DCVG proporciona información sobre el recubrimiento.
  - Método PCM proporciona información sobre la trayectoria geométrica y condición promedio del recubrimiento.

Para en conjunto determinar: la trayectoria geométrica del ducto, evaluar cualitativamente el estado del recubrimiento así como del SPC,

Bajo condiciones extremas de ductos cercanos, en DDV compartidos y con geometrías complejas de distribución de ductos atravesados e interconectados al mismo SPC, los métodos anteriores tienen grandes limitaciones de detección e inspección del ducto adecuado, por consiguiente se tiene gran dificultad en la obtención de datos de inspección y por tanto en la interpretación, ver figura A1., Disposición compleja de ductos en DDV compartido.



Figura A1. Disposición compleja de ductos en DDV compartido.

## Anexo A Generalidades de los métodos de inspección

TIEMS es una tecnología nacional que solventa los problemas bajo condiciones extremas antes mencionadas y da solución a la mayoría de los problemas de inspección superficial y comparativamente mejor que las tecnologías transnacionales, ver Tabla A1.

De las tecnologías indicadas, las de los diablos instrumentados orientadas a determinar la pérdida interna y externa de metal proveen una gran cantidad de información para la prevención de fallas en ductos, pero considerando que de un 40 a un 60% de los ductos instalados no se pueden inspeccionar por estos medios, las alternativas las cubren las demás tecnologías en los rubros de: fugas, tomas no autorizadas (clandestinas), estado del recubrimiento y del SPC.

Tecnología Campo de Estudio	Termografía Infrarroja	Indicador de gas combustible	Diablos	Caída de presión	CIPS	DCVG	Inspección visual	PCM	TIEMS
Información Cualitativa	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
Información Cuantitativa			✓					✓	✓
Determinación de espesor			✓						
Detección de fugas	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Localización y delimitación de fallas en aislamiento	✓		✓					✓	✓
Determinación de trayectoria	✓		✓					✓	✓
Determinación profundidad			✓						✓
Estado del aislamiento			✓			✓		✓	✓
Evaluación de la protección catódica					✓				✓
Resistencia de aislamiento									✓
Tomas clandestinas	✓		✓						✓

Tabla. A1. Comparativa entre tecnologías de inspección superficial de ductos

La siguiente tabla A2., muestra una comparativa de los alcances de las metodologías citadas.

Métodos Alcances	CIPS	DCVG	ACVG	PCM	ERA	TIEMS
Posición, profundidad: único ducto grupo de ductos				+	+	+
Corriente en ducto Corriente de fuga Atenuación de corriente Voltaje Resistencia de fuga Resistencia del revestimiento Localización de zonas dañadas		+	+	+	+	+
Potenciales de SPC Corrientes de SPC Conexiones entre ductos Cargas de SPC	+	+				+
Espesor de tubería Propiedades de tubería						+
Estimación de corrosión	+					
Medición de campo Magnético Medición de campo Eléctrico Mediciones de corrientes telúricas				+	+	+
Filtros de paso bajo Filtros selectivos varias frecuencias No requieren la interrupción del SPC No afectan corrientes telúricas No afectan variaciones del campo magnético	+	+	+	+	+	+
Mediciones en zonas: Urbanos Pantanos Ríos Con acceso difícil		+	+	+	+	+
Agresividad del suelo Riesgos integrales						+
Programas de: Procesamiento Inversión Resultados cuantitativos						+

Tabla A2. Comparativa de los alcances de los métodos de inspección

Se observa que TIEMS es la más completa y avanzada por los alcances obtenidos en las inspecciones externas electromagnéticas y eléctricas de ductos enterrados para determinar el estado de su recubrimiento.

## ANEXO B

## DICcionario DE DATOS

Este diccionario está conformado por una agrupación y organización de variables, que se requieren en el procesamiento de la información de TIEMS para determinar el estado de recubrimiento de ductos. Cada variable definida se asocia a datos obtenidos en las actividades de inspección, los datos al tomar un significado dentro de los procesos o métodos de la tecnología adquieren la característica de información.

Así establecemos que durante la inspección del ducto para la medición de corriente y potenciales se agrupan respectivamente con otras mediciones que se realizan en el mismo punto, a continuación se da una relación con nombres genéricos y posteriormente se les asigna un nombre de variable:

Corriente:

No. Medición	Km sobre DDV	Coord. UTM Latitud	Coord. UTM Longitud	Profundidad del ducto	Valor de corriente	Observaciones
--------------	--------------	--------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	---------------

**No. Medición.-** Un número consecutivo que identifica una medición de corriente, para cada medición se obtiene el valor de:

- **Km sobre DDV.-** Ubicación en distancia tomada desde un punto de inicio.
- **Coordenadas UTM.-** Posición georeferenciada en un plano XY.
- **Profundidad del ducto.-** Distancia medida de la superficie del terreno al punto donde se ubica el ducto enterrado
- **Valor de corriente.-** Valor medido en mA referente a la magnitud de corriente inducida por un campo magnético en el ducto.
- **Observaciones.** Toda aquella notación que se registra en bitácora asociada al ducto en el punto de medición.

