



Uptc[®]

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

**“DETERMINACIÓN DEL IMPACTO OPERATIVO Y ECONÓMICO POR
PÉRDIDA DE CONTENCIÓN EN EL SISTEMA CONTRAINCENDIOS DE
AGUA EN UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE
CRUDO”**



**MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GESTIÓN DE LA INTEGRIDAD Y CORROSIÓN**

PRESENTA:

ING. LUIS CARLOS QUINTERO SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

TUNJA

2022



Escuela de Posgrados
facultad de ingeniería

**“DETERMINACIÓN DEL IMPACTO OPERATIVO Y ECONÓMICO POR
PÉRDIDA DE CONTENCIÓN EN EL SISTEMA CONTRAINCENDIOS DE
AGUA EN UNA ESTACIÓN DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE
CRUDO”**

LUIS CARLOS QUINTERO SÁNCHEZ

MONOGRAFÍA

Ing. PhD. JOSÉ ANÍBAL SERNA GIL

Docente Tutor Trabajo Dirigido

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE POSGRADOS

TUNJA

2022

Nota de Aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja 23 de junio de 2022

“La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería, reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado”.

DEDICATORIA

A Dios, quien ha permitido el don de la vida y con ella un sinnúmero de bendiciones, logros, éxitos y salud para llegar a estas instancias.

A mi familia, pilar fundamental para el desarrollo y obtención de estos logros, gracias por los consejos, las oraciones y el ejemplo de dedicación y esfuerzo.

A mi hijo, por llegar a mi vida para ser fuente de motivación y a quién en adelante dedicaré cada esfuerzo y cada logro a lo largo de este trasegar de la existencia.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por ser institución de enseñanza y la cual una vez más abre sus puertas para seguir avanzando y escalando en la vida profesional.

Al Ingeniero José Aníbal Serna, quien se ha tomado el tiempo y ha mostrado su interés en el desarrollo de este trabajo, así como la aplicación de su conocimiento y experiencia en la industria.

A cada uno de los tutores de las materias cursadas a lo largo de esta especialización, quienes conjuntamente dedican su tiempo y esfuerzo para brindar una educación integral.

A la empresa Ademincol S.A. por permitir el desarrollo profesional de este servidor, además de brindarme las herramientas necesarias para la ejecución de este proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4. MARCO TEÓRICO	21
4.1 Concepto de peligro frente a riesgo	21
4.2 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	21
4.3 Frecuencia de incendios	22
4.4 Sistemas contra incendios de agua	23
4.5 Inspección PCM.....	23
5. MARCO METODOLÓGICO	27
5.1 Funcionamiento del sistema SCI.....	27
5.2 Equipos Evaluados	28
5.3 Levantamiento de información	29
5.4 Segmentación.....	29
6. RESULTADOS.....	63
6.1 AFECTACIÓN OPERATIVA Y ECONÓMICA DE LA ESTACIÓN.....	64
7. CONCLUSIONES	66
8. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de priorización de indicaciones mediante PCM	26
Tabla 2. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 3-1 SCI	32
Tabla 3. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 3-2 SCI	33
Tabla 4. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 7 SCI	34
Tabla 5. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 11 SCI	35
Tabla 6. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 14-1 SCI	36
Tabla 7. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 14-2 SCI	37
Tabla 8. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 16 SCI	38
Tabla 9. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 19 SCI	39
Tabla 10. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 23 SCI	40
Tabla 11. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 26 SCI	41
Tabla 12. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 29 SCI	43
Tabla 13. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 32 SCI	44
Tabla 14. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 35 SCI	45
Tabla 15. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 39 SCI	45
Tabla 16. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 46 SCI	46
Tabla 17. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-1 SCI	47
Tabla 18. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-2 SCI	48
Tabla 19. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-3 SCI	49
Tabla 20. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 51 SCI	50
Tabla 21. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-1 SCI	51
Tabla 22. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-2 SCI	52
Tabla 23. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-3 SCI	53
Tabla 24. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 56-1 SCI	54
Tabla 25. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 56-2 SCI	56
Tabla 26. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 59 SCI	56
Tabla 27. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 65 SCI	57
Tabla 28. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 67-1 SCI	59
Tabla 29. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 67-2 SCI	61
Tabla 30. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 69 SCI	62
Tabla 31. Referencia estimada de pérdidas económicas por interrupción en operación del sistema de despacho de la Estación.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo PCM (Pipeline Current Mapper) – Marco A, transmisor y receptor	24
Figura 2. Lecturas en el receptor ACVG	24
Figura 3. Inspección ACVG con marco A.....	25
Figura 4. Visualización de indicación ACVG en pantalla.....	25
Figura 5. Método de localización de indicaciones mediante ACVG	26
Figura 6. Conexiones del transmisor.....	30
Figura 7. Descripción de recorrido tubería enterrada.....	31
Figura 8. Descripción de método de inspección y nivel de señal.....	31
Figura 9. Recorrido segmento 3-1.....	32
Figura 10. Inspección ACVG segmento 3-1	32
Figura 11. Recorrido segmento 3-2.....	33
Figura 12. Inspección ACVG segmento 3-2.....	33
Figura 13. Inspección PCM segmento 7	34
Figura 14. Inspección ACVG segmento 7	34
Figura 15. Inspección PCM segmento 11	35
Figura 16. Inspección ACVG segmento 11	35
Figura 17. Recorrido segmento 14-1.....	36
Figura 18. Inspección ACVG segmento 14-1	36
Figura 19. Recorrido segmento 14-2.....	37
Figura 20. Inspección ACVG segmento 14-2.....	37
Figura 21. Recorrido segmento 16.....	38
Figura 22. Inspección ACVG segmento 16	38
Figura 23. Recorrido segmento 19.....	39
Figura 24. Inspección ACVG segmento 19	39
Figura 25. Recorrido segmento 23.....	40
Figura 26. Inspección ACVG segmento 23	40
Figura 27. Recorrido segmento 26.....	41
Figura 28. Inspección ACVG segmento 26	41
Figura 29. Recorrido segmento 29.....	42
Figura 30. Inspección ACVG segmento 29	42
Figura 31. Recorrido segmento 32.....	43
Figura 32. Inspección ACVG segmento 32	43

Figura 33. Recorrido segmento 35.....	44
Figura 34. Inspección ACVG segmento 35.....	44
Figura 35. Recorrido segmento 39.....	45
Figura 36. Inspección ACVG segmento 39.....	45
Figura 37. Recorrido segmento 46.....	46
Figura 38. Inspección ACVG segmento 46.....	46
Figura 39. Recorrido segmento 48-1.....	47
Figura 40. Inspección ACVG segmento 48-1.....	47
Figura 41. Recorrido segmento 48-2.....	48
Figura 42. Inspección ACVG segmento 48-2.....	48
Figura 43. Recorrido segmento 48-3.....	49
Figura 44. Inspección ACVG segmento 48-3.....	49
Figura 45. Recorrido segmento 51.....	50
Figura 46. Inspección ACVG segmento 51.....	50
Figura 47. Recorrido segmento 53-1.....	51
Figura 48. Inspección ACVG segmento 53-1.....	51
Figura 49. Recorrido segmento 53-2.....	52
Figura 50. Inspección ACVG segmento 53-2.....	52
Figura 51. Recorrido segmento 53-3.....	53
Figura 52. Inspección ACVG segmento 53-3.....	53
Figura 53. Recorrido segmento 56-1.....	54
Figura 54. Inspección ACVG segmento 56-1.....	54
Figura 55. Recorrido segmento 56-2.....	55
Figura 56. Inspección ACVG segmento 56-2.....	55
Figura 57. Recorrido segmento 59.....	56
Figura 58. Inspección ACVG segmento 59.....	56
Figura 59. Recorrido segmento 65.....	57
Figura 60. Inspección ACVG segmento 65.....	57
Figura 61. Recorrido segmento 67-1.....	59
Figura 62. Inspección ACVG segmento 67-1.....	59
Figura 63. Recorrido segmento 67-2.....	60
Figura 64. Inspección ACVG segmento 67-2.....	60
Figura 65. Recorrido segmento 69.....	61
Figura 66. Inspección ACVG segmento 69.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Inspección PCM/ACVG segmento 3-1	32
Gráfico 2. Inspección PCM/ACVG segmento 3-2	33
Gráfico 3. Inspección PCM/ACVG segmento 7.....	34
Gráfico 4. Inspección PCM/ACVG segmento 11.....	35
Gráfico 5. Inspección PCM/ACVG segmento 14-1	36
Gráfico 6. Inspección PCM/ACVG segmento 14-2	37
Gráfico 7. Inspección PCM/ACVG segmento 16.....	38
Gráfico 8. Inspección PCM/ACVG segmento 19.....	39
Gráfico 9. Inspección PCM/ACVG segmento 23*	40
Gráfico 10. Inspección PCM/ACVG segmento 26*	41
Gráfico 11. Inspección PCM/ACVG segmento 29*	42
Gráfico 12. Inspección PCM/ACVG segmento 32*	43
Gráfico 13. Inspección PCM/ACVG segmento 35.....	44
Gráfico 14. Inspección PCM/ACVG segmento 39.....	45
Gráfico 15. Inspección PCM/ACVG segmento 46.....	46
Gráfico 16. Inspección PCM/ACVG segmento 48-1	47
Gráfico 17. Inspección PCM/ACVG segmento 48-2	48
Gráfico 18. Inspección PCM/ACVG segmento 48-3	49
Gráfico 19. Inspección PCM/ACVG segmento 51.....	50
Gráfico 20. Inspección PCM/ACVG segmento 53-1	51
Gráfico 21. Inspección PCM/ACVG segmento 53-2	52
Gráfico 22. Inspección PCM/ACVG segmento 53-3	53
Gráfico 23. Inspección PCM/ACVG segmento 56-1	54
Gráfico 24. Inspección PCM/ACVG segmento 56-2	55
Gráfico 25. Inspección PCM/ACVG segmento 59.....	56
Gráfico 26. Inspección PCM/ACVG segmento 65.....	57
Gráfico 27. Inspección PCM/ACVG segmento 67-1	59
Gráfico 28. Inspección PCM/ACVG segmento 67-2	60
Gráfico 29. Inspección PCM/ACVG segmento 69.....	61
Gráfico 30. Distribución de anomalías PCM/ACVG por prioridad	63
Gráfico 31. Distribución de anomalías PCM/ACVG por segmentos.....	64

GLOSARIO

ACVG: Ensayo de gradiente de voltaje de corriente alterna, usado para la localización de defectos del revestimiento y caracterización de las actividades de corrosión, mediante la medición del cambio en la corriente de fuga del suelo a lo largo y alrededor de una tubería.

Anomalía: Cualquier daño mecánico, defecto o condiciones externas que puedan poner o no en riesgo la integridad del ducto.

Corrosión: Degradación o deterioro de un material por efecto del electrolito o medio en que se encuentra, los metálicos como el acero sufren una reacción electroquímica debido a la interacción con el medio.

Corrosión generalizada: Es una corrosión de tipo uniforme que presenta una pérdida de metal distribuida en toda o una parte de la superficie interna o externa de la tubería.

Corrosión localizada: Es una corrosión aislada en una superficie interna o externa del metal que podría en corto tiempo perforarla, puede presentarse con diversas dimensiones.

Daño mecánico: Es aquel producido por un agente externo, ya sea por impacto, rayadura o presión y puede estar dentro o fuera de norma.

DCVG: Técnica empleada para la ubicación de defectos en ductos enterrados y para determinar su grado de severidad, esto se consigue midiendo el gradiente de potencial en el suelo mediante dos electrodos de referencia.

Defecto: Discontinuidad de magnitud suficiente para ser rechazada por las normas o especificaciones.

Ducto enterrado: Es aquel ducto terrestre que está alojado bajo la superficie del suelo.

Holiday: Una discontinuidad (agujero) en el recubrimiento, el cual expone la superficie desprotegida al ambiente (electrolito).

Indicación: La respuesta o evidencia que se obtiene tras la realización de un ensayo no destructivo y debe ser interpretada para determinar si es relevante, no relevante o falsa.

Inspección indirecta: Equipos y prácticas utilizados para realizar mediciones en la superficie del suelo por encima o cerca de una tubería para localizar o caracterizar la actividad de corrosión, los fallos de revestimiento u otras anomalías.

PCM: El sistema PCM es una técnica que puede emplearse bajo cualquier condición climática y característica del suelo, es usada para detectar y ubicar daños en el recubrimiento; puede ser una opción rápida y fiable para una investigación inicial sobre el estado del recubrimiento en un sistema de tuberías.

Picadura: Corrosión localizada confinada a un punto o un área pequeña, la cual tiene forma de cavidad y que en corto plazo puede traspasar el espesor del material afectado.

Protección catódica: Método electroquímico de prevención para proteger ductos enterrados y/o sumergidos de 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 de alguna fuente propia del sistema.

Segmento de tubería: Porción de una tubería que se evalúa (se va a evaluar) con técnicas de prospección sobre el terreno.

Velocidad de corrosión: Es la pérdida de material metálico por unidad de tiempo, expresada en mm/año (pulg/año).

RESUMEN

Las plantas y estaciones de almacenamiento y bombeo de crudo hacen parte fundamental de la infraestructura de una de las principales fuentes de desarrollo económico del país (hidrocarburos), por esto la importancia de mantener un aseguramiento de las instalaciones para mitigar o eliminar los agentes internos o externos que pudieran generar algún tipo de evento que se considere una amenaza para la integridad de los activos de una estación.

En el desarrollo de este proyecto se va hacer énfasis en los sistemas contra incendios (SCI) de agua, que son fundamentales en la prevención y mitigación de eventos tan catastróficos como los incendios en plantas de almacenamiento y bombeo de hidrocarburos, con el fin de determinar y evaluar el impacto y/o afectación operativa y económica, partiendo del supuesto que este sistema presente una pérdida de contención por presencia de mecanismos de daño como la corrosión externa.

Finalmente se pretende establecer una estrategia de inspección, mantenimiento y reparaciones necesarias para el restablecimiento de la integridad mecánica del sistema contra incendios.

Palabras clave: Hidrocarburos, sistemas contra incendios (SCI), corrosión, integridad de activos.

INTRODUCCIÓN

La industria del petróleo en Colombia, desde sus inicios ha sido un sector en el cual se presentan riesgos relacionados con la ocurrencia de incendios, debido a la naturaleza de los productos que allí se gestionan. Es el caso de las estaciones de almacenamiento y bombeo de crudo, las cuales cuentan con sistemas contra incendio que son diseñados e implementados para que funcionen de manera segura y eficaz, sin embargo, los riesgos de incendio aún persisten. Usualmente cuando ocurre un incidente que involucra incendios en esta industria las afectaciones son considerables, si se evalúan desde el punto de vista ambiental, económico, y para la integridad humana.

Por lo general, el diseño de un sistema contra incendios consta de una reserva de agua (tanques de almacenamiento, bocatomas), un sistema de bombeo principal, un sistema de presurización del agua y una red de tuberías de diferentes diámetros y longitudes que permiten la circulación de agua y proporcionan una protección ante un eventual incendio en equipos estáticos como lo son los tanques de almacenamiento de crudo o combustibles, además de redes de hidrantes ubicados cerca a los objetos de riesgo (recipientes a presión, sistemas de tubería, motores, bombas, etc.)

Estos sistemas en su mayoría se instalan como redes enterradas a lo largo de una estación; es por esto que la principal causa de degradación o mecanismos de daño presentes en estas tuberías se debe principalmente a la presencia de corrosión externa, provocada por agentes como la humedad, características del suelo, recubrimientos utilizados, sistemas de protección catódica deficientes, entre otros. Además, que estos sistemas al no estar en constante servicio, se pueden considerar como piernas muertas, presentándose también mecanismos de daño internos como corrosión por bacterias.

Una forma de realizar un monitoreo y control sobre estas tuberías de proceso es mediante el uso de técnicas de inspección indirecta para determinar el estado de los recubrimientos en tubería enterrada, tal como lo es el PCM (*Pipeline Current*

Mapping), y ACVG (*Alternating Current Voltage Gradient*), técnicas que resultan útiles al momento de poder establecer fugas de corriente durante la puesta en funcionamiento de los sistemas de protección catódica, detección de discontinuidades en los recubrimientos y la medición de la atenuación de las señales de corriente, permitiendo la identificación y la clasificación de las discontinuidades en el revestimiento de estructuras enterradas, e identificar cortocircuitos causados por contacto con otras estructuras.

