

**EVALUACIÓN DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO  
URBANO EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)  
- PRACTICA EMPRESARIAL-**

**MAURICIO ALEXANDER MANTILLA PARRA  
FABIO AUGUSTO HINCAPIE HENAO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2004**

**EVALUACION DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO  
URBANO EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)  
- PRACTICA EMPRESARIAL -**

**MAURICIO ALEXANDER MANTILLA PARRA  
FABIO AUGUSTO HINCAPIE HENAO**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para  
optar al título de Ingeniero Metalúrgico**

**DIRECTOR: CUSTODIO VASQUEZ QUINTERO  
Ingeniero Msc. Metalúrgico**

**CODIRECTORA: SILVIA INES PÉREZ LESMEZ  
Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA  
2004**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la fortaleza para la realización de esta meta.

A mi madre Luz marina por todo el amor, cariño, ayuda y comprensión que me ha brindado.

A mi padre Hernando por toda la colaboración y solidaridad que me ha dado.

A mi hermana Luz Stella que es mi segunda madre.

A mis hermanos, sobrino y demás familiares.

A mis grandes amigos y amigas que aprecio y estimo.

A mis compañeros y profesores de la universidad.

A la Escuela por formarme y brindarme los medios necesarios para cumplir con este objetivo.

**MAURICIO.**

## **DEDICATORIA**

Al gran amor de mi vida mi madre Martha Cenelia, quien me educó, con ese carácter batallador y luchador, en busca siempre de mejorar.

Mi padre Celestino ese hombre que además de ser mi progenitor, ha sido mi mejor amigo, acompañándome en lo mejores y peores momentos de mi vida, dándome ese aliento necesario para continuar.

Mis compañeros, con quienes compartí los mejores años de mi vida en la universidad, y recibí su apoyo incondicional en todo momento.

A los profesores de la escuela de Ingeniería Metalúrgica, quienes me dieron una formación humana y profesional de la cual me siento muy orgulloso y afortunado de haber recibido y aplicado durante la realización de este proyecto.

**FABIO.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente estudio expresan sus más sinceros agradecimientos a:

ORLANDO CELIS ALDANA, Medico y cirujano, Alcalde de Rionegro 2001-2003.

SILVIA INES PEREZ LESMES, Ingeniera Civil, Secretaria de Infraestructura y Planeación del municipio de Rionegro 2001-2003, Tutora de la práctica por su colaboración y orientaciones.

CUSTODIO VASQUEZ QUINTERO, Ingeniero Metalúrgico, Profesor de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director del proyecto.

LUIS CARLOS ZAMBRANO GARZON, Ingeniero Metalúrgico, Inspector Ultrasonido nivel II Tuboscope Brandt de Colombia, por su gran apoyo recibido y colaboración como Inspector de campo.

ALCALDIA DE RIONEGRO – SANTANDER Y EMPRESA DE SERVICIOS VARIOS “EMSERVIR”, por facilitar todo el personal necesario del acueducto para la realización de este proyecto.

Ph.D. DARIO PEÑA Y GRUPO DE INVESTIGACION EN CORROSION (GIC)

AMBROSIO CARRILLO, WILSON VESGA, DANIEL GARAVITO Y DEMAS TECNICO, Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	
OBJETIVOS	
ALCANCE	
1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)	1
1.1. RESEÑA HISTORICA	1
1.2. POBLACION	1
1.3. ACTIVIDAD ECONOMICA	1
1.4. ASPECTO GEOGRAFICO	2
1.5. ASPECTO GEOLOGICO	3
1.6. ASPECTO AMBIENTAL	4
1.6.1. Climatología	4
1.6.2. Precipitación	4
1.6.3. Temperatura	5
1.6.4. Brillo solar y Nubosidad	6
1.6.5. Humedad relativa	6
1.7. SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA Y PLANEACION	6
1.8. GENERALIDADES DEL ACUEDUCTO URBANO	7
1.8.1. Historia	7
1.8.2. Aspecto administrativo	7
1.8.3. Funcionamiento del acueducto urbano	9
2. METODOLOGIA PROPUESTA	17
2.1. ENSAYO DE CAMPO	17
2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO	18

3. INSPECCION VISUAL Y LEVANTAMEINTO TOPOGRAFICO	19
3.1. FUNDAMENTO TEORICO	19
3.2. ANALISIS	21
4. CARACTERIZACION DEL MATERIAL DE LA TUBERIA	22
4.1. FUNDAMENTO SOBRE ALEACIONES DE HIERRO - CARBONO	22
4.2. DETERMINACION DE LA COMPOSION QUIMICA DEL MATERIAL	23
4.2.1. Los espectros de emisión	23
4.2.2. Resultados	24
4.3. METALOGRAFIA	25
4.3.1. Fundamento teórico	25
4.3.2. Procedimiento de pulido	25
4.3.3. Análisis metalográfico	26
4.4. VELOCIDAD ACUSTICA DEL MATERIAL	33
4.4.1. Generalidades	33
4.4.2. Resultado	34
4.5. PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS FUNDICIONES GRISES	34
5. CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE AGUA	37
5.1. pH	38
5.1.1. Fundamento teórico	38
5.1.2. Técnica a utilizar	39
5.1.3. Resultados	39
5.2. DUREZA TOTAL	40
5.2.1. Fundamento teórico	41
5.2.2. Resultado	41
5.1. OXIGENO DISUELTO	42
5.3.1. Fundamento teórico	42
5.3.2. Resultado	43
5.4. TEMPERATURA	43
5.5. OTROS ENSAYOS FISICOQUIMICOS DE LA FUENTE HIDRICA	44

5.6. INCRUSTABILIDAD Y CORROSIVIDAD DEL AGUA	45
6. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL SUELO	50
6.1. pH	50
6.1.1. Fundamento teórico	50
6.1.2. Resultados	51
6.2. ANALISIS QUIMICO CUALITATIVO	51
6.3. HOMOGENEIDAD DEL SUELO	51
6.4. TEMPERATURA	52
7. RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO	53
7.1 MARCO TEORICO	54
7.2. RESULTADOS	56
8. POTENCIAL TUBERIA - SUELO	58
8.1. MARCO TEORICO	58
8.2. RESULTADOS	63
9. ENSAYO NO DESTRUCTIVO DE ULTRASONIDO	65
9.1 MARCO TEORICO	65
9.2. APLICACIONES	67
9.3. VENTAJAS DEL ENSAYO ULTRASÓNICO	67
9.4. PROCEDIMIENTO	67
9.5. RESULTADOS	68
10. CORROSION	69
10.1. FUNDAMENTOS DE CORROSION	71
10.2. FORMAS DE CORROSION	73
10.2.1. Corrosión uniforme	73
10.2.2. Corrosión localizada	73
10.3. RESULTADO DE CAMPO	76
10.4. TECNICAS ELECTROQUIMICAS PARA LA EVALUACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION EN LABORATORIO	79
10.4.1. Generalidades	79
10.4.2. Procedimiento	79

10.4.3 Materiales y equipos	80
10.4.4. Curvas de polarización Tafel	80
10.4.5. Resistencia a la polarización	82
10.4.6. Ensayo con corriente alterna (Impedancias)	84
10.4.7. Velocidad