Potencial:

No. Medición	Km. DDV	Referencia	Valor del Potencial	Valor del potencial en el punto de contacto PPC	Potencial corregido en ganancia	Es punto de conexión	Observaciones
--------------	---------	------------	---------------------	-------------------------------------------------	---------------------------------	----------------------	---------------

**No. Medición.-** Un número consecutivo que identifica una medición de potencial, para cada medición se obtiene el valor de:

- **Km. DDV.-** Ubicación en distancia tomada desde un punto de inicio.
- **Coordenadas UTM.-** Posición georeferenciada en un plano XY.
- **Referencia.-** Alguna indicación acerca del generador.
- **Valor de potencial.-** Valor medido en mV referente a la magnitud de voltaje presente en el ducto.

- **Valor de potencial en el punto de contacto PPC.-** Valor medido en mV referente a la magnitud de voltaje presente en el ducto vía PPC.
- **Potencial corregido de ganancia.-** Valor medido en mV referente a la magnitud de voltaje presente en el ducto multiplicado por el factor de ganancia del generador.
- **Es punto de conexión.-** Indica si/no en ese punto está conectado el generador.
- **Observaciones.-** Toda aquella notación que se registra en bitácora asociada al ducto en el punto de medición.

### Determinación y clasificación del tipo de información a considerar en SITIEMS.

Se clasifica la información de acuerdo al tipo de variables: administrativas, técnico operativas y de entorno asociada a TIEMS y al ducto para ser consideradas en SITIEMS.

#### Variables de tipo Administrativas.

Zona o activo

Entidad administrativa regional en PEMEX responsable de la custodia del ducto asociado al catálogo de denominación

Origen y destino del ducto

Especifica instalación o lugar desde donde inicia y termina el tendido del ducto o del tramo inspeccionado,

Denominación del ducto

Nombre o información con el cual se identifica al ducto o tramo inspeccionado

Centro de coste (CeCo)

Centro administrativo asociado, denominación de la Entidad administrativa responsable de la gestión y administración del ducto

Operador

Personal responsable de las actividades de la inspección del ducto

Fuente	Etiqueta	Tipo de Datos	Longitud del campo
Catalogo Denominación	Denominación	Texto	55
Catalogo Servicio	Servicio	Texto	20
Catalogo Origen	Origen	Texto	30
Catalogo Destino	Final	Texto	30
Catalogo Centro de Coste	Centro de Coste	Texto	40

#### Variables Técnico Operativas

##### **Tipo de servicio del ducto (información disponible mediante un catálogo).**

Tipo de ducto asociado a la instalación y al producto que transporta.

BOMBEO NEUMÁTICO  
 GASODUCTO  
 GASOLINODUCTO  
 OLEODUCTO  
 OLEOGASODUCTO

**Tipo de Recubrimiento.**

Tipo de protección o recubrimiento externo del ducto.

**Longitud.**

Longitud total del ducto inspeccionado, unidades [m] metros.

**Diámetro Ø.**

Valor del diámetro del ducto inspeccionado

Diámetro interno                    unidades    [plg] pulgada  
 Diámetro externo                    unidades    [plg] pulgada

**Kilometraje sobre Derecho de Vía.**

Distancia identificada desde un punto de referencia como inicio de la sección o tramo de ducto inspeccionado.

KmDDV    unidades    [m] metros

Fuente	Nombre del Campo	Tipo de Datos	Longitud del campo
Usuario	Kilometro	Texto	20

**Punto de conexión (Si/No).**

Indica si la medición registrada de potencial corresponde al potencial entregado por el generador conectado entre el poste de control del SPC y el ducto.

Información descriptiva de donde es realizada la conexión del generador, para medir los voltajes se utilizan medidores desarrollados en el IMP.

**Generador de señales electromagnéticas GPX-1, Transmisor PCM.**

Parámetros asociados rangos de:

Corriente    m [A] miliamperes  
 Voltaje        [V] volts}

Frecuencia:

Rangos de frecuencia    4, 98, 512, 625 Hertzios    [Hz]

Campo eléctrico en zonas específicas del ducto

Medido con un equipo diseñado en el IMP RX100, RX200 y Rem-X1 para medir

Campo eléctrico y potenciales

**Potencial de contacto**    P.C m[V]    milivolts

**Variables de Campo magnético o corriente en ducto.**

Se registra de acuerdo al tipo de receptor utilizado.

TIEMS utiliza un equipo receptor PCM Radiodetection (generador y medidor) con frecuencias 4, 98 y 512 Hz. También es posible utilizar equipo ERA (NPP ERA, Rusia) o RX100, RX200 y Rem-X1 con dos antenas magnéticas (625 Hz). El intervalo de medición a lo largo de ducto es de 25 m (recomendación de Radiodetection) o 10 m.