Para el desarrollo de esta monografía se pretende trabajar sobre un caso estudio para la determinación del impacto operativo y económico por pérdida de contención de una línea de distribución de agua contra incendio en una estación de almacenamiento y bombeo de crudo debido a problemas de corrosión externa en tubería enterrada.

Se lleva a cabo el trabajo realizando recolección de información en campo, mediante el uso de técnicas de inspección indirecta para la localización de tubería y determinación de zonas donde se evidencia daños del recubrimiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La corrosión externa es una de las principales razones de daño en tuberías enterradas, bien sea por acción de las características del suelo, la humedad, la aplicación de un esquema de recubrimiento deficiente, sistemas incorrectos de protección catódica, entre otros. Por esta razón es difícil hacer una evaluación directa del estado de corrosión y es necesario el uso de técnicas de evaluación indirectas para determinar niveles de criticidad, para prever y atender posibles daños significativos que puedan generar pérdidas de contención en sistemas contra incendios y con ello provocar interrupciones de la operación innecesarias en plantas de almacenamiento y bombeo de crudo.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo una pérdida de contención en un sistema contra incendio de agua puede afectar la parte operativa y financiera de una estación de almacenamiento y bombeo de crudo?

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La generación de corrosión externa en redes de tubería enterrada es una condición que afecta de manera significativa la integridad de estos sistemas, la principal razón es la de no poder realizar una medición directa de esta condición, agregando problemas como falta de análisis de los suelos, aplicación de sistemas de recubrimientos que no cumplen con los requisitos mínimos para la inmersión en estos ambientes, problemas en los sistemas de protección catódica, entre otros.

Combatir este problema representa una oportunidad para implementar una ingeniería apropiada en el diseño, desde el punto de vista de seguridad de procesos, donde se incluyan todos los análisis requeridos para asegurar una integridad a largo

plazo, evitando pausas en la operación o una protección inadecuada de los equipos de riesgo dentro de la estación.

Igualmente, si no se establece una línea base durante su montaje y la implementación de planes de inspección periódicos en estos sistemas enterrados, es imposible determinar el comportamiento de posibles indicaciones o hallazgos a través del tiempo ya que no se tendría un control y monitoreo, generando incertidumbre de la integridad del sistema, resultando, en el peor de los casos, en pérdidas de contención inesperadas o fallas súbitas en los sistemas de protección contra incendios, generando un impacto significativo en la operatividad y economía de la estación.

2. JUSTIFICACIÓN

Realizar un diseño adecuado de los sistemas contra incendios para su implementación en plantas de almacenamiento y bombeo de hidrocarburos es importante para asegurar una protección contra incidentes que involucren incendios en los equipos dentro de la misma.

Dentro de este diseño es muy importante tener en cuenta las variables más significativas para la instalación de redes de tubería enterradas para evitar problemas de corrosión externa a lo largo del tiempo, acompañado de un plan de inspección adecuado para atender a tiempo las posibles complicaciones que se puedan generar en estas redes enterradas.

En el siguiente trabajo se propone abordar un caso de estudio sobre problemas de corrosión externa a partir de los hallazgos reportados por una inspección mediante técnicas no destructivas de PCM y ACVG en una red de tubería perteneciente a un sistema contra incendio de agua, instalado en una estación donde se almacena y bombea crudo, debido a que una falla en el sistema podría afectar la operación de la estación, además de un impacto económico.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el impacto operativo y económico por la pérdida de contención de un sistema contra incendio de agua en una estación de almacenamiento y bombeo de crudo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ubicar la estación de almacenamiento y bombeo de crudo que se tomará como caso estudio.
- Recopilar información en campo para la determinación de zonas críticas de atención de acuerdo a niveles de prioridad resultantes mediante técnicas de inspección de tubería enterrada.
- Analizar la información recopilada en campo de la inspección de tubería enterrada para la determinación del impacto operativo y económico.
- Establecer una línea base para próximas inspecciones.
- Proponer acciones para la atención, mitigación y/o corrección defectos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CONCEPTO DE PELIGRO FRENTE A RIESGO

Los peligros son condiciones, o propiedades de los materiales, con la capacidad inherente de causar daño. El riesgo consiste en la posibilidad de exponerse a peligros que provoquen daños. Por ejemplo, una superficie o material caliente puede causar quemaduras térmicas en la piel o un ácido corrosivo puede causar quemaduras químicas en la piel, pero estas lesiones sólo pueden producirse si hay una exposición por contacto con la piel. No hay riesgo cuando no hay potencial de exposición.

Determinar el nivel de riesgo de cualquier actividad implica comprender los peligros y estimar la probabilidad y las consecuencias de las exposiciones que podrían provocar daños. Aunque el ejemplo anterior relaciona el peligro con el riesgo para las personas, los mismos principios se aplican al riesgo para la propiedad. Por ejemplo, los vapores de hidrocarburos en una mezcla inflamable con aire pueden encenderse si se exponen a una fuente de ignición, lo que provocaría un incendio que podría causar lesiones y daños materiales.

Los sistemas de agua pulverizada no cambian la probabilidad de que se produzca una fuga de material inflamable. La aplicación adecuada de los sistemas de agua pulverizada puede reducir las consecuencias (daños) y, por tanto, reducir el riesgo para las personas, la propiedad o el medio ambiente.[1]

4.2 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Una evaluación y un análisis basados en el riesgo pueden determinar la necesidad de protección con agua pulverizada en varios lugares de una instalación petrolera o petroquímica. Este análisis debe incluir la evaluación del alcance y las capacidades de otros tipos de protección contra incendios. Existe una variedad de opciones de protección contra incendios para proteger los equipos. Todas ellas deben ser

exploradas para determinar el enfoque más adecuado para la reducción del riesgo asociado a un peligro o área específica. Los factores de exposición, consecuencia y reducción del riesgo que deben evaluarse incluyen, entre otros, los siguientes:

- a) espaciamiento de equipos, edificios y unidades;
- b) la protección contra el fuego (compatibilidad con el agua pulverizada)
- c) sistemas de apagado manual y automático
- d) sistemas de aislamiento y desinstalación, despresurización de emergencia
- e) tiempos de respuesta y capacidades de la planta y de otros cuerpos de bomberos
- f) la capacidad de cobertura de agua contra incendios de los monitores fijos, los monitores portátiles y los chorros de manguera
- g) la disponibilidad de equipos portátiles y móviles de extinción contra incendios y de personal para operarlos
- h) el drenaje del hidrocarburo de la zona del derrame
- i) la carga de combustible (capacidad de retención del hidrocarburo, temperatura, volatilidad)
- j) la disponibilidad, capacidad de flujo, calidad y duración de un suministro de agua ininterrumpido
- k) criticidad y valor de los equipos
- l) los riesgos especiales o la vulnerabilidad de los equipos (como las fuentes radiactivas o los equipos internos revestidos de lechada/cemento);
- m) impacto potencial en la comunidad o en el medio ambiente.[1]

4.3 FRECUENCIA DE INCENDIOS

La experiencia puede indicar que ciertos tipos de equipos tienen mayores índices de frecuencia o potencial de incendio. Por lo general, esto podría incluir ciertas bombas, compresores y calentadores de fuego. Estos incendios pueden exponer y dañar otros equipos cercanos y potencialmente propagar el fuego. Después de evaluar otros factores, los diseñadores pueden elegir sistemas de agua fijos dirigidos a los equipos de frecuencia potencialmente más alta como opción preferida para limitar la cantidad de daños y evitar la propagación del fuego.[1]

4.4 SISTEMAS CONTRA INCENDIOS DE AGUA

Un sistema de rociado de agua es un sistema de tuberías fijas conectado a una fuente fiable de agua contra incendios. Dicho sistema está diseñado hidráulicamente con boquillas de rociado de agua para lograr una descarga y distribución de agua específica en la superficie o área a cubrir. El sistema de tuberías se conecta al suministro de agua a través de una válvula de accionamiento manual o automático que inicia el flujo de agua. Una válvula automática es accionada por un sistema de detección instalado en la misma zona que las boquillas de rociado de agua.

Los sistemas fijos de agua pulverizada están diseñados para proporcionar protección contra la exposición al fuego, control de la combustión, extinción o protección de la salida. Pueden ser independientes de otras formas de protección, o pueden complementarlas.[1]

4.5 INSPECCIÓN PCM

El PCM consta de dos partes fundamentales que son el Transmisor y el Receptor, como se muestra en la **figura 1**. El transmisor del PCM aplica una corriente a la tubería y esta corriente reduce su fuerza a medida que la distancia del transmisor aumenta. El índice de la reducción depende de la condición del revestimiento del tubo, la resistencia de tierra y la resistencia eléctrica del tubo. Cuando se encuentra una avería en el revestimiento o un contacto con otros tubos o estructuras metálicas la corriente cae rápidamente. La pérdida de corriente del PCM será virtualmente proporcional a la cantidad de corriente de la Protección Catódica que es utilizada para proteger el daño del revestimiento. El receptor del PCM detecta y mide la corriente aplicada por el transmisor y muestra la profundidad a la que se encuentra enterrada la línea.[2]

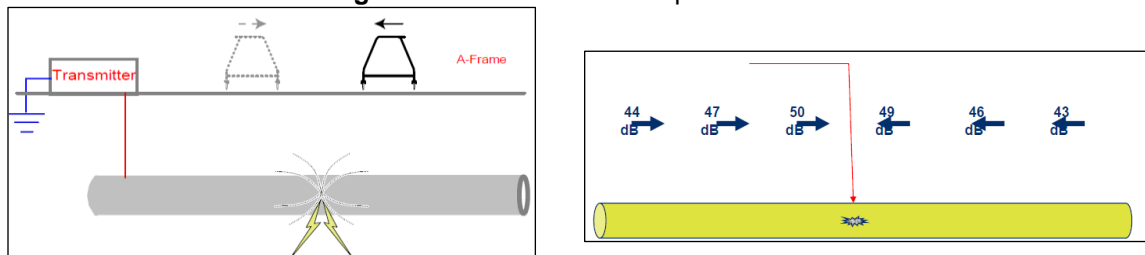
Figura 1. Equipo PCM (Pipeline Current Mapper) – Marco A, transmisor y receptor



Fuente: Radiodetection PCMx [3]

El PCM posee un accesorio llamado Marco A, el cual localiza puntualmente los daños en el revestimiento. Después de que se realiza el mapeo de corriente y se determinan los tramos con mayor caída de corriente se procede a inspeccionar estos tramos mediante el Marco A y de esta manera se localizan exactamente los daños del revestimiento y además se proporciona una calificación de la severidad de la avería de 0-99dB siendo 99dB el valor de mayor severidad.[2]

Figura 2. Lecturas en el receptor ACVG



Fuente: Radiodetection PCMx [3]

Como se muestra en la **figura 2**, para determinar los daños del recubrimiento, el operador del equipo PCM localiza el ducto y en intervalos de 1m a 1.5m realiza

lecturas con el accesorio Marco A indicando la magnitud y la dirección del defecto, al encontrar un defecto y pasarlo, la dirección de la flecha cambia en sentido opuesto al que traía.

Figura 3. Inspección ACVG con marco A



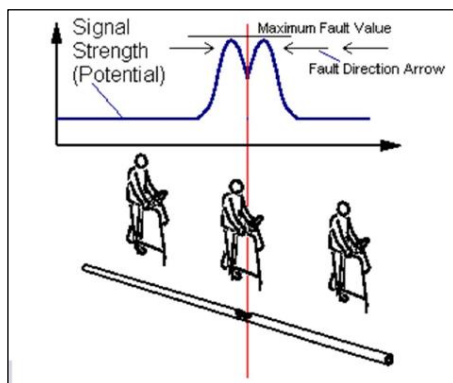
Figura 4. Visualización de indicación ACVG en pantalla



Fuente: Autor

La **figura 3** ilustra la forma en que el inspector PCM realiza la localización de los defectos en el recubrimiento con el marco A en campo, igualmente en la **figura 4** se evidencia el nivel de señal emitida por la discontinuidad en el recubrimiento de la tubería enterrada y es representada en la pantalla del equipo receptor. Para determinar el epicentro del daño se realiza movimientos pequeños hacia delante o al revés, hasta que se encuentre la posición donde las flechas empiezan a cambiar de dirección, se confirma que el daño está directamente abajo el centro del marco A. luego se voltea al marco A 90 grados, y se repite el paso anterior. El punto de la avería se localiza exactamente bajo el centro del marco A y nos da el valor del defecto en decibeles y la profundidad del mismo, como se ve en la **figura 5**.

Figura 5. Método de localización de indicaciones mediante ACVG



Fuente: Radiodetection PCMx [3]

Con el fin de determinar el índice de severidad de las anomalías detectadas por la técnica ACVG, y determinar la acción requerida para garantizar la integridad de la tubería se clasifican de acuerdo a la **tabla 1**. De acuerdo al nivel de severidad se recomienda realizar la atención de las indicaciones de manera inmediata, a corto, mediano y largo plazo.

Tabla 1. Niveles de priorización de indicaciones mediante PCM

Caracterización de anomalías – Inspección PCM	
Prioridad 1: Reparación inmediata	Corresponde a las anomalías cuya señal de severidad de acuerdo a evaluación marco “A” (ACVG, es superior a los 80dBuV.
Prioridad 2: Reparación a mediano plazo (12 a 24 meses)	Corresponde a las anomalías cuya señal oscila entre 60 dBuV a 80 dBuV de severidad .
Prioridad 3: Seguimiento en próxima inspección	Corresponde a las anomalías cuya señal oscila entre 30 dBuV a 60 dBuV de severidad .
Prioridad 4: Seguimiento menor	En la norma NACE TM0109-2009 numeral 4.3.14.2 indica que, si la lectura de magnitud es inferior a 30 dBuV, es poco probable que haya una indicación cerca.

Fuente: NACE TM0109-2009 [4]

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SCI

Los sistemas SCI están diseñados y construidos con la finalidad proteger los activos encontrados dentro de la estación, desde los tanques de almacenamiento de crudo hasta sistemas de tubería y bombeo. Principalmente están compuestos por una reserva de agua (tanques de almacenamiento, bocatomas), un sistema de bombeo principal, un sistema de presurización del agua y una red de tuberías de diferentes diámetros y longitudes que permiten la circulación de agua y proporcionan una protección ante un eventual incendio.

El sistema SCI de esta estación está constituido por un tanque atmosférico de 5.000bls, el cual receipta agua desde un afluyente de agua subterráneo, mediante tubería de 12"; luego, mediante una línea de descarga de 10" el agua se dirige hacia las unidades de bombeo (bombas centrífugas), desde las cuales, por sistemas de descarga en tubería de 8" van hacia los *manifold* de distribución a las redes SCI de la estación.

Las bombas cuentan con dispositivos de válvulas de alivio de presión tipo angular para evitar sobre presión en el sistema, la descarga de estas válvulas se dirige a una caja de aguas lluvias. Igualmente, el sistema cuenta con una bomba *Jockey*, la cual sirve para asegurar que, si se activa un rociador contra incendios, habrá una caída de presión, que será detectada por el controlador automático de las bombas contra incendios, lo que provocará el arranque de la bomba contra incendios.[5]

Luego del paso por las bombas de succión y descarga, el sistema cuenta con una línea cabezal que se dirige hacia la recirculación, *manifolds* y cabezal de prueba, estas 3 líneas son bidireccionales y dependiendo del uso se pueden bloquear mediante válvulas de compuerta, bien sea para recircular el agua hacia el tanque principal, distribuir agua hacia los *manifold* o realizar pruebas en el cabezal.

El sistema cuenta con 2 *manifold*, el primero corresponde a la distribución de agua hacia los sistemas de refrigeración de 3 tanques de almacenamiento de crudo de 80kbls y un tanque de almacenamiento de ACPM que suministra el combustible para las unidades de bombeo principales. Estas líneas parten desde el *manifold* y están conectadas mediante sistemas de tubería enterrada y finalizan en la parte superior de los tanques mencionados, formando un anillo perimetral para la aspersión de agua refrigerante.