**Modelos del receptor**

BAZUCA

ERA

PCM

PCM+

**Coordenadas GPS**

Se registra la medición de la posición del ducto, mediante coordenadas UTM (GPSX,GPSY), que se asocian a cada punto de medición en donde se registra: número de medición, la corriente, potencial, distancia (Km DDV) y observaciones del entorno del ducto.

Se marca con balizas la trayectoria del ducto y se realiza la medición de coordenadas con la ayuda de alguno de los equipos:

- Garmin
- Ashtech
- Magellan
- Trimble

**Variables de entorno.**

Se realiza una planificación del tipo de instrumentos de medición más adecuado a utilizar en el levantamiento de información del ducto inspeccionado.

In-Situ (Entorno)

**Resistividad de agua.**

Las mediciones se realizan con un conductivímetro Hanna.

Resistividad de suelo  $\rho_m$  [Ohm.m], obtención del archivo de conductividad en formato BG31.

Se pueden utilizar los equipos Nilson (Soil resistivity meter, Model 400), Syscal R1 (Iris) y Perfilaje Electromagnético EM-31 (Geonics), paso entre mediciones 50 m.



Criterio de agresividad del suelo al ducto de acuerdo al valor Rs

**Resistividad de suelo y agresividad de corrosión.**

Rs Resistividad, Ohm.m	Agresividad de corrosión
>200	No agresivo
100-200	Poco agresivo
50-100	Moderadamente agresivo
30-50	Agresivo
10-30	Muy alta
<10	Extremadamente alta

**Tipo de Suelo**

Característica predominante del tipo de suelo para el tramo de ducto inspeccionado.

Arcilla-Arena  
Arcilla Húmeda  
Arcilla Seca  
Arena Húmeda  
Arena Seca

**Clima**

Tipo de clima predominante en la zona geográfica asociada al tramo de ducto inspeccionado

SOLEADO  
NUBLADO  
MEDIO NUBLADO  
LLUVIOSO

**Fecha**

Fecha asociada al levantamiento de información TIEMS de los tramos del ducto inspeccionado.

**Coordenadas GPS en formato UTM (GPSX, GPSY).**

Son medidas con un GPS en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator, por sus siglas en inglés) utilizadas para relacionar la ubicación geográfica del ducto con su entorno geográfico.

Obtenidas con un equipo de navegación Garmin, Ashtech, Magellan, Trimble.

GPSX- Latitud  
GPSY- Longitud

**Observaciones**

Cualquier información de interés asociada a: las mediciones, ducto, inspección o entorno

**Resumen y asociación de variables así como su dimensionamiento físico.**

En esta sección se realiza un resumen de las variables asociadas a TIEMS y su interrelación, de esta forma se agrupan para crear información adicional y la forma

en que adquieren sentido en conjunto de acuerdo a: las políticas de negocio, uso de usuario y procedimientos de cálculo.

Ahora se organiza y agrupa la información en tablas a las cuales se hará referencia posteriormente, la denominación parámetro es el nombre de la variable que se utiliza en los programas de cómputo.

### Tabla de Corrientes

Parámetro	Unidades	Descripción
No. Med	-	Número de medición
Km. DDV	[m] metros	Kilometraje sobre el derecho de vía
GPS X	UTM	Coordenada UTM Latitud
GPS Y	UTM	Coordenada UTM Longitud
Prof. [m]	[m]	Profundidad del ducto
J [mA]	m[A] miliamperes	Valor de corriente medida
Observaciones	--	Información asociada al punto de medición

Ahora se especifica el tipo de dato para cada campo de la tabla de corrientes.

Fuente	Nombre del Campo	Tipo de Datos	Longitud del campo
USUARIO	No. Med	Numérico entero	Sistema
USUARIO	Km. DDV	Numérico	"
USUARIO	GPS X	Numérico	"
USUARIO	GPS Y	Numérico	"
USUARIO	Prof. [m]	Numérico	"
USUARIO	J [mA]	Numérico	"
USUARIO	Observaciones	Texto	60 Caracteres

### Tabla de Potenciales

Parámetro	Unidades	Descripción
No. Med	-	Número de medición
Km. DDVU	[m] metros	Kilometraje sobre el derecho de vía
Referencia	-	Información asociada al potencial medido
Potencial [mV]	m[V] milivolts	Potencial medido asociado al número de medición
Contacto [mV]	m[V] milivolts	Potencial medido en el punto de contacto sobre el ducto del generador
Gan.	-	Ganancia. Valor de ganancia seleccionado en el generador cuya señal es aplicada al ducto
Pot. CG	m[V] milivolts	Potencial Corregido en ganancia. Potencial que se registra normalizado por el valor de ganancia que se selecciona en el generador
P.C		Indica si es o no un Punto de conexión del generador con el ducto
Observaciones	--	Información asociada al punto de medición

Ahora se especifica el tipo de dato para cada campo de la tabla de potenciales.

Fuente	Nombre del Campo	Tipo de Datos	Longitud del campo
USUARIO	No. Med	Numérico entero	Sistema
USUARIO	Km. DDVU	Numérico	"
USUARIO	Pot. [mV]	Numérico	"
USUARIO	Contacto [mV]	Numérico	"
USUARIO	Gan.	Numérico	"
USUARIO	Pot. CG	Numérico	"
USUARIO	Observaciones	Texto	60 Caracteres

### Tabla de parámetros técnico administrativos

Información complementaria de variables técnico administrativas asociadas a las mediciones de corriente y potenciales, útiles para una plena identificación del ducto

Parámetro	Unidades	Descripción
Denominación	-	Identificación del ducto
Fecha	dd/mm/aaaa	Fecha de inspección
Servicio	-	Tipo de servicio del ducto
Longitud]	m	Potencial medido asociado al número de medición
Diámetro	plg	Potencial medido en el punto de contacto sobre el ducto
CeCo	--	Centro de coste
Origen	--	Lugar de inicio de tendido de ducto
Destino	--	Lugar de termino de tendido de ducto
Campo	--	Región en donde se ubica el ducto
Generador A		Corriente que suministra el generador
Generador V		Voltaje que suministra el generador
Frec_op		Frecuencia de operación del generador
Punta_conex		Información acerca de la conexión del generador
Tipo_Recubre		Tipo de recubrimiento del ducto
Mod_receptor		Modelo del receptor de campo electromagnético
Tipo_suelo		Tipo de suelo donde se ubica el ducto
Clima		Clima predominante en donde se ubica el ducto
Operador		Especialista responsable de las operaciones de inspección

El nombre de las variables y de la forma en que aparecerían en las interfaces se seleccionó mediante un consenso de los diversos actores del sistema, de modo que fueran comprensibles y familiares para todos de acuerdo al contexto.

***Sistema Integral de Tecnología de Inspección***

***Electromagnética Superficial***

**SITIEMS**

***Manual de Operación***

## INTRODUCCIÓN

El presente documento indica al usuario la forma de operar el **SITIEMS** (Sistema Integral de Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial), utilizado como herramienta de procesamiento de información de la **TIEMS** (Tecnología de Inspección Electromagnética Superficial), para la determinación del estado del recubrimiento de ductos. **SITIEMS** es una herramienta que optimiza los tiempos de procesamiento y generación de resultados para una mejor toma de decisiones.

Este manual de operación presenta el siguiente contenido:

1. ACCESO AL SISTEMA
2. MENÚ PRINCIPAL
3. NUEVO LEVANTAMIENTO
4. VISUALIZAR INFORMACIÓN
5. GRÁFICAS Y SELECCIÓN DE DATOS
6. PROCESAMIENTO
7. REPORTE
8. MANTENIMIENTO A LA BASE DE DATOS
9. SALIDA DEL SISTEMA

**ACCESO AL SISTEMA** se muestran las diferentes formas de cómo se ingresa al sistema **SITIEMS**

**MENÚ PRINCIPAL** se presentan las diferentes opciones del sistema **SITIEMS** para el manejo y procesamiento de información.

**NUEVO LEVANTAMIENTO** se presenta la opción de generar una nueva base de datos para el ingreso de información asociada a un levantamiento específico.

**VISUALIZAR INFORMACIÓN** se presenta una interface en donde el usuario puede; ingresar, editar o eliminar información referente variables propias del levantamiento e inspección como son; corrientes y potenciales del ducto en cuestión asociado a un kilometraje.

**GRÁFICAS Y SELECCIÓN DE DATOS** se presentan las interfaces gráficas en donde el usuario pueda interrelacionar gráficamente con la información y así generar los archivos de segmentación utilizados en el procesamiento de información, también puede observar en forma gráfica la distribución y posicionamiento de los datos de; corrientes, potenciales y profundidad.

**PROCESAMIENTO** se muestran en las interfaces la información a ser procesada por los modelos de cálculo, así como los resultados del procesamiento. También se presenta la capacidad de generar archivos de resultados en diferentes formatos.

REPORTES se muestra la interface para generar los reportes de resultados del procesamiento asociados a las variables de corrientes, potenciales, potenciales reconstruidos y valores de la resistencia del recubrimiento.

MANTENIMIENTO A LA BASE DE DATOS se muestra la forma en que podemos alimentar a la Base de Datos con nueva información para los diferentes catálogos referente a la sección de encabezado del levantamiento o bien cuando el caso así lo requiera modificando la ya existente.

SITIEMS maneja una estructura de subdirectorios donde se alojan los diferentes archivos generados en la aplicación, esta estructura de directorios debe ser creada en el subdirectorio SITIEMS ver figura C.1.