El segundo *manifold* distribuye agua hacia la red de hidrantes monitores (16 hidrantes), los cuales están dispuestos en zonas críticas alrededor de los diques de los tanques de almacenamiento, caseta SCI de espuma y zonas de proceso para la protección contra incendios en los sistemas de tubería principales (sistemas recibo y despacho de crudo).

Por último, este *manifold* también se encarga de alimentar el sistema SCI espuma para crear la reacción necesaria en la activación del químico espumante para este sistema.

De acuerdo a esta descripción, el sistema se considera una red robusta de tubería que está distribuida a lo largo de la estación y comprende tubería aérea y enterrada, siendo esta última la condición predominante en el diseño del sistema (aproximadamente 2,5km de tubería).

5.2 EQUIPOS EVALUADOS

- Para este caso estudio se evaluará la integridad de la tubería enterrada a partir de resultados obtenidos mediante ensayos y técnicas de localización de tubería e inspección indirecta de recubrimientos en segmentos de enterrados (PCM y ACVG).

5.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Para la correcta ubicación de las locaciones y segmentos que comprenden el sistema es necesario el levantamiento de información, dentro del cual se encuentra:

- Levantamiento de isometría y modelo 3D: diámetros y longitudes, ubicación de tramos aéreos y enterrados, rating class de accesorios y válvulas, tipos de válvulas y dimensiones, puntos de interfases aérea/enterrada, localización de puntos de inspección y monitoreo (CML's).
- Levantamiento topográfico
- Ficha técnica del sistema y
- Ubicación de tuberías enterradas mediante PCM

5.4 SEGMENTACIÓN.

Un proceso eficaz de evaluación de riesgos incorporará una resolución suficiente del tamaño del segmento de la tubería para analizar los datos tal como existen a lo largo de la misma. Dicho análisis facilitará la localización de las áreas locales de alto riesgo que puedan necesitar atención inmediata. A efectos de la evaluación de riesgos, la longitud de los segmentos puede oscilar entre unidades de pies y millas (metros y kilómetros), en función de los atributos de la tubería, su entorno y otros datos.[6]

El sistema contra incendios de la estación se segmenta teniendo en cuenta algunas premisas. Para este caso en particular se realiza la segmentación de acuerdo a los cambios de interfases aire/suelo o suelo/aire, cambios de diámetro y usos de la línea.

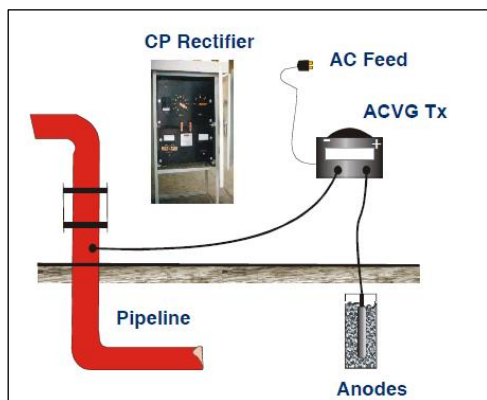
El sistema SCI cuenta con 75 segmentos de tubería (54 segmentos aéreos y 21 enterrados), los segmentos enterrados se inspeccionaron de forma indirecta con el uso de la técnica PCM/ACVG, con el fin de localizar el recorrido de las líneas y realizar la evaluación del estado del recubrimiento con base en los niveles de severidad expuestos en la **tabla 1**, bajo las consideraciones de la norma NACE TM-

0109. Estos segmentos serán objeto de evaluación para la determinación de la afectación operativa y económica en caso que se produzca una pérdida de contención.

Se inspeccionaron los segmentos enterrados 3, 7, 11, 14, 16, 19, 23, 26, 29, 32, 35, 39, 46, 48, 51, 53, 56, 59, 65, 67 y 69, donde se localizaron e inspeccionaron aproximadamente **2569.55 metros de tubería enterrada**, ubicando la profundidad aproximada de la tubería y detección de discontinuidades en el recubrimiento enterrado.

Las conexiones se realizan de modo que se pueda conectar la tubería punto a punto, es decir, desde un punto conocido donde inicia el tramo enterrado hasta una conexión donde finalice este segmento, con la finalidad de que la corriente impresa por la unidad PCM/ACVG Tx pueda ser detectada y determinar el recorrido de la tubería enterrada, así como la inspección del recubrimiento.

Figura 6. Conexiones del transmisor



Fuente: Radiodetection PCMx [3]

La **figura 6** muestra una conexión típica para la inspección PCM, por lo general, la unidad ACVG Tx se conecta al rectificador de Protección Catódica de la estación, haciendo conexión a la estructura (terminal negativa) y a la cama anódica (terminal positiva).

A continuación, se muestran los resultados de la inspección indirecta del recubrimiento en los segmentos enterrados que hacen parte del sistema contra incendios de la estación, donde se muestra la gráfica obtenida por el mapeo de corriente en mA a lo largo del tramo enterrado (línea continua azul) y la ubicación de los defectos y la intensidad de señal (dB) (puntos rojos) (**gráficos del 1 al 29**).

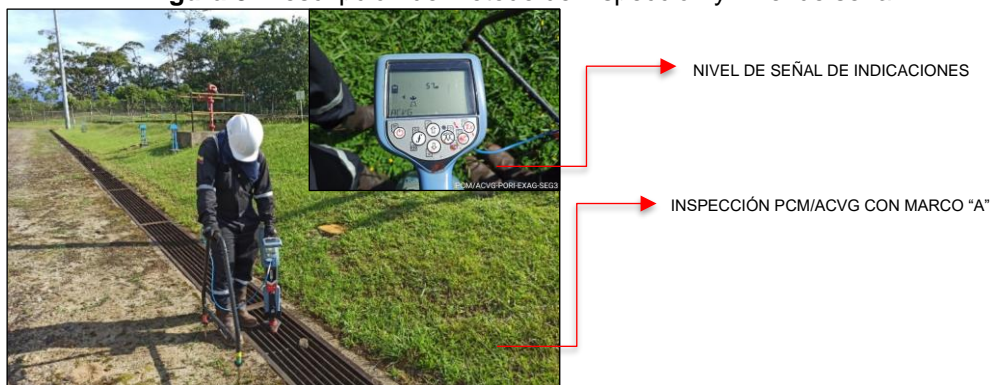
Igualmente se aprecia el recorrido de la línea de inicio a fin (línea verde), así como las indicaciones detectadas a lo largo del recorrido (globos rojos) -ver figura 7-, como se evidencia en las figuras con número impar (**figuras 9, 11, 13, ..., 65**).

El método de inspección y la representación de la señal en los equipos de inspección -ver figura 8- se muestran en las figuras con número par (**figuras 10, 12, 14, ..., 66**).

Figura 7. Descripción de recorrido tubería enterrada



Figura 8. Descripción de método de inspección y nivel de señal



En las **tablas 2 a 30**, se resumen los resultados de la inspección del recubrimiento indicando el número de indicación, el abscisado, la profundidad de la tubería en un punto específico, la intensidad de corriente y el nivel de severidad (prioridad 1, 2 y 3) detectado por el receptor PCM, así como una breve descripción del segmento enterrado.

Gráfico 1. Inspección PCM/ACVG segmento 3-1

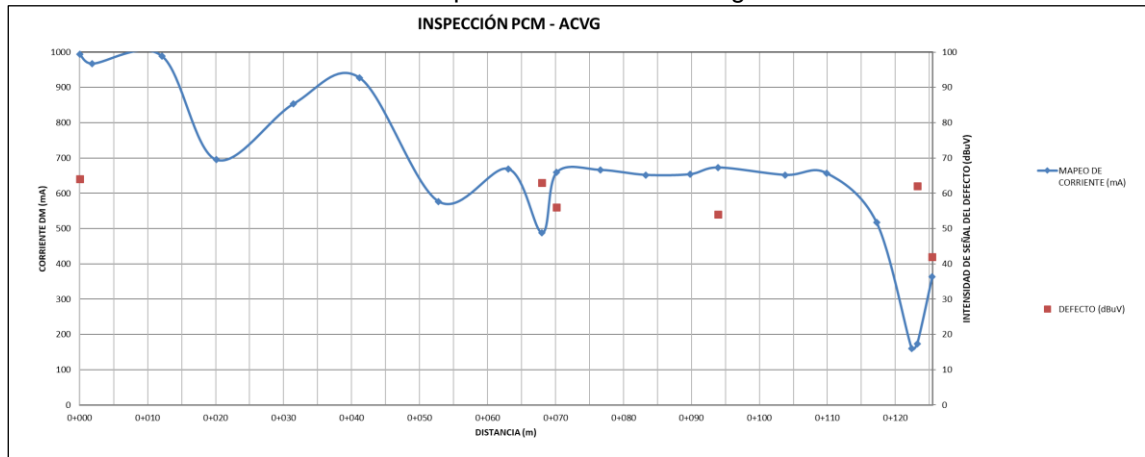


Figura 9. Recorrido segmento 3-1



Figura 10. Inspección ACVG segmento 3-1



Tabla 2. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 3-1 SCI					
Línea SCI	Segmento 3-1	Longitud	125m	Diámetro	10"
Descripción del segmento: Línea 10" descarga de tanque 5000bls- succión hacia bombas SCI					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,70	994	64	2
2	0+068	0,95	488	63	2
3	0+070	1,05	659	56	3
4	0+094	0,60	673	54	3
5	0+123	0,90	174	62	2
6	0+125	1,10	364	42	3

Fuente: Autor

Gráfico 2. Inspección PCM/ACVG segmento 3-2

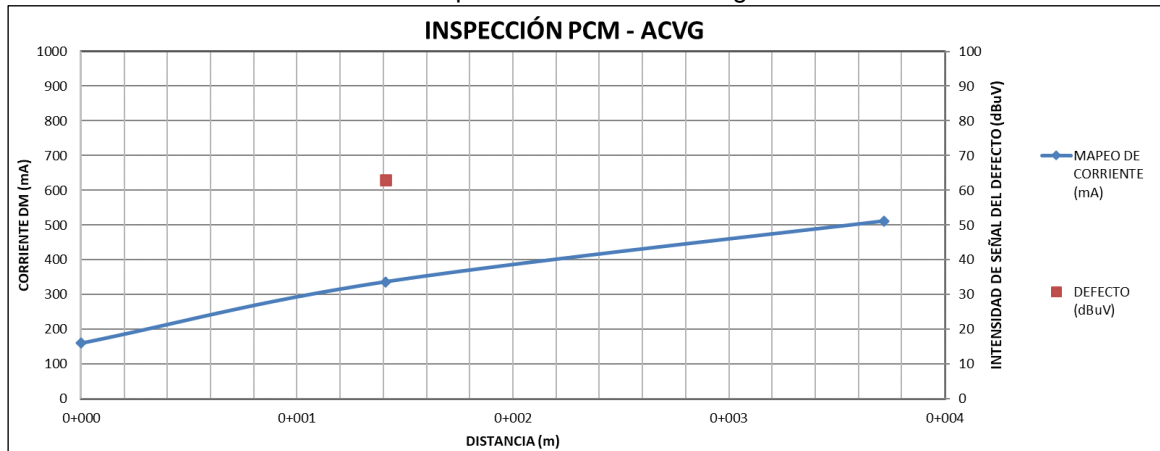


Figura 11. Recorrido segmento 3-2

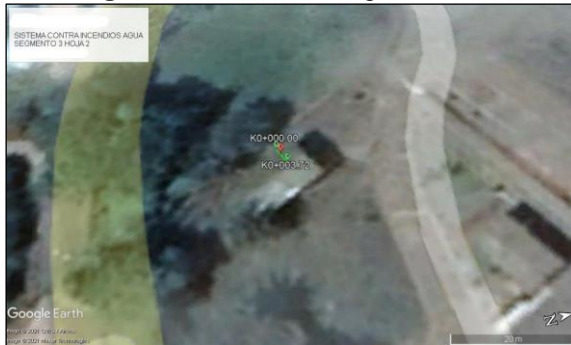


Figura 12. Inspección ACVG segmento 3-2



Tabla 3. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 3-2 SCI					
Línea SCI	Segmento 3-2	Longitud	4m	Diámetro	10"
Descripción del segmento: Continuación – Línea 10" descarga de tanque 5000bls- succión hacia bombas SCI					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+001	0,90	337	63	2

Fuente: Autor

Gráfico 3. Inspección PCM/ACVG segmento 7

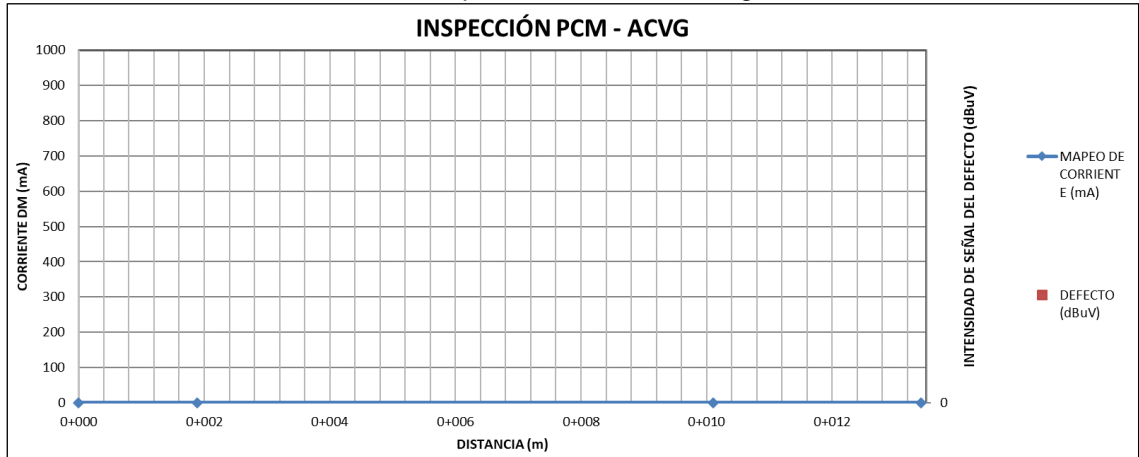


Figura 13. Inspección PCM segmento 7



Figura 14. Inspección ACGV segmento 7



Tabla 4. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 7 SCI

Línea SCI	Segmento 7	Longitud	13m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Línea 8" alivio de PSV descarga bomba BA-01					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
NR*	NR	NR	NR	NR	NR

*No fue posible hacerle localización PCM e inspección del recubrimiento por ACGV, debido a que no se pudo inducir corriente en el segmento a estudiar. esto se debe posiblemente por presencia de tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos de puesta a tierra cercanos al segmento a estudiar.

Fuente: Autor

Gráfico 4. Inspección PCM/ACVG segmento 11

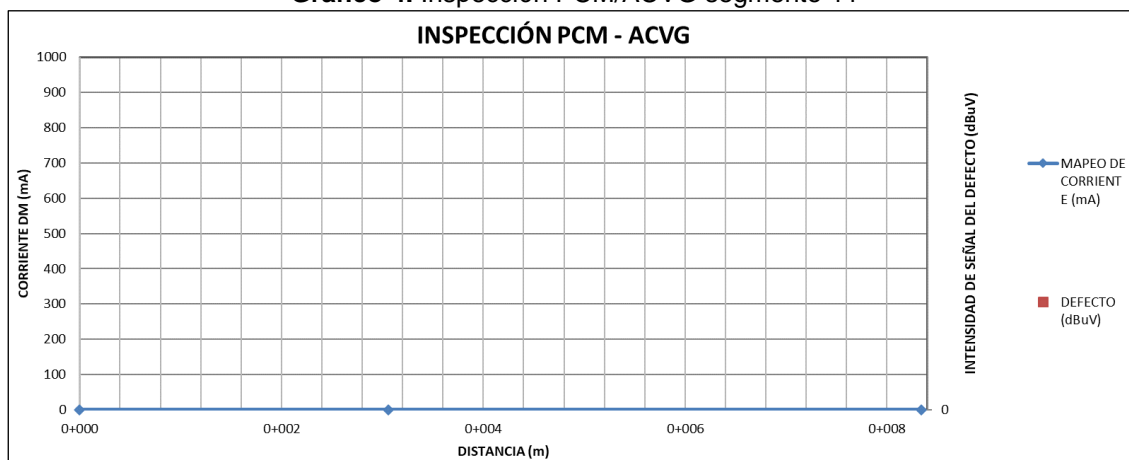


Figura 15. Inspección PCM segmento 11



Figura 16. Inspección ACGV segmento 11



Tabla 5. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 11 SCI

Línea SCI	Segmento 11	Longitud	8m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Línea 8" alivio de PSV descarga bomba BA-02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
NR*	NR	NR	NR	NR	NR

*No fue posible hacerle localización PCM e inspección del recubrimiento por ACGV, debido a que no se pudo inducir corriente en el segmento a estudiar. esto se debe posiblemente por presencia de tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos de puesta a tierra cercanos al segmento a estudiar.