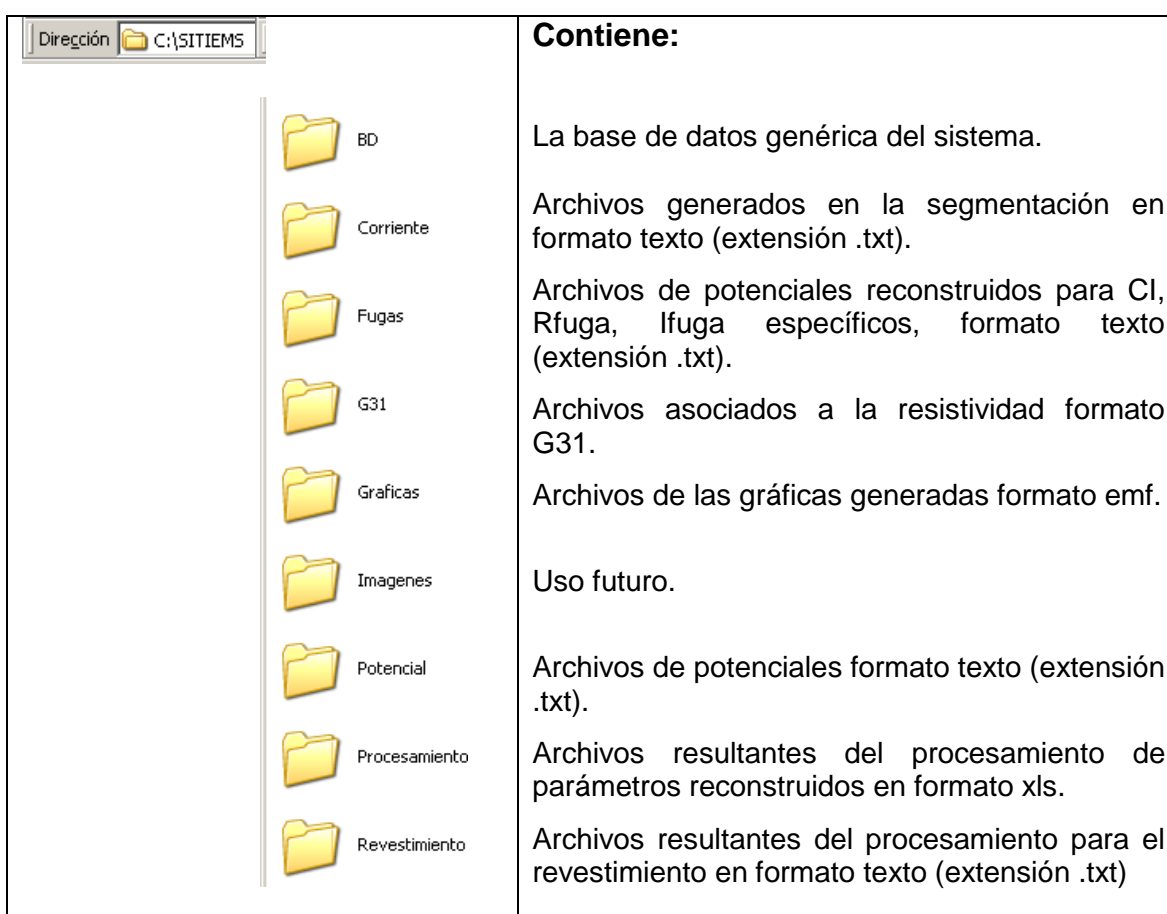


Figura C.1.

SITIEMS genera una gran cantidad de archivos como herramientas de ayuda al usuario especialista en el procesamiento de información, por lo anterior SITIEMS maneja una nomenclatura particular para los archivos asociados a cada subdirectorio.

La nomenclatura de los archivos se realiza de forma automática tomando como base el nombre del archivo de la base de datos.

## 1. ACCESO AL SISTEMA

Cuando SITIEMS se ha instalado satisfactoriamente se accede al sistema de la siguiente forma:

### Desde el menú de inicio

Desde el escritorio de Windows pulse sobre el icono de acceso directo, figura C.2.

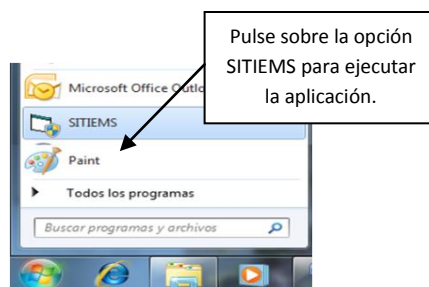


Figura C.2.

Esta acción presenta el menú principal

## 2. MENÚ PRINCIPAL

El sistema SITIEMS presenta la pantalla Menú Principal (Figura C.3.), en donde se muestran las diferentes actividades que podemos realizar. SITIEMS opera bajo una filosofía orientada a eventos en la cual no es necesario seguir un orden predeterminado para realizar alguna operación. Cuando se dan las condiciones de requerir información previa para alguna operación, el sistema lo indicará habilitando o no alguna interface o indicará lo que sea necesario para continuar alguna actividad.

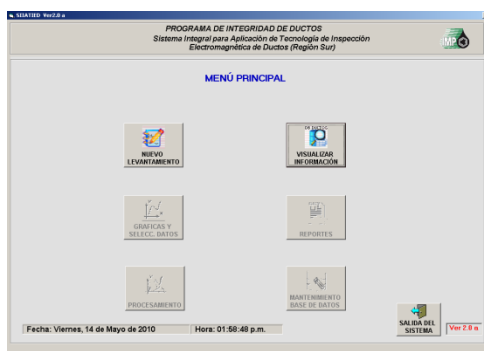


Figura Menú principal C.3.