Fuente: Autor

Gráfico 5. Inspección PCM/ACVG segmento 14-1

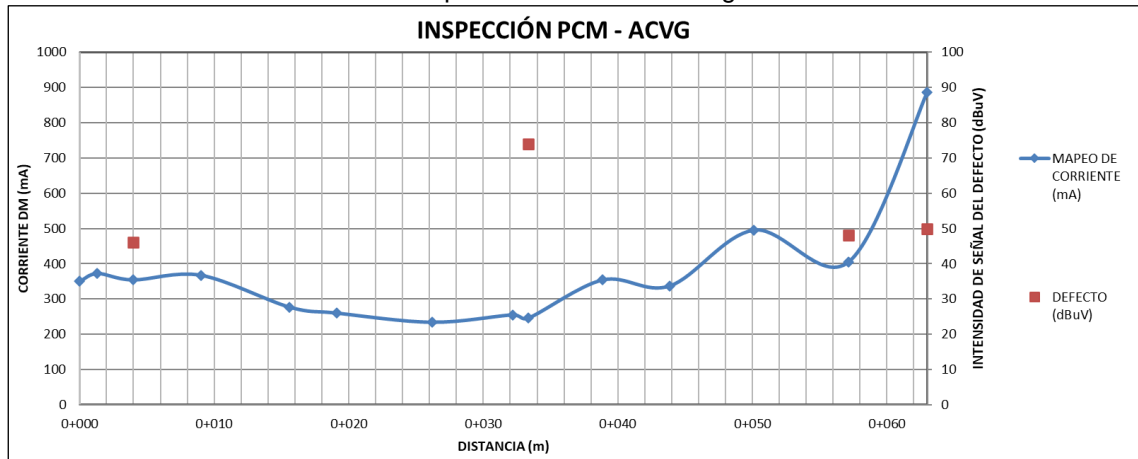


Figura 17. Recorrido segmento 14-1



Figura 18. Inspección ACGV segmento 14-1



Tabla 6. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 14-1 SCI

Línea SCI	Segmento 14-1	Longitud	63m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Cabezal de descarga general de bombas BA-01/02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+004	0,65	354	46	3
2	0+033	0,65	246	74	2
3	0+057	1,50	405	48	3
4	0+063	1,50	886	50	3

Fuente: Autor

Gráfico 6. Inspección PCM/ACVG segmento 14-2

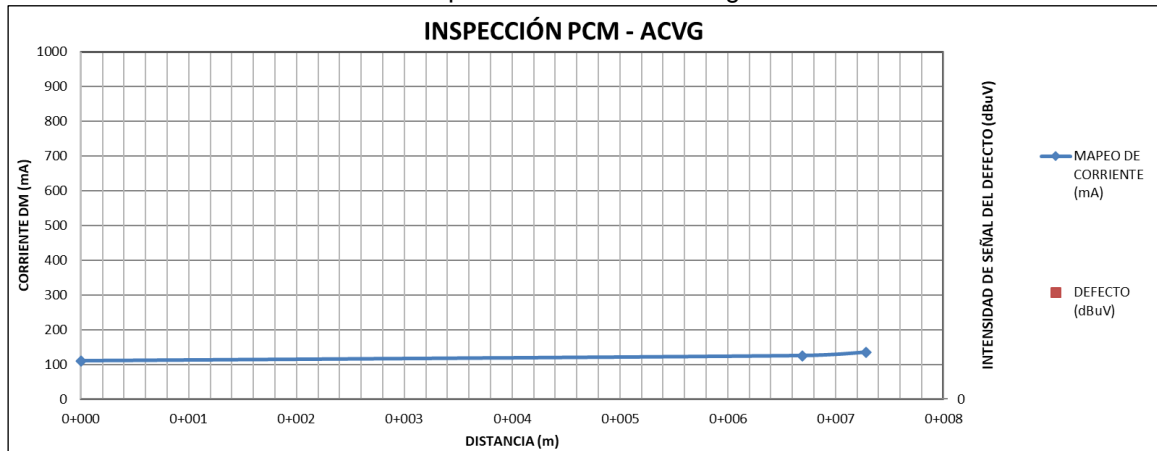


Figura 19. Recorrido segmento 14-2



Figura 20. Inspección ACVG segmento 14-2



Tabla 7. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 14-2 SCI

Línea SCI	Segmento 14-2	Longitud	63m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Continuación - cabezal de descarga general de bombas BA-01/02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
NR*	NR	NR	NR	NR	NR

* Se realizaron siete (7) metros de inspección y no se localizaron indicaciones en el recubrimiento. El segmento en su totalidad presenta interferencia por tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos cercanos.

Fuente: Autor

Gráfico 7. Inspección PCM/ACVG segmento 16

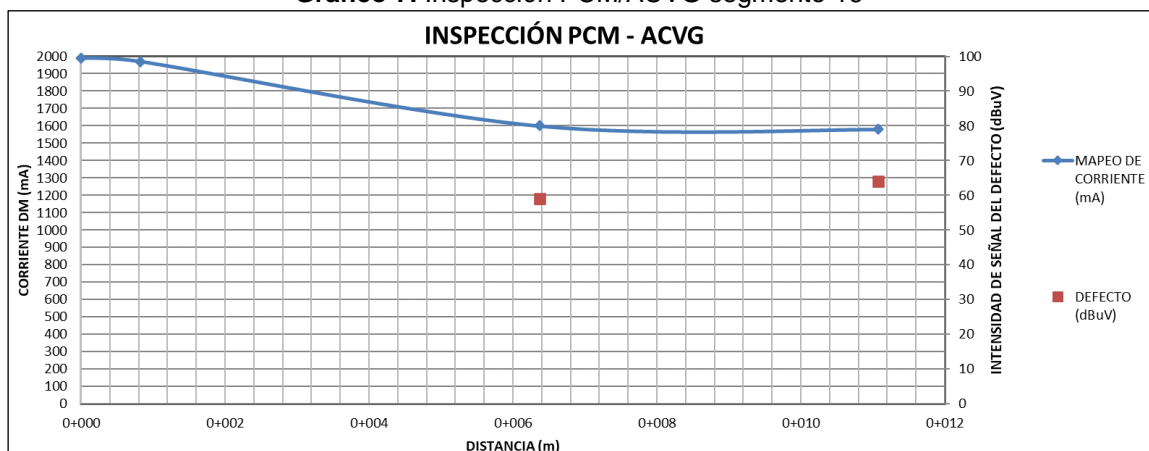


Figura 21. Recorrido segmento 16



Figura 22. Inspección ACVG segmento 16



Tabla 8. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 16 SCI

Línea SCI	Segmento 16	Longitud	11m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Línea 8" descarga hacia cabezal de prueba.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+006	0,40	1600	59	3
2	0+011	0,40	1580	64	2

Fuente: Autor

Gráfico 8. Inspección PCM/ACVG segmento 19

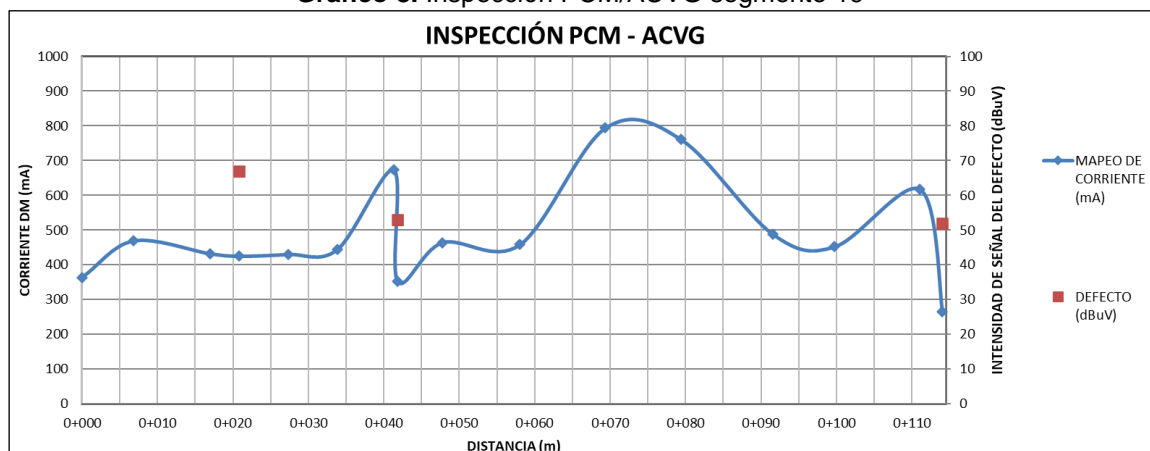


Figura 23. Recorrido segmento 19



Figura 24. Inspección ACVG segmento 19



Tabla 9. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 19 SCI

Línea SCI	Segmento 19	Longitud	114m	Diámetro	8"
Descripción del segmento: Línea 8" de alivio/recirculación bombas BA-01/02 hacia tanque SCI 5000BIs.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+021	0,85	425	67	2
2	0+042	1,30	352	53	3
3	0+114	0,50	266	52	3

Fuente: Autor

Gráfico 9. Inspección PCM/ACVG segmento 23*

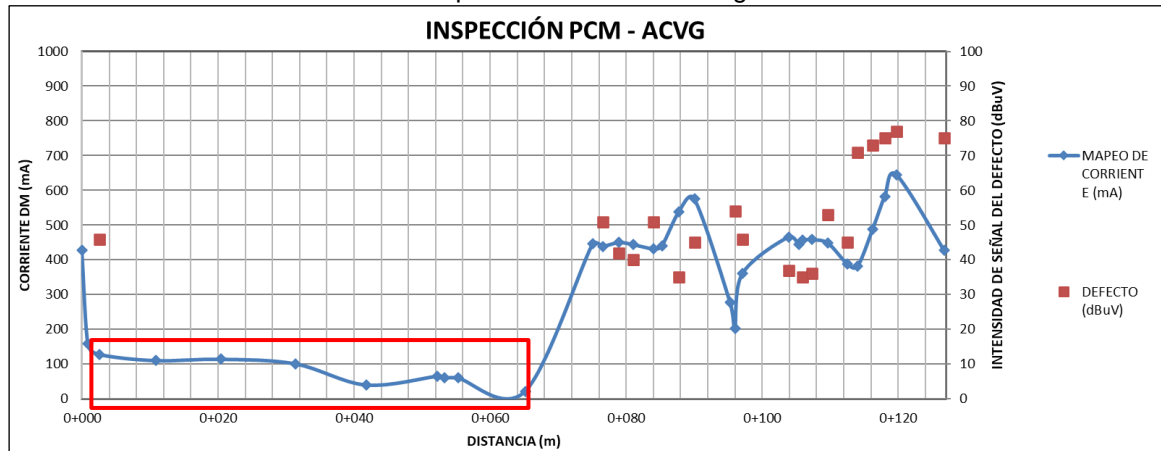


Figura 25. Recorrido segmento 23



Figura 26. Inspección ACVG segmento 23



Tabla 10. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 23 SCI

Línea SCI	Segmento 23	Longitud	127m	Diámetro	6"- 4"
Descripción del segmento: Línea de alimentación anillo derecho sistema de refrigeración tanque de almacenamiento 80000-01					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+003	0,60	128	46	3
2	0+077	0,40	439	51	3
3	0+079	0,40	450	42	3
4	0+081	0,40	444	40	3
5	0+084	0,40	432	51	3
6	0+088	0,40	538	35	3
7	0+090	0,40	576	45	3
8	0+096	0,40	202	54	3
9	0+097	0,40	360	46	3
10	0+104	0,40	466	37	3
11	0+106	0,35	456	35	3
12	0+107	0,30	458	36	3
13	0+110	0,30	448	53	3
14	0+113	0,25	388	45	3
15	0+114	0,30	382	71	2

16	0+116	0,00	488	73	2
17	0+118	0,00	583	75	2
18	0+120	0,20	645	77	2
19	0+127	0,30	428	75	2

* El segmento en su totalidad presenta interferencia por tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos cercanos y particularmente entre los abcisados 2,55 (ítem # 3) y 65,18 (ítem # 11) por lectura valores de corriente muy bajos no es posible realizar la inspección ACVG en este tramo del segmento 23. **(Zona demarcada en la gráfica 9)**

Fuente: Autor

Gráfico 10. Inspección PCM/ACVG segmento 26*

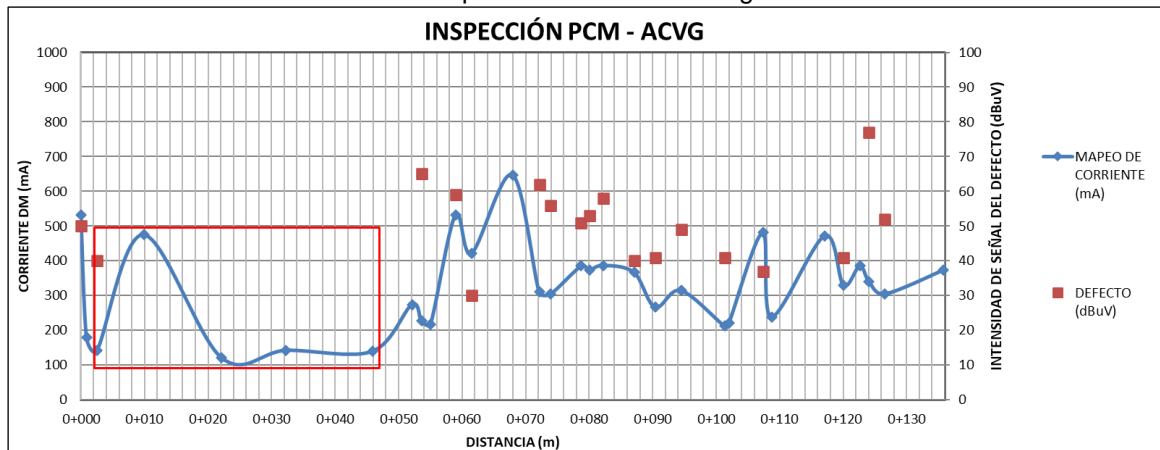


Figura 27. Recorrido segmento 26



Figura 28. Inspección ACGV segmento 26



Tabla 11. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 26 SCI					
Línea SCI	Segmento 26	Longitud	136m	Diámetro	6"- 4"
Descripción del segmento: Línea de alimentación anillo izquierdo sistema de refrigeración tanque de almacenamiento 80000-02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,30	533	50	3
2	0+003	0,70	143	40	3
3	0+054	0,45	227	65	3

4	0+059	0,42	531	59	3
5	0+062	0,35	422	30	3
6	0+072	0,45	310	62	3
7	0+074	0,50	305	56	3
8	0+079	0,45	385	51	3
9	0+080	0,45	374	53	3
10	0+082	0,45	387	58	3
11	0+087	0,45	367	40	3
12	0+090	0,45	267	41	3
13	0+095	0,45	315	49	3
14	0+101	0,45	212	41	3
15	0+107	0,45	481	37	2
16	0+120	0,33	330	41	2
17	0+124	0,20	341	77	2
18	0+127	0,42	305	52	2

* El segmento en su totalidad presenta interferencia por tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos cercanos y en la zona demarcada (**gráfica 10**) con el recuadro rojo, los bajos valores de corriente medida en esta zona no permite hacer inspección del recubrimiento por ACVG debido a las interferencias existentes en este tramo del segmento 26.