La pantalla del **MENÚ PRINCIPAL** presenta las opciones del sistema mediante la activación de alguno de los 7 botones asociados a un icono que refleja la intención de su función.

**3. NUEVO LEVANTAMIENTO**


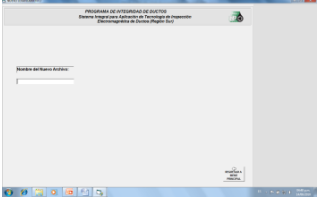

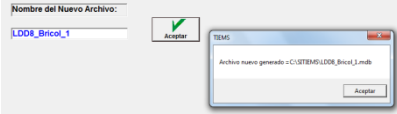
	Accede a un módulo que permite la creación de una nueva BD para almacenar la información de un nuevo levantamiento, figura C.4a.	
		
<p>Figura C.4a.</p>	<p>Figura C.4b.</p>	<p>Figura C.4c.</p>

Figura C.4.

Se ingresa un nombre de nuevo archivo para la base de datos figura C.4b, si el archivo no existe automáticamente el sistema le asignara la extensión **.mdb**. Ver figura C.4c. Si el nombre de archivo no es válido o ya existe, el sistema lo indica.

**4. VISUALIZAR INFORMACIÓN**



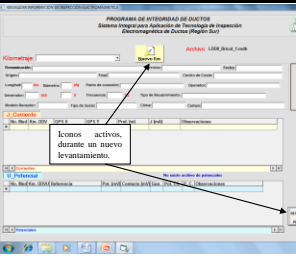
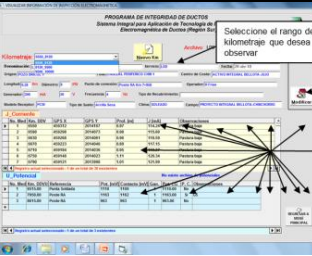
	Acceso a un módulo donde se muestra la información asociada a un levantamiento. En esta interface la información puede editarse para ser complementada.	
		
<p>Figura C.5a.</p>	<p>Figura C.5b.</p>	<p>Figura C.5c.</p>

Figura C.5.

Toda la información de inspección se asocia a un kilometraje figura C.5a., cuando se está introduciendo el **kilometraje** SITIEMS verifica su existencia en la base de datos, si no lo encuentra se considera como nuevo, entonces los campos para las secciones de encabezado, corrientes y potenciales estarán vacíos (figura C.5b). En este momento se puede ingresar la información en la sección específica.

Cuando se selecciona un rango de kilometraje ya existente, los datos capturados son mostrados automáticamente en las diferentes interfaces de entrada figura C.5c.

5. GRÁFICAS Y SELECCIÓN DE DATOS



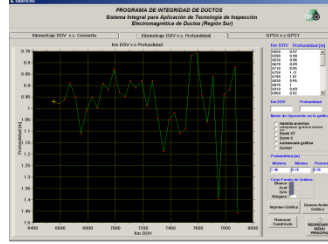
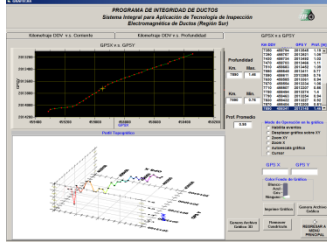
 <p>GRÁFICAS Y SELECC. DATOS</p>	<p>Acceso a un módulo en la que el usuario puede interrelacionar con tres interfaces gráficas en donde puede generar la información en forma gráfica para generar los archivos de procesamiento, como el de segmentación en modo texto y gráfico, figura C.6.</p>		
			
<p>Figura C.6a. Kilometro DDV vs. Corriente</p>	<p>Figura C.6b. Kilometraje DDV vs. Profundidad</p>	<p>Figura C.6c. GPSX vs. GPSY</p>	

Figura C.6.

En la gráfica de Kilometro DDV vs. Corriente figura C.6a. se muestran las variables de corriente asociados a su kilometraje, en esta interfaz utilizando la sección de controles (habilita eventos, desplazar gráfica sobre X, zoom X, zoom XY, auto escala) se realiza el proceso de segmentación en donde el usuario elige segmentos de recta que representan secciones del ducto con características uniformes, debe cuidarse que los valores de corriente estén poco dispersos alrededor de dicha recta.

En esta interfaz se genera el archivo gráfico y el archivo de segmentación que es utilizado en el módulo de procesamiento.

**Generación del archivo de segmentación**

Selecciones la interfaz de Kilometraje DDV vs. Corriente, de la sección de controles de la gráfica seleccione el modo de cursores. Posicionarse sobre la gráfica y moverse sobre la misma punto a punto y seleccionar el valor de corriente, deje el cursor sobre el punto de interés, accionar el botón de aceptar **Aceptar [X, Y]** para ingresar el valor seleccionado, realizar este procedimiento para los puntos que conformen los segmentos, si un valor del segmento no es el adecuado, selecciónelo y bórralo con la opción borrar selección **Borrar Selección** si desea borrar todos los puntos seleccionados acciones el botón borrar lista **Borrar Lista** y reinicie el proceso. Una vez determinados los segmentos, genere el archivo de segmentación accionando el botón **Genera Archivo**.