Fuente: Autor

Gráfico 11. Inspección PCM/ACVG segmento 29*

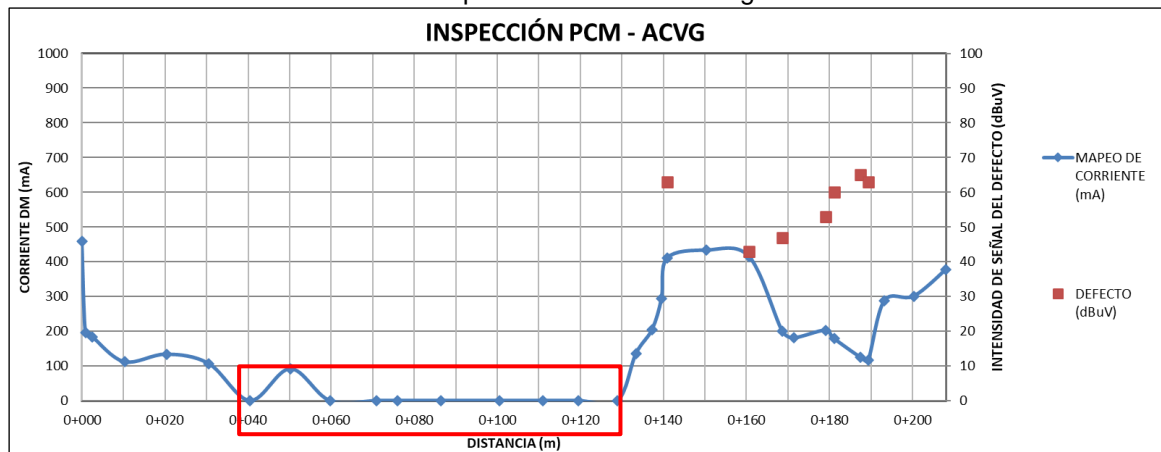


Figura 29. Recorrido segmento 29



Figura 30. Inspección ACGV segmento 29



Tabla 12. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 29 SCI					
Línea SCI	Segmento 29	Longitud	208m	Diámetro	6" – 4"
Descripción del segmento: Línea de alimentación anillo derecho sistema de refrigeración tanque de almacenamiento 80000-02.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+141	0,85	411	63	2
2	0+161	0,85	416	43	3
3	0+169	0,85	201	47	3
4	0+179	0,85	203	53	3
5	0+181	0,85	179	60	3
6	0+187	0,85	125	65	2
7	0+189	0,85	118	63	2

* El segmento en su totalidad presenta interferencia por tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos cercanos, adicionalmente se presenta fuerte interferencia entre los abscisados K 0+040 y K 0+130 lo que no permitió tanto mapeo de corriente como inspección de estado de recubrimiento ACGV en esta zona.

Fuente: Autor

Gráfico 12. Inspección PCM/ACVG segmento 32*

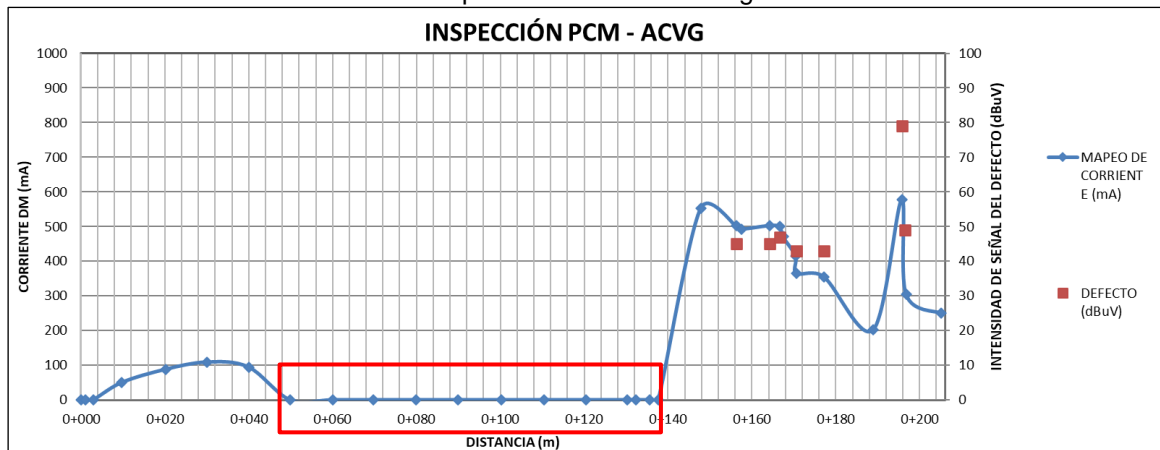


Figura 31. Recorrido segmento 32



Figura 32. Inspección ACGV segmento 32



Tabla 13. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 32 SCI					
Línea SCI	Segmento 32	Longitud	205m	Diámetro	6" – 4"
Descripción del segmento: Línea de alimentación anillo izquierdo sistema de refrigeración tanque de almacenamiento 80000-03.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+156	0,75	502	45	3
2	0+164	0,75	503	45	3
3	0+167	0,75	500	47	3
4	0+196	0,75	415	49	3
5	0+171	0,75	365	43	3
6	0+177	0,75	355	43	3
7	0+196	0,75	577	79	2

* El segmento en su totalidad presenta interferencia por tuberías de mayor diámetro paralelas y sistemas eléctricos cercanos y particularmente en la zona en donde los valores de corriente que en la **gráfica 12** se van a cero, no fue posible leer dicho valor y por consiguiente la inspección del recubrimiento tampoco fue posible de realizar debido a las interferencias existentes en este tramo del segmento 32. K 0+048 al K 0+138

Fuente: Autor

Gráfico 13. Inspección PCM/ACVG segmento 35

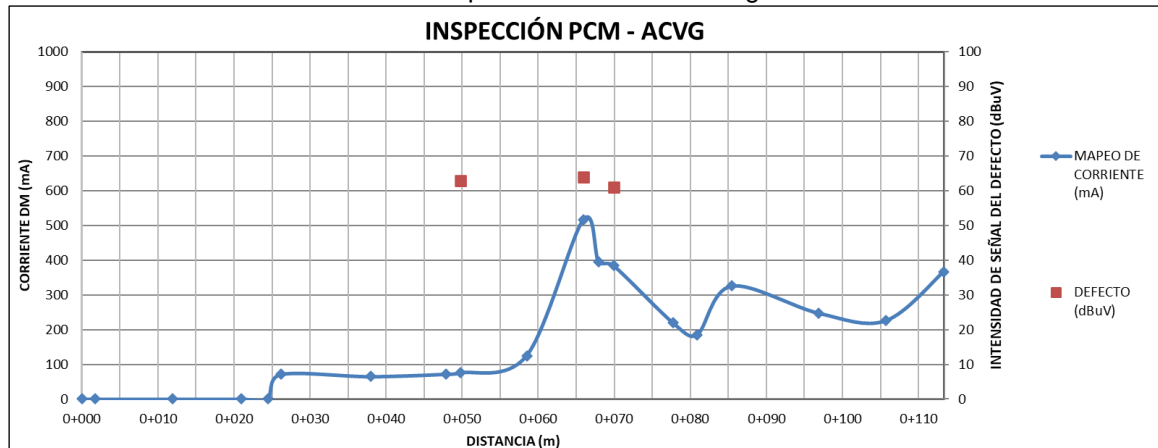


Figura 33. Recorrido segmento 35



Figura 34. Inspección ACGV segmento 35



Tabla 14. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 35 SCI					
Línea SCI	Segmento 35	Longitud	113m	Diámetro	3"
Descripción del segmento: Línea 3" de alimentación anillo sistema de refrigeración tanque almacenamiento de ACPM					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+050	0,30	76	63	2
2	0+066	0,55	517	64	2
3	0+070	0,55	385	61	2

Fuente: Autor

Gráfico 14. Inspección PCM/ACVG segmento 39

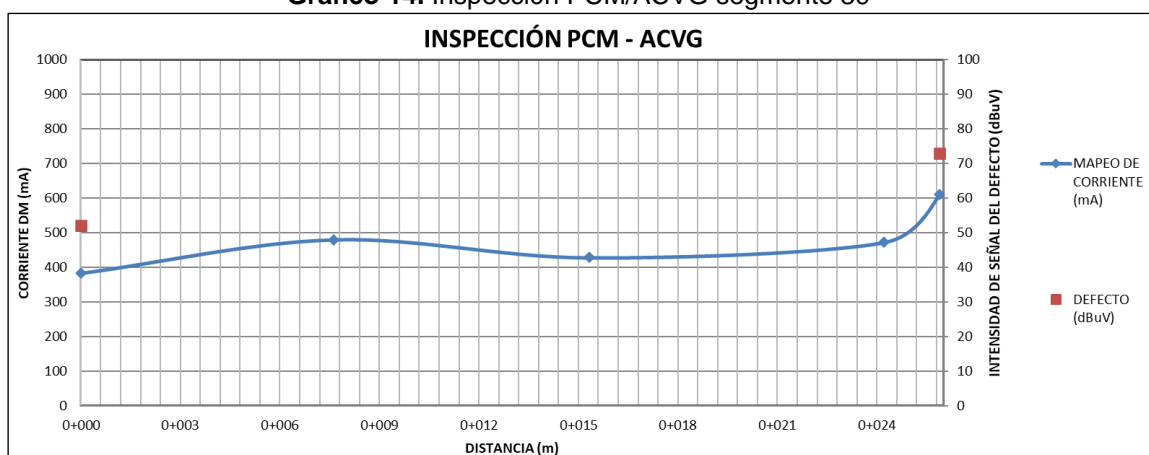


Figura 35. Recorrido segmento 39



Figura 36. Inspección ACGV segmento 39



Tabla 15. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 39 SCI					
Línea SCI	Segmento 39	Longitud	26m	Diámetro	4"
Descripción del segmento: Línea 4" alimentación de agua hacia hidrante monitor.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	1,40	383	52	3
2	0+026	0,80	610	73	2

Fuente: Autor

Gráfico 15. Inspección PCM/ACVG segmento 46

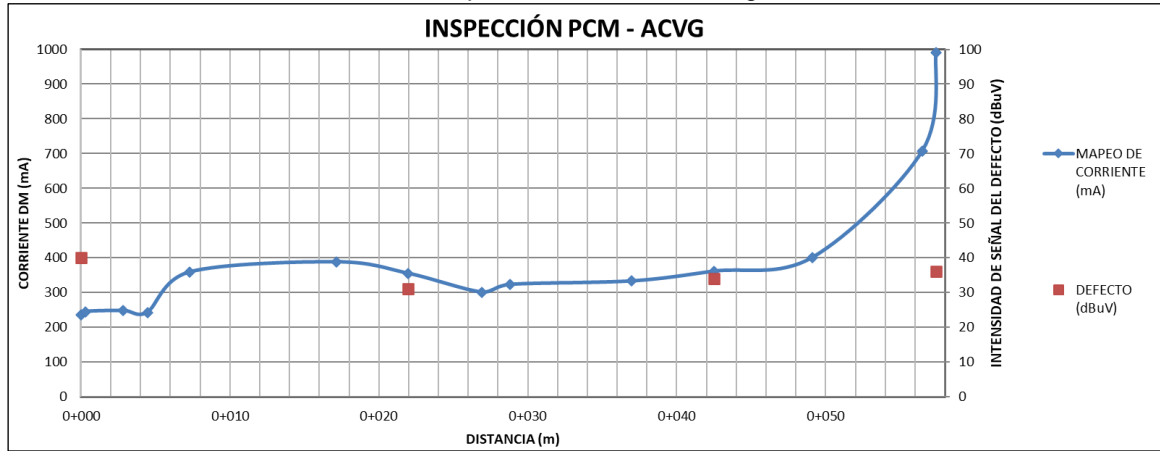


Figura 37. Recorrido segmento 46



Figura 38. Inspección ACVG segmento 46



Tabla 16. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 46 SCI

Línea SCI	Segmento 46	Longitud	57m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques de almacenamiento 80000-01/02/03					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,28	235	40	3
2	0+022	0,80	355	31	3
3	0+042	0,80	361	34	3
4	0+057	0,00	991	36	3

Fuente: Autor

Gráfico 16. Inspección PCM/ACVG segmento 48-1

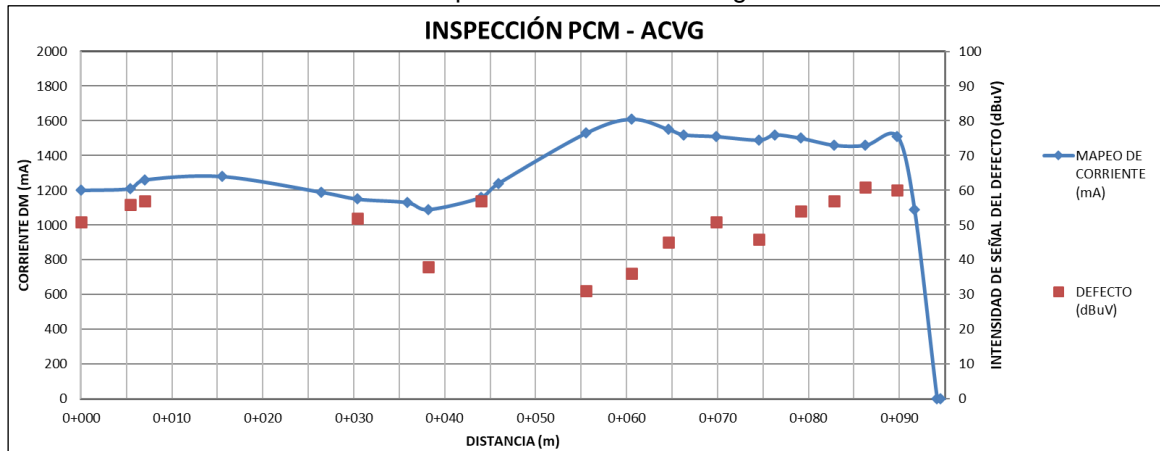


Figura 39. Recorrido segmento 48-1



Figura 40. Inspección ACGV segmento 48-1



Tabla 17. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-1 SCI

Línea SCI	Segmento 48-1	Longitud	95m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-01/02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,35	1200	51	3
2	0+005	0,75	1210	56	3
3	0+007	0,45	1260	57	3
4	0+030	0,40	1150	52	3
5	0+038	0,40	1090	38	3
6	0+044	0,25	1160	57	3
7	0+056	0,35	1530	31	3
8	0+061	0,35	1610	36	3
9	0+065	0,40	1550	45	3
10	0+070	0,43	1510	51	3
11	0+075	0,50	1490	46	3
12	0+079	0,45	1500	54	3
13	0+083	0,45	1460	57	3
14	0+086	0,35	1460	61	2

15	0+090	0,35	1510	60	3
----	-------	------	------	----	---

Fuente: Autor

Gráfico 17. Inspección PCM/ACVG segmento 48-2

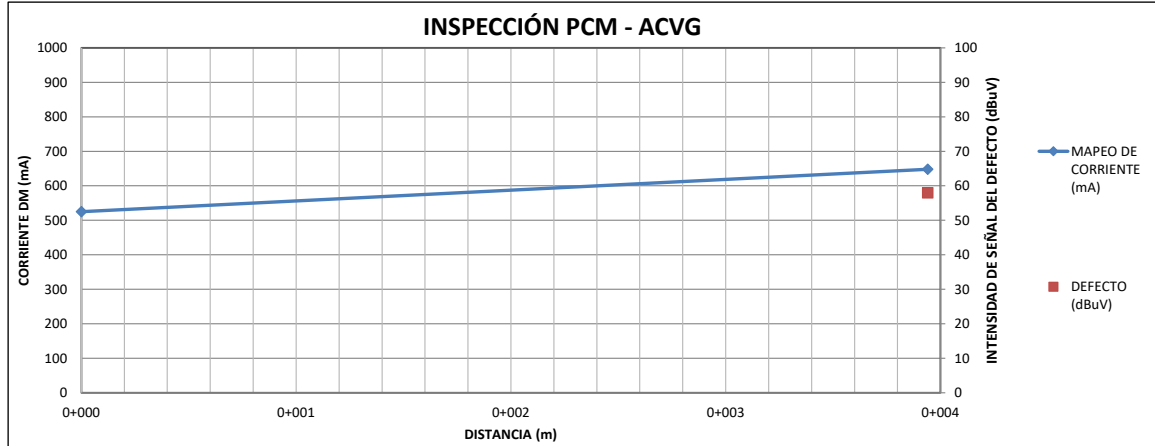


Figura 41. Recorrido segmento 48-2

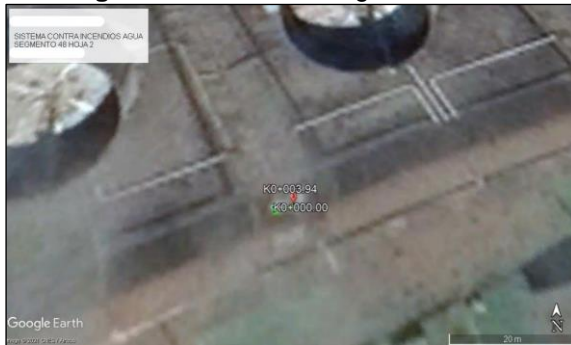


Figura 42. Inspección ACVG segmento 48-2



Tabla 18. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-2 SCI

Línea SCI	Segmento 48-2	Longitud	4m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-01/02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+004	0,20	648	58	3

Fuente: Autor

Gráfico 18. Inspección PCM/ACVG segmento 48-3

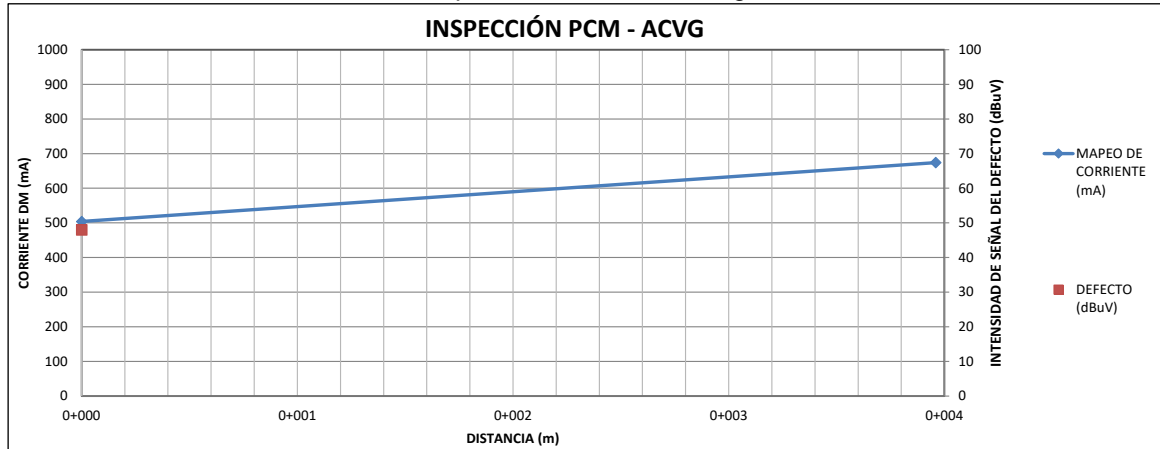


Figura 43. Recorrido segmento 48-3



Figura 44. Inspección ACGV segmento 48-3



Tabla 19. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 48-3 SCI

Línea SCI	Segmento 48-3	Longitud	4m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-01/02					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,30	504	48	3

Fuente: Autor

Gráfico 19. Inspección PCM/ACVG segmento 51

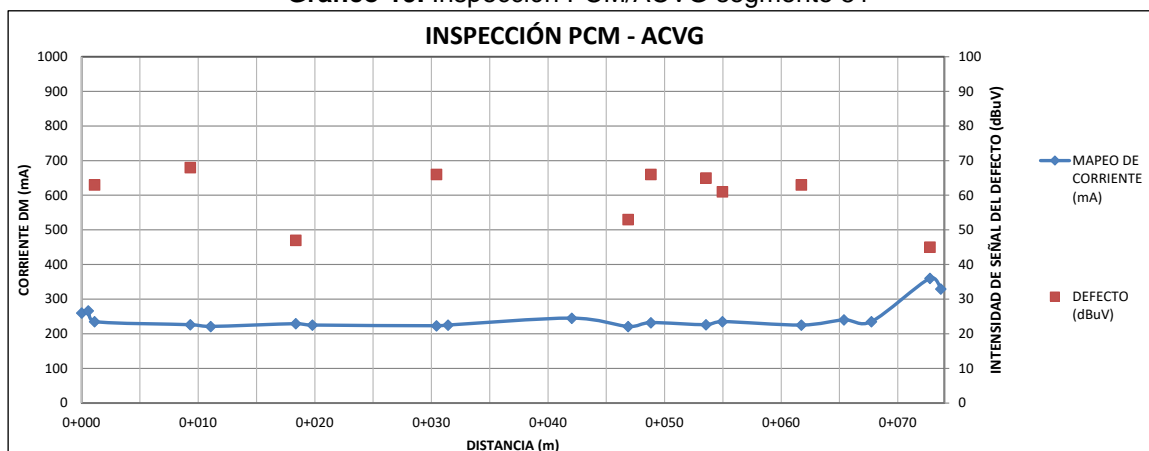


Figura 45. Recorrido segmento 51



Figura 46. Inspección ACVG segmento 51



Tabla 20. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 51 SCI

Línea SCI	Segmento 51	Longitud	74m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques de almacenamiento 80000-01/02/03					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+001	0,25	235	63	2
2	0+009	0,20	226	68	2
3	0+018	0,15	229	47	3
4	0+030	0,20	223	66	2
5	0+047	0,30	221	53	3
6	0+049	0,30	232	66	2
7	0+054	0,30	226	65	2
8	0+055	0,37	235	61	2
9	0+062	0,35	225	63	2
10	0+073	0,50	360	45	3

Fuente: Autor

Gráfico 20. Inspección PCM/ACVG segmento 53-1

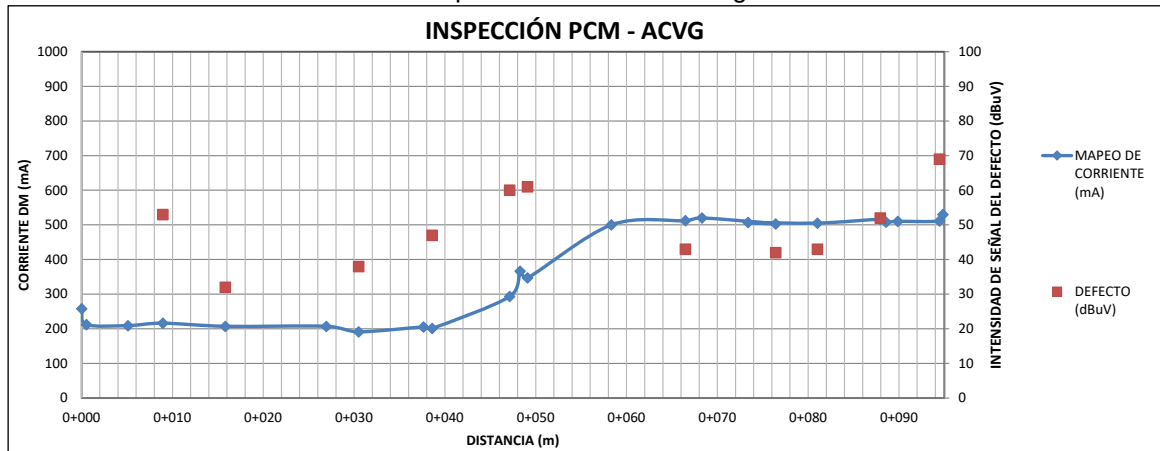


Figura 47. Recorrido segmento 53-1



Figura 48. Inspección ACGV segmento 53-1



Tabla 21. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-1 SCI

Línea SCI	Segmento 53-1	Longitud	95m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-02/03.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+009	1,00	216	53	3
2	0+016	0,90	207	32	3
3	0+030	0,60	191	38	3
4	0+039	0,10	201	47	3
5	0+047	1,25	293	60	3
6	0+049	0,75	347	61	2
7	0+066	0,65	512	43	3
8	0+076	0,55	503	42	3
9	0+081	0,60	505	43	3
10	0+088	0,55	516	52	3
11	0+094	0,25	511	69	2

Fuente: Autor

Gráfico 21. Inspección PCM/ACVG segmento 53-2

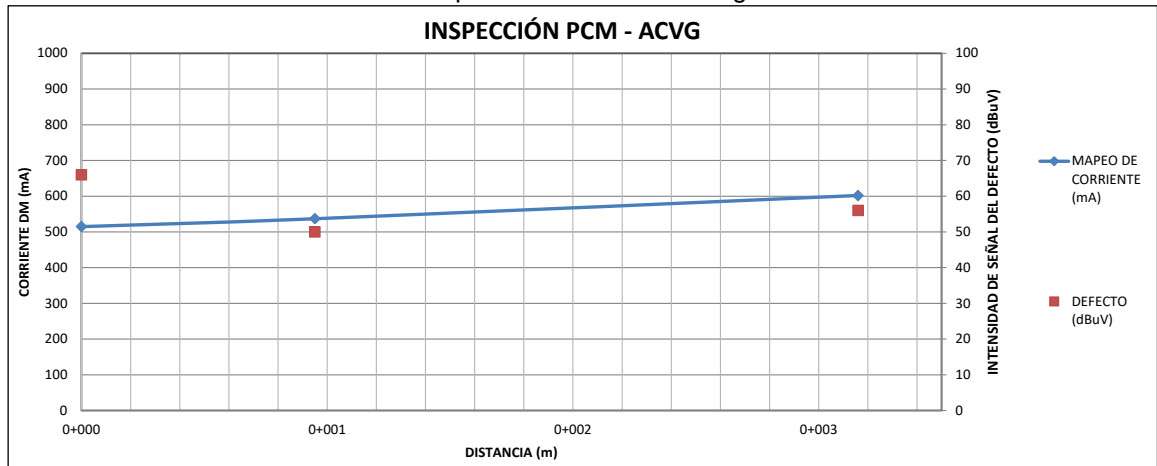


Figura 49. Recorrido segmento 53-2



Figura 50. Inspección ACGV segmento 53-2



Tabla 22. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-2 SCI

Línea SCI	Segmento 53-2	Longitud	3m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-02/03.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,20	515	66	2
2	0+001	0,20	537	50	3
3	0+003	0,40	602	56	3

Fuente: Autor

Gráfico 22. Inspección PCM/ACVG segmento 53-3

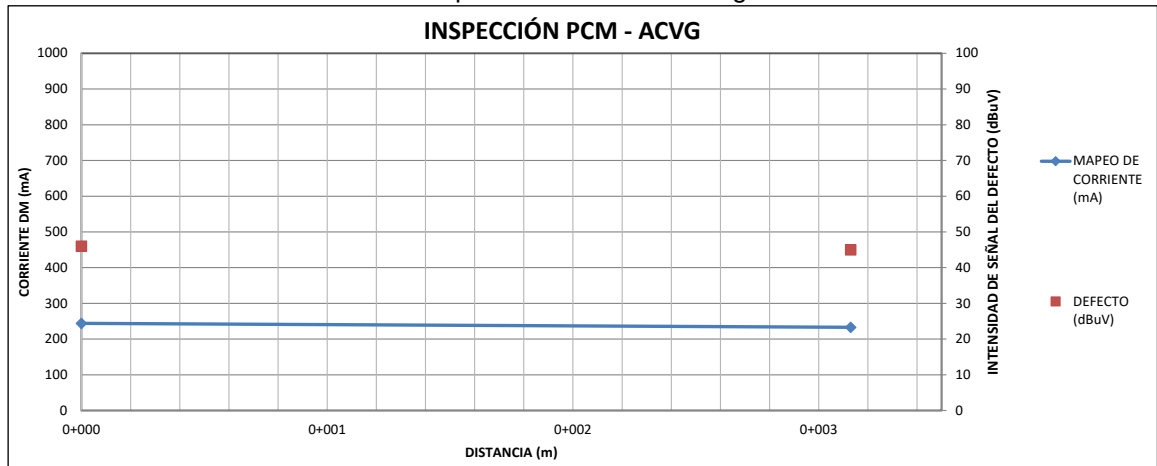


Figura 51. Recorrido segmento 53-3

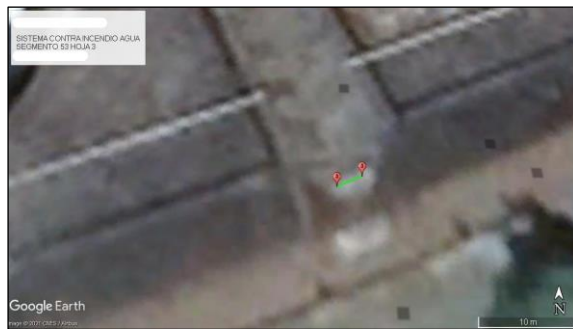


Figura 52. Inspección ACGV segmento 53-3



Tabla 23. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 53-3 SCI

Línea SCI	Segmento 53-3	Longitud	4m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-02/03.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,50	244	46	3
2	0+003	0,20	233	45	3

Fuente: Autor

Gráfico 23. Inspección PCM/ACVG segmento 56-1

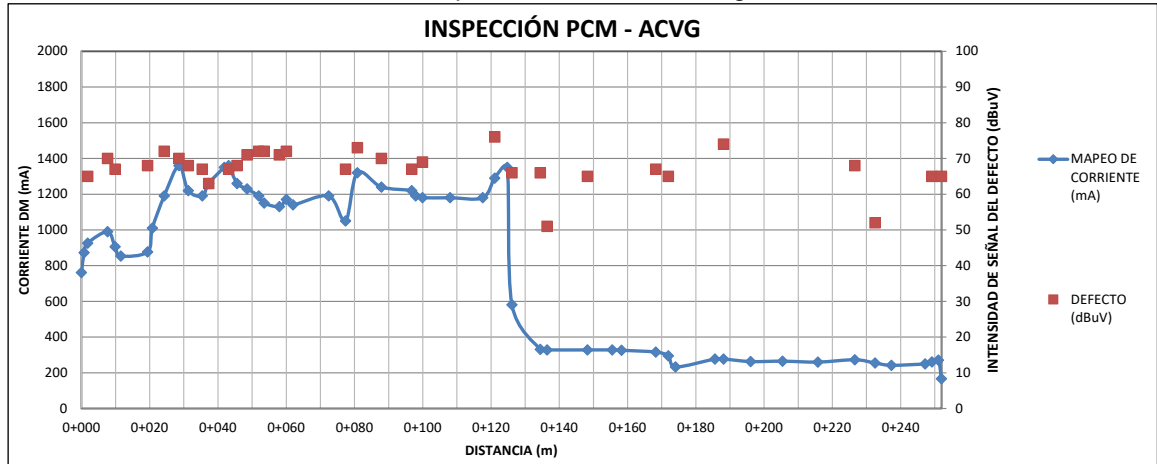


Figura 53. Recorrido segmento 56-1



Figura 54. Inspección ACGV segmento 56-1



Tabla 24. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 56-1 SCI

Línea SCI	Segmento 56-1	Longitud	252m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques de almacenamiento 80000-01/02/03					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+002	0,40	926	65	2
2	0+008	0,35	990	70	2
3	0+010	0,40	906	67	2
4	0+019	0,40	877	68	2
5	0+024	0,40	1190	72	2
6	0+029	0,40	1360	70	2
7	0+031	0,40	1220	68	2
8	0+035	0,35	1190	67	2
9	0+037	0,40	1260	63	2
10	0+043	0,45	1360	67	2
11	0+046	0,40	1260	68	2
12	0+049	0,45	1230	71	2
13	0+052	0,40	1190	72	2
14	0+054	0,40	1150	72	2

15	0+058	0,40	1130	71	2
16	0+060	0,40	1170	72	2
17	0+077	0,30	1050	67	2
18	0+081	0,65	1320	73	2
19	0+088	0,65	1240	70	2
20	0+097	0,65	1220	67	2
21	0+100	0,55	1180	69	2
22	0+121	0,55	1290	76	2
23	0+126	0,60	581	66	2
24	0+134	0,65	331	66	2
25	0+136	0,55	328	51	3
26	0+148	0,55	328	65	2
27	0+168	0,30	316	67	2
28	0+172	0,20	295	65	2
29	0+188	0,35	277	74	2
30	0+227	0,35	273	68	2
31	0+232	0,35	255	52	3
32	0+249	0,40	261	65	2
33	0+252	0,00	167	65	2