Los archivos generados se almacenan en los directorios predeterminados.

6. PROCESAMIENTO


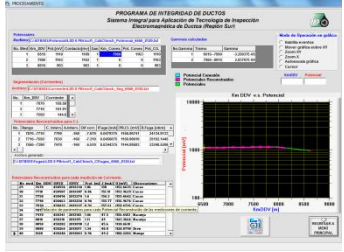
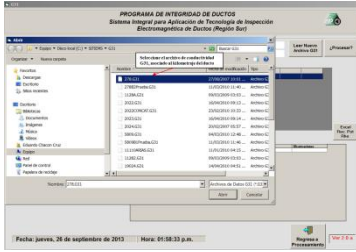


	<p>Acceso a un módulo que muestra los resultados de la fase de procesamiento el cual se realiza de forma automática aplicando los modelos de cálculo sobre los datos que ha acondicionado el especialista vía los archivos de segmentación y de potencial.</p>	
		
<p>Figura C.7a. Resultados parciales del procesamiento</p>	<p>Figura C.7b. Selección de archivo de conductividad</p>	<p>Figura C.7c. Resultados en esquema de semáforo</p>


Figura C.7.

La interfaz de procesamiento presenta un compendio de la información utilizada en los modelos de cálculo así como los resultados intermedios obtenidos automáticamente figura C.7a., presenta además:

- a) La distribución gráfica de los potenciales de cálculo.
- b) Valores de Gammas calculadas.
- c) Potenciales reconstruidos para los Centros de Intervalo (CI).
- d) Valores y distribución gráfica de los potenciales reconstruidos para cada dato del archivo de corrientes.
- e) Potenciales reconstruidos para los Centros de Intervalo (CI).
- f) Valores y distribución gráfica de los potenciales reconstruidos para cada dato del archivo de corrientes

Para continuar con el procesamiento se debe asociar un archivo G31 de conductividad al kilometraje de estudio. Para asociar los datos de conductividad

dé clic en el icono  con lo cual se muestra la interface G31 ver figura C.7b. Se muestra el archivo de conductividad el cual es tratado para asociar la resistividad del suelo en el kilometraje específico con los datos de cálculo del modelo suelo-ducto.

Finalmente se acciona el icono  para la obtención de los resultados finales del procesamiento (resistencia del recubrimiento) en un esquema de semáforo, figura C.8a.

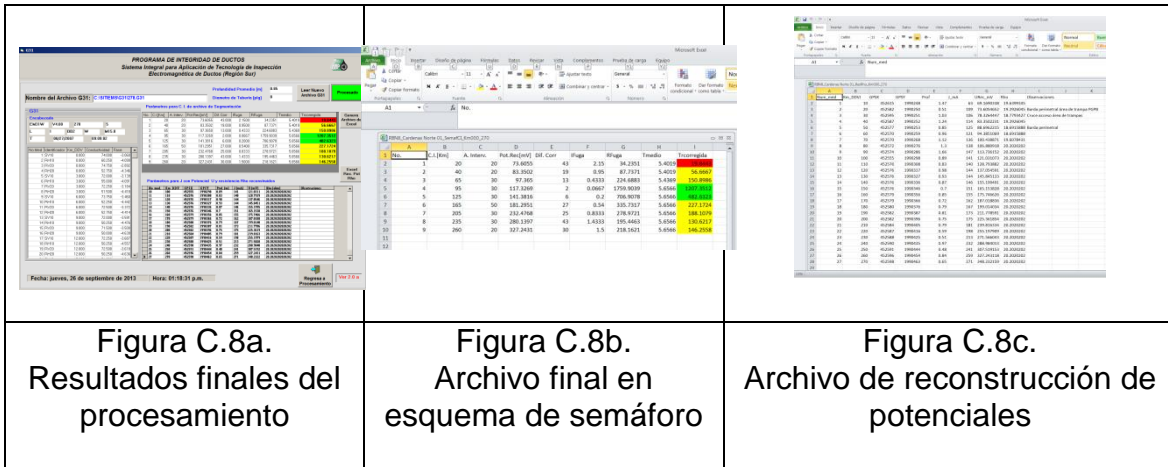




Figura C.8a.  
Resultados finales del procesamiento

Figura C.8b.  
Archivo final en esquema de semáforo

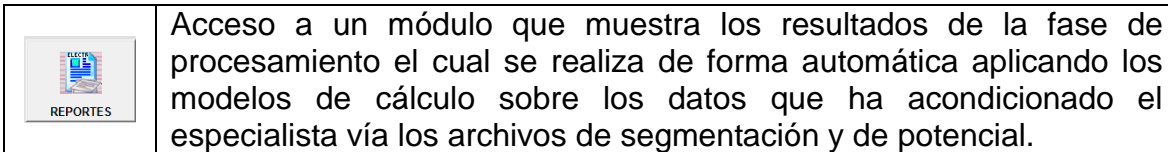
Figura C.8c.  
Archivo de reconstrucción de potenciales

Figura C.8.