Fuente: Autor

Gráfico 24. Inspección PCM/ACVG segmento 56-2

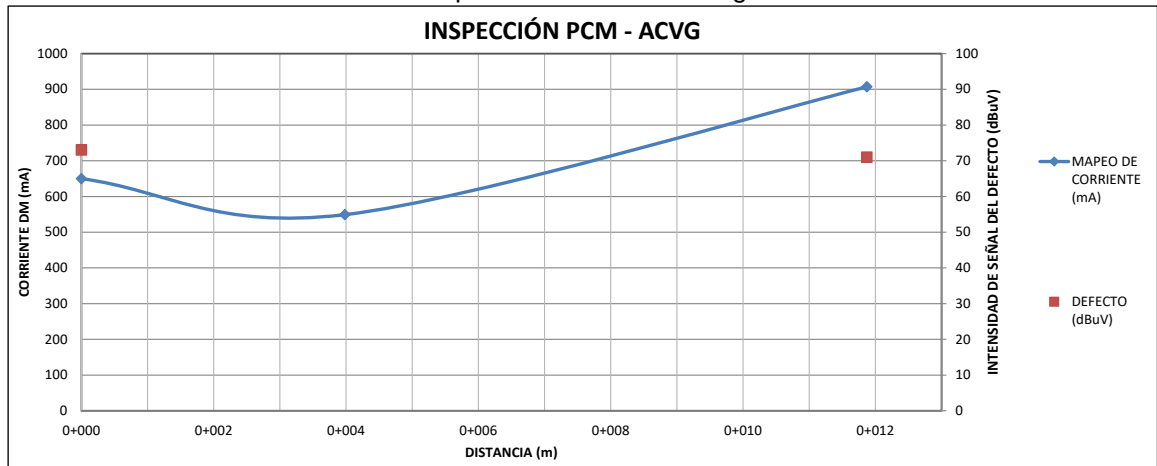


Figura 55. Recorrido segmento 56-2



Figura 56. Inspección ACGV segmento 56-2



Tabla 25. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 56-2 SCI					
Línea SCI	Segmento 56-2	Longitud	13m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona intermedia tanques de almacenamiento 80000-02/03.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,40	650	73	2
2	0+012	0,85	907	71	2

Fuente: Autor

Gráfico 25. Inspección PCM/ACVG segmento 59

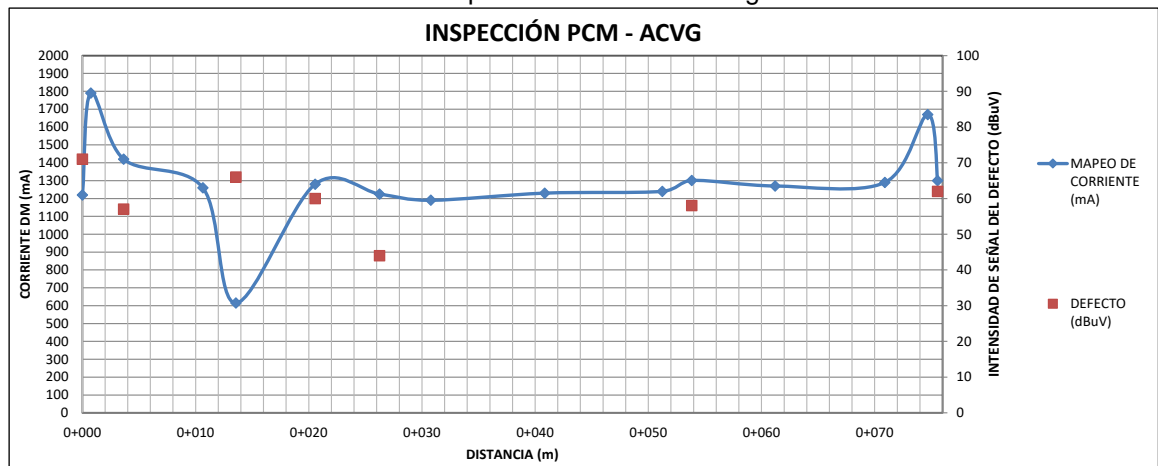


Figura 57. Recorrido segmento 59

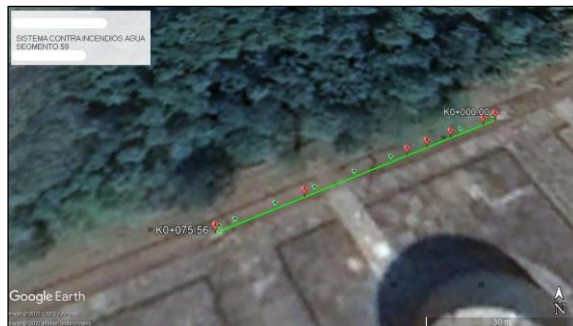


Figura 58. Inspección ACGV segmento 59



Tabla 26. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 59 SCI					
Línea SCI	Segmento 59	Longitud	76m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques de almacenamiento 80000-01/02/03					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,00	1220	71	2
2	0+004	0,40	1420	57	3

3	0+014	0,52	615	66	2
4	0+021	0,60	1280	60	3
5	0+026	0,60	1225	44	3
6	0+054	0,35	1301	58	3
7	0+076	0,00	1300	62	2

Fuente: Autor

Gráfico 26. Inspección PCM/ACVG segmento 65

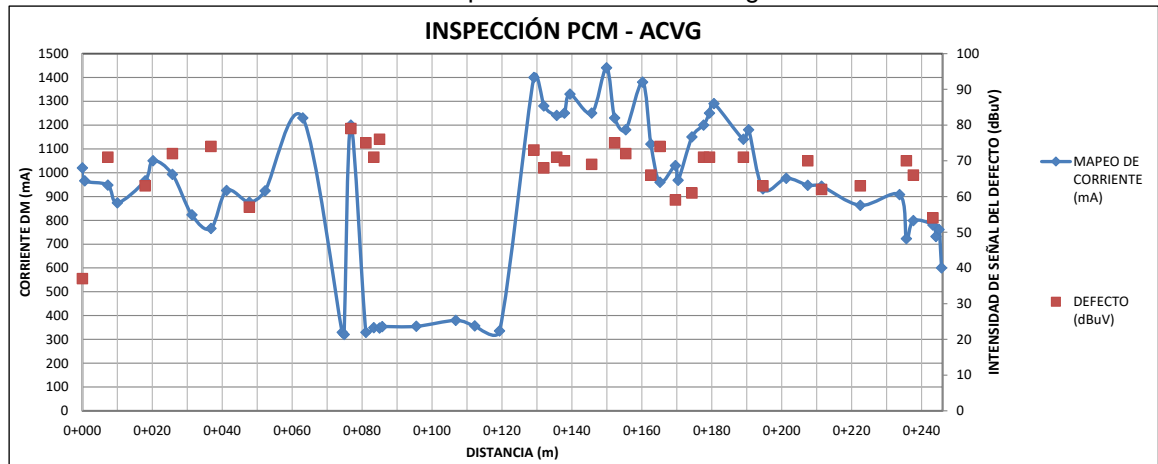


Figura 59. Recorrido segmento 65



Figura 60. Inspección ACGV segmento 65



Tabla 27. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 65 SCI					
Línea SCI	Segmento 65	Longitud	246m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques de almacenamiento 80000-01/02/03					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,42	1020	37	3
2	0+007	0,42	948	71	2
3	0+018	0,42	966	63	2
4	0+026	0,44	993	72	2
5	0+037	0,47	766	74	2
6	0+048	0,70	876	57	3

7	0+077	0,20	1200	79	2
8	0+081	0,35	330	75	2
9	0+083	0,40	349	71	2
10	0+085	0,40	348	76	2
11	0+129	0,78	1400	73	2
12	0+132	0,78	1280	68	2
13	0+136	0,85	1240	71	2
14	0+138	0,87	1250	70	2
15	0+146	0,85	1250	69	2
16	0+152	0,85	1230	75	2
17	0+155	0,85	1180	72	2
18	0+163	0,85	1120	66	2
19	0+165	0,85	960	74	2
20	0+170	0,65	1030	59	3
21	0+174	0,75	1150	61	2
22	0+178	0,90	1200	71	2
23	0+179	0,87	1250	71	2
24	0+189	0,75	1140	71	2
25	0+195	0,65	932	63	2
26	0+207	0,75	947	70	2
27	0+211	0,80	943	62	2
28	0+222	0,45	863	63	2
29	0+236	0,45	723	70	2
30	0+238	0,45	799	66	2
31	0+243	0,45	780	54	3

Fuente: Autor

Gráfico 27. Inspección PCM/ACVG segmento 67-1

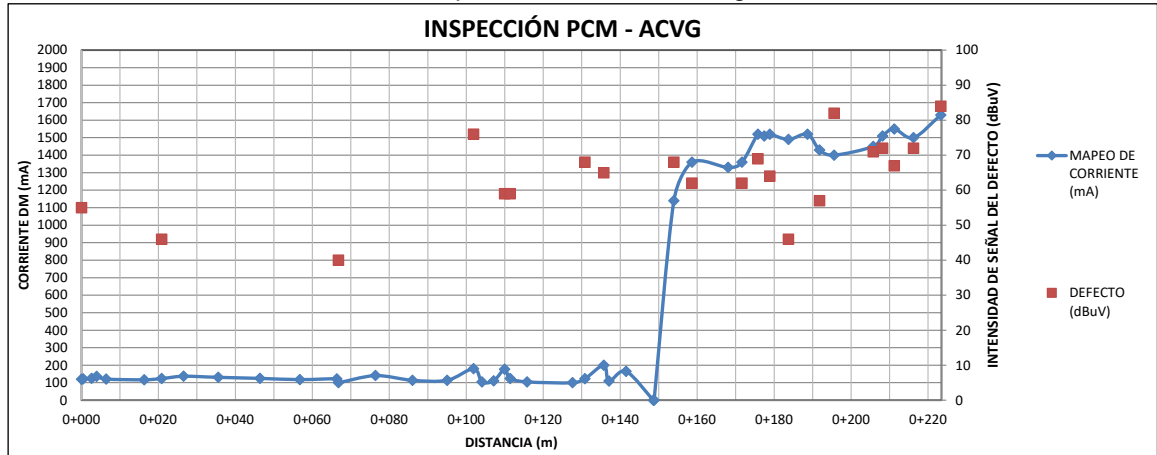


Figura 61. Recorrido segmento 67-1

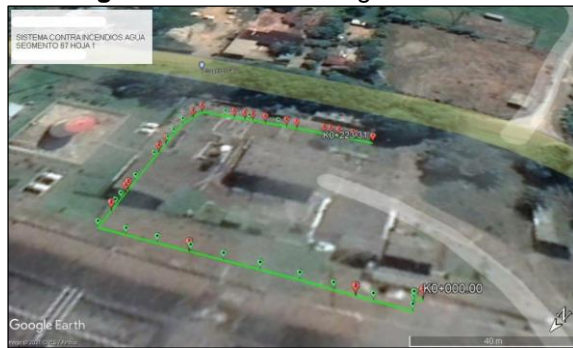


Figura 62. Inspección ACSV segmento 67-1

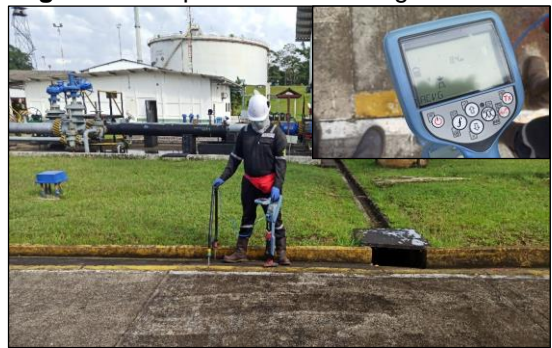


Tabla 28. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 67-1 SCI

Línea SCI	Segmento 67-1	Longitud	223m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques 80000-01/02/03 Y zona de proceso.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,35	120	55	3
2	0+021	0,75	124	46	3
3	0+067	1,10	101	40	3
4	0+102	0,25	180	76	2
5	0+110	0,50	177	59	3
6	0+111	0,41	124	59	3
7	0+131	0,30	123	68	2
8	0+136	0,35	200	65	2
9	0+142	0,50	165	71	2
10	0+149	0,45	INT	79	2 (se presenta interferencia)
11	0+154	0,55	1140	68	2
12	0+159	0,60	1360	68	2
13	0+172	0,80	1360	62	2

14	0+176	0,40	1520	69	2
15	0+179	0,40	1520	64	2
16	0+184	0,30	1490	46	3
17	0+192	0,45	1430	57	3
18	0+196	0,50	1400	82	1
19	0+206	0,20	1450	71	2
20	0+208	0,20	1510	72	2
21	0+211	0,20	1550	67	2
22	0+216	0,20	1500	72	2
23	0+223	0,28	1630	84	1

Fuente: Autor

Gráfico 28. Inspección PCM/ACVG segmento 67-2

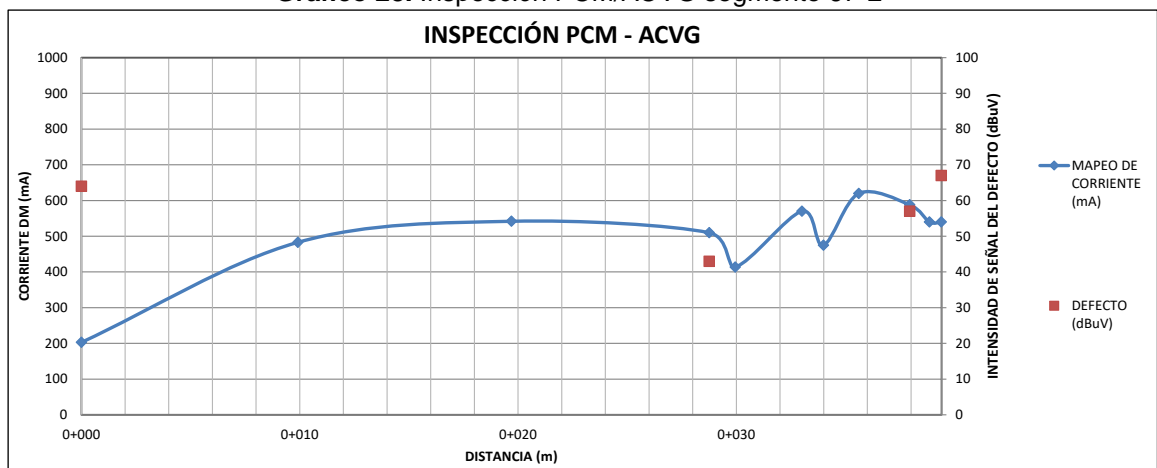


Figura 63. Recorrido segmento 67-2



Figura 64. Inspección ACGV segmento 67-2



Tabla 29. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 67-2 SCI					
Línea SCI	Segmento 67-2	Longitud	39m	Diámetro	6"
Descripción del segmento: Línea 6" alimentación anillo de hidrantes monitores en zona de tanques 80000-01/02/03 Y zona de proceso.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,65	203	64	2
2	0+029	0,70	510	43	3
3	0+038	0,30	588	57	3
4	0+039	0,05	540	67	2

Fuente: Autor

Gráfico 29. Inspección PCM/ACVG segmento 69

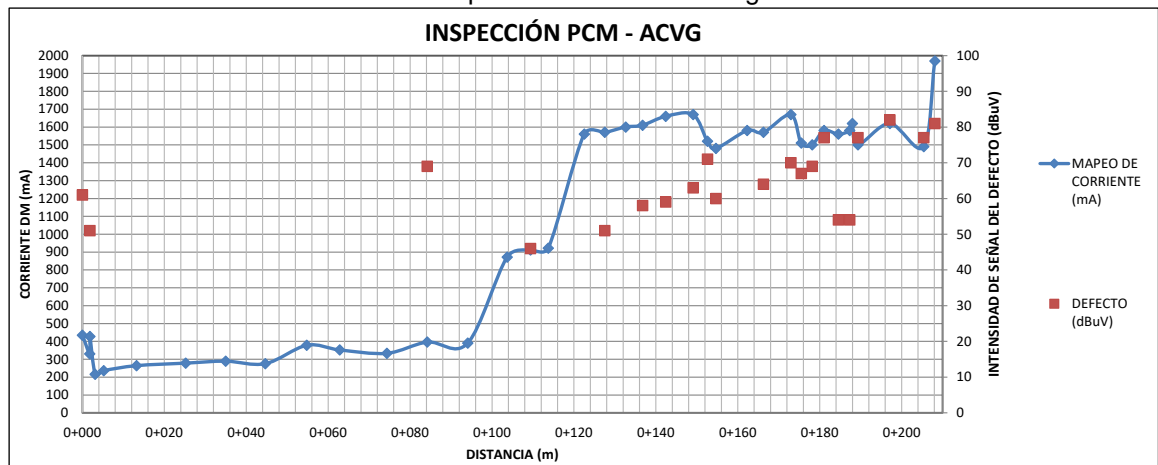


Figura 65. Recorrido segmento 69



Figura 66. Inspección ACGV segmento 69



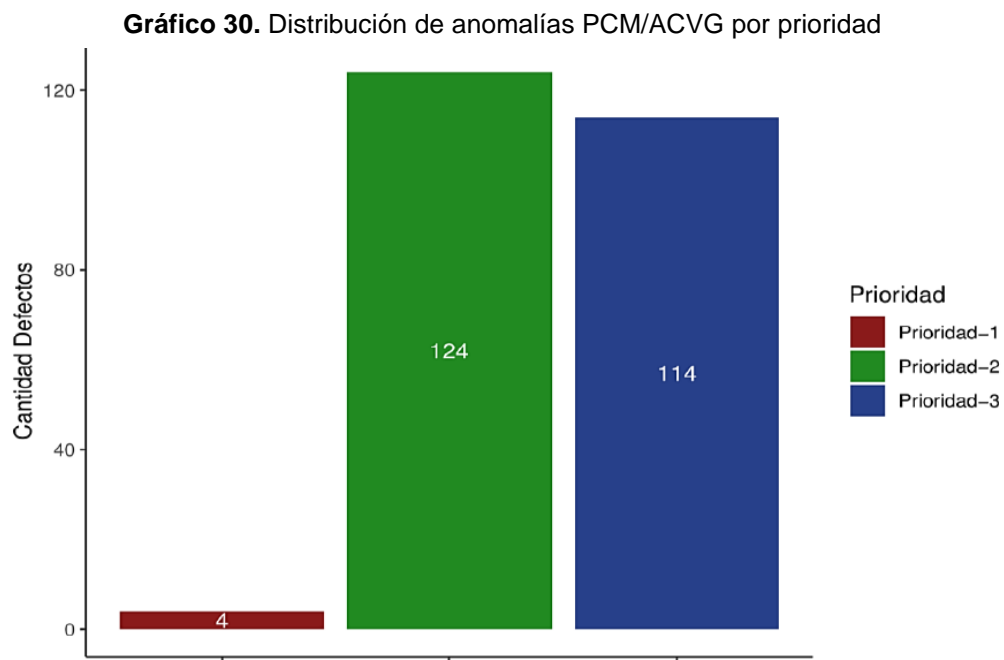
Tabla 30. Resultados de inspección PCM/ACVG segmento 69 SCI					
Línea SCI	Segmento 69	Longitud	208m	Diámetro	4"
Descripción del segmento: Línea 4" alimentación de agua hacia hidrante NMA 67 ubicado en la zona del descargadero de carro tanques de la estación.					
RESULTADOS INSPECCIÓN PCM					
# Indicación	Abcisa	Profundidad tubería (m)	Corriente PCM (mA)	Señal (dB)	Nivel de Prioridad
1	0+000	0,30	435	61	2
2	0+002	0,10	428	51	3
3	0+084	1,00	396	69	2
4	0+109	1,00	912	46	3
5	0+128	1,00	1570	51	3
6	0+137	1,00	1610	58	3
7	0+142	1,00	1660	59	3
8	0+149	1,00	1670	63	2
9	0+153	1,00	1520	71	2
10	0+155	1,00	1480	60	3
11	0+166	0,55	1570	64	2
12	0+173	0,55	1670	70	2
13	0+175	0,55	1510	67	2
14	0+178	0,55	1500	69	2
15	0+181	0,33	1580	77	2
16	0+185	0,33	1560	54	3
17	0+187	0,33	1580	54	3
18	0+189	0,33	1500	77	2
19	0+197	0,33	1620	82	1
20	0+205	0,33	1490	77	2
21	0+208	0,33	1970	81	1

Fuente: Autor

6. RESULTADOS

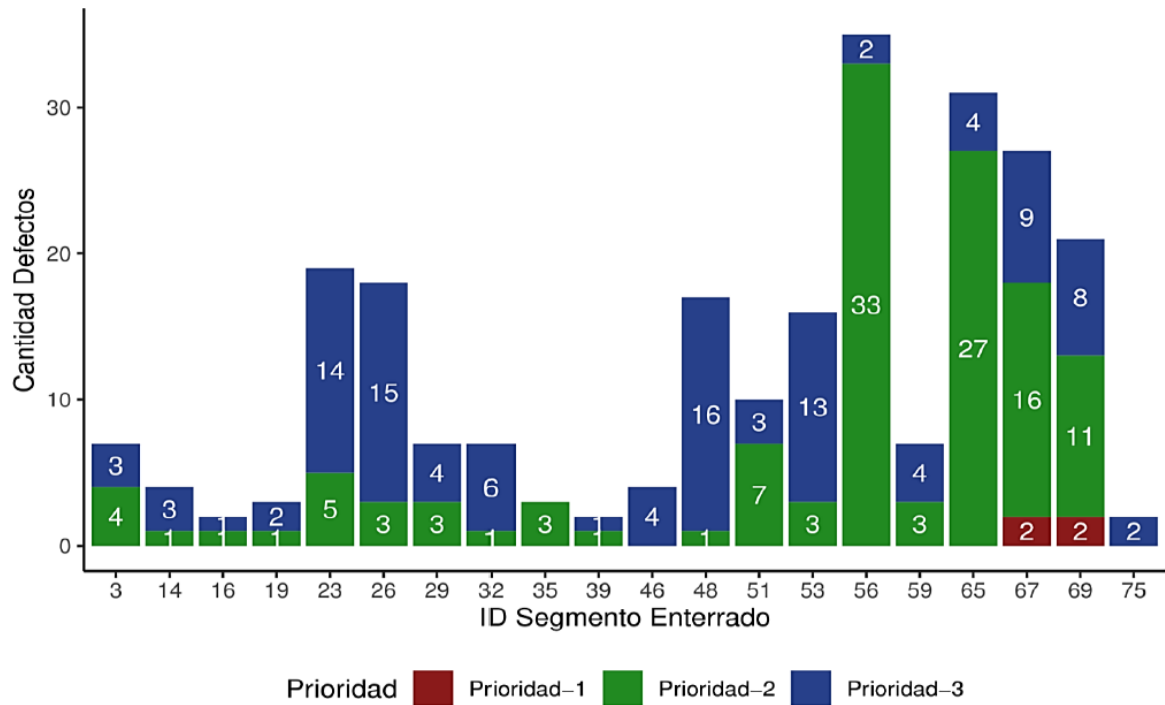
A pesar de que se presentan complicaciones en el uso de técnicas de inspección indirecta PCM/ACVG, como la presencia de interferencias eléctricas generadas por tuberías cercanas de mayor diámetro, sistemas de puesta a tierra conectados a las estructuras, y en algunos casos la dificultad para la detección de la tubería enterrada, debido a que no se pueden conectar las redes punto a punto, causando que la corriente se desvíe en otras direcciones y se dificulte la detección del flujo de corriente, además de algunas limitaciones propias de la técnica, la inspección indirecta de recubrimientos en tubería enterrada en este caso específico, muestra resultados satisfactorios, al poder localizar y clasificar de acuerdo a una escala de severidad la afectación que tiene las redes enterradas, igualmente la facilidad para dar prioridad a los segmentos más afectados por esta condición.

Según el **gráfico 30** se evidencia un total 242 defectos enterrados, distribuidos en 4 defectos con prioridad (1), 124 defectos con prioridad (2) y 114 defectos con prioridad (3).



El segmento enterrado que evidencia más defectos es el designado como 56, con un total de 35 defectos y en su mayoría con prioridad (2), los segmentos designados como 67 y 69 son los únicos que evidencian defectos con prioridad 1, cada uno de ellos con una cantidad de 2 defectos. La distribución de anomalías ubicadas por segmentos se muestra en el **gráfico 31**.

Gráfico 31. Distribución de anomalías PCM/ACVG por segmentos.



6.1 AFECTACIÓN OPERATIVA Y ECONÓMICA DE LA ESTACIÓN

Partiendo del supuesto que el sistema de agua contra incendios presente una falla y a partir de datos obtenidos en campo, tenemos como resultado que habría una parada repentina en el despacho y bombeo de crudo de la estación, generando sobrecostos en el proceso y pérdidas económicas por venta de cada barril de crudo, dicha afectación se vería reflejada como se muestra en la **tabla 31**.

La estación objeto del estudio bombea diariamente un promedio de 3.500Bbl/h, en un despacho continuo de 8hr, es decir, aproximadamente 28.000Bbl/día, además de las pérdidas ocasionadas por la atención de la contingencia lo cual implicaría, apertura de excavaciones, reparación mediante la instalación de camisas contenedoras o cambios de tramos de tubería, reparaciones de recubrimiento, mano de obra, entre otros gastos.

Tabla 31. Referencia estimada de pérdidas económicas por interrupción en operación del sistema de despacho de la Estación.

SISTEMA	TIEMPO DE ATENCIÓN DE CONTINGENCIA (Tubería Enterrada)*	BOMBEO PROMEDIO DEL SISTEMA DE DESPACHO /DÍA**	COSTO BARRIL (dólares)***	VALOR DÓLAR TRM**** (pesos COP)	TOTAL, PÉRDIDA/DÍA Dólares (COP)
SCI AGUA	24 – 48 Horas	28.000Bbl	80,34	3.995	2'249.520 (8.896'832.400)
*Tiempo asumido para atención de la contingencia. **Datos de bombeo suministrados por operaciones de la Estación ***Costo del barril de crudo a fecha de la realización de la inspección. ****Valor de cambio del dólar a fecha de realización de la inspección.					

Fuente: Autor

En la práctica y para evitar una futura falla del SCI, el dueño del activo toma la decisión de adoptar un programa de integridad estructurado y aplicable para este tipo de sistemas, con lo que se garantizará una predicción segura a futuros eventos de este tipo, haciendo uso de ensayos no destructivos y en este caso una técnica emergente como el PCM.

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la inspección PCM/ACVG, se determinan segmentos críticos que requieren atención inmediata, es el caso de los segmentos 67 y 69, los cuales presentan indicaciones de prioridad (1) y el segmento 56 con 35 defectos en su mayoría prioridad (2), resultando en tramos de tubería críticos para el funcionamiento del sistema contra incendios, ya que son los que pueden causar una falla inminente del sistema, provocando interrupción en la operación normal de la estación, además de las pérdidas económicas que ascenderían aproximadamente a US\$ 2'249.520, de acuerdo a la información suministrada en campo y calculada al valor del barril de crudo a la fecha de inspección del sistema (noviembre 2021).
- Para el desarrollo de la monografía se tomó en cuenta un caso en particular, el cual comprende un sistema SCI de agua, ubicado a lo largo de una estación de almacenamiento y bombeo de crudo, el cual se conforma de redes de tubería aérea y enterrada, siendo éstas últimas el eje central de estudio. El sistema fue segmentado y se evaluaron 21 tramos enterrados mediante la técnica de inspección indirecta de PCM/ACVG.
- La recopilación de información se realiza en campo, utilizando métodos de inspección indirecta de recubrimientos mediante las técnicas PCM/ACVG, previa segmentación, se determinan los tramos enterrados y se entrega un compilado de resultados por segmento, determinando así las zonas más críticas para su pronta atención de acuerdo a los niveles de prioridad expuestos en cada una de las tablas de resultados, siendo los segmentos con indicaciones más relevantes el 67 y 69 cada uno con 2 indicaciones prioridad (1), al igual que los segmentos 56 y 65 que debido a la extensión de los tramos enterrados se ubican una cantidad considerable de indicaciones, en su mayoría prioridad (2) con el agravante de que algunas están al límite de elevar su prioridad a nivel (1).

- Se concluye que los mecanismos de daño activos en el sistema son:
 - Corrosión interna
 - Corrosión externa
 - Corrosión por suelos
 - Daños en recubrimientos

Los cuales desencadenarían una pérdida de contención del sistema, ocasionando paradas inminentes en los procesos operativos, especialmente en el bombeo y despacho de crudo de la estación, que a su vez se reflejan en pérdidas monetarias, ya que es la principal actividad económica de la estación.

- Se establece con esta evaluación, una línea base para próximas inspecciones, ya que el sistema no cuenta con historiales de inspección y monitoreo que permitan determinar de manera precisa las velocidades de corrosión y el avance de los daños en el recubrimiento a través del tiempo. Los intervalos de inspección de los tramos enterrados están dados por el nivel de prioridad que se establecen para cada segmento, prioridad 1 (atención inmediata), prioridad 2 (atención entre 12 y 24 meses) y prioridad 3 (atención y monitoreo en una próxima inspección).
- Dentro de las acciones para la atención, mitigación y/o corrección de defectos se deben programar excavaciones para realizar inspección directa del estado del recubrimiento y de la tubería además de establecer las reparaciones necesarias, igualmente considerar estudios fisicoquímicos del agua y del suelo para determinar los posibles mecanismos de daño bien sea internos y/o externos en el sistema SCI, igualmente una evaluación de la efectividad de los sistemas de protección catódica y así elaborar un plan que se ajuste a las necesidades de atención, monitoreo e inspección del sistema.

8. RECOMENDACIONES

- **Excavaciones para seguimiento:**

Se recomienda realizar excavaciones en las siguientes ubicaciones según los hallazgos reportados por ACVG e inspección visual.

La dimensión mínima de la excavación, teniendo en cuenta las consideraciones de API 570 numeral 9.8.5, debe garantizar una longitud mínima de inspección de 2 m a 2,5 m y toda la circunferencia del tubo sin recubrimiento. Si la inspección directa revela deterioro del recubrimiento o zonas con corrosión se recomienda ampliar la excavación hasta encontrar áreas sanas.

Con el fin de determinar una frecuencia de inspección para las zonas enterradas se recomiendan los siguientes ensayos:

- Análisis fisicoquímico del suelo
- Medición de resistividad del suelo
- Toma de potenciales

- **Seguimiento ACVG indicación enterrada prioridad 1**

Se recomienda realizar reparación inmediata de las indicaciones ACVG que estén por encima de 80 dBuV.

- **Seguimiento ACVG indicación enterrada prioridad 2**

Se recomienda realizar reparación de 12 a 24 meses de las indicaciones ACVG que estén en el rango de 60 dBuV a 80 dBuV.

- **Seguimiento ACVG indicación enterrada prioridad 3**

Se recomienda realizar seguimiento en la próxima inspección de las indicaciones ACVG que estén en el rango de 30 dBuV a 60 dBuV.

- Se recomienda realizar una evaluación fisicoquímica del agua contenida y usada para el funcionamiento del sistema, para determinar la presencia de posibles agentes corrosivos internos, especialmente por la acción de bacterias.
- Se recomienda validar la posibilidad de realizar tratamiento químico adecuado del agua, controlando variables como PH, alcalinidad, oxígeno disuelto y uso de inhibidores de corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

[1] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 2030 Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries, 4th edition EEUU, ASIN: B00PXDPQH6. 2014. 21 p.

[2] PEÑUELA, Javier. Información general sobre la técnica de inspección mediante PCM. [citado en 24 Mayo de 2022]. Disponible en Internet: https://www.academia.edu/31260030/TECNICA_PCM

[3] RADIODETECTION, PCMx: faster pipeline surveying with simultaneous data gathering , Reino Unido , 2019. 85 p.

[4] NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS, TM0109-2009, Aboveground Survey Techniques for the Evaluation of Underground Pipeline Coating Condition. ISBN: 1575902265, 2009. 36 p.

[5] BOMBAS GRUNDFOS ESPAÑA S.A. Bomba jockey [citado en 20 Mayo de 2022]. Madrid, 2022 Disponible en Internet: <https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/jockey-pump>

[6] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Managing System Integrity Of Gas Pipelines B31.8S, ISBN: 9780791873878. 2020. 71p