Al accionar el icono  se genera el archivo de Excel para ser considerado en la toma de decisiones, figura C.8b.

Al accionar el botón  se genera el archivo de reconstrucción de potenciales de los datos de inspección asociados a la corriente, ver figura C.8c.

7. REPORTES



Acceso a un módulo que muestra los resultados de la fase de procesamiento el cual se realiza de forma automática aplicando los modelos de cálculo sobre los datos que ha acondicionado el especialista vía los archivos de segmentación y de potencial.

Al accionar el icono de reportes, se presenta una interfaz que muestra los tipos de reporte a generar ver figura C.9a.

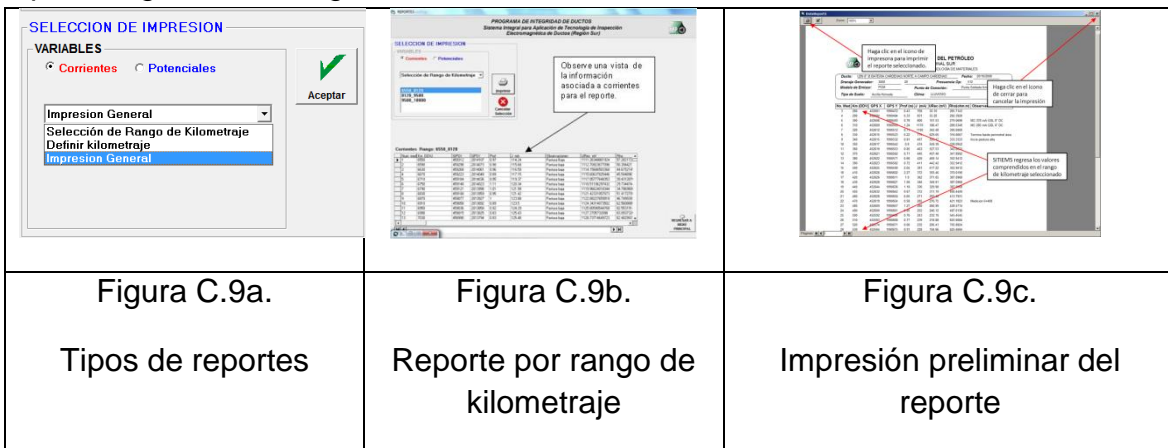


Figura C.9a.  
Tipos de reportes

Figura C.9b.  
Reporte por rango de kilometraje

Figura C.9c.  
Impresión preliminar del reporte

Figura C.9.

El usuario elige el tipo de reporte, seleccionando el rango de kilometraje, definir el rango de kilometraje inicial y final y la impresión general.

La figura C.9b muestra un reporte generado al seleccionar un rango de kilometraje y la figura C.9c., muestra una impresión preliminar del reporte.

De acuerdo a la selección el reporte se genera automáticamente y se presenta una vista preliminar de impresión, el usuario puede cancelar o realizar la impresión del reporte.

**8. MANTENIMIENTO A LA BASE DE DATOS**



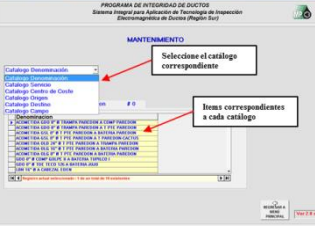
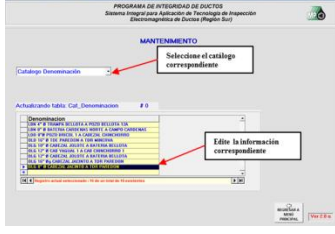

 <p>MANTENIMIENTO BASE DE DATOS</p>	<p>Acceso a un módulo, en donde se puede ingresar información mediante catálogos a la BD, de parámetros asociados a la sección de encabezado de los datos de inspección, ya sean nuevos o modificar los ya ingresados, ver figura C.10a.</p>		
			
<p>Figura C.10a. Catálogos de SITIEMS</p>	<p>Figura C.10b. Selección de catálogo</p>	<p>Figura C.10c. Edición de la información</p>	

Figura C.10.

Seleccione el catálogo correspondiente figura C.10b.

Edite (Crear, modificar, borrar) la información del catálogo seleccionado, figura C.10c., una vez actualizado el catálogo, se puede disponer de la información desde la interfaz de visualizar información mediante la acción de modificar.

**9. SALIDA DEL SISTEMA**

 <p>SALIDA DEL SISTEMA</p>	<p>Permite salir del sistema SITIEMS cerrando todas las ventanas actualizando las últimas modificaciones en la información.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

La opción de salida del sistema se realiza desde el menú principal y se considera la terminación de la sesión de trabajo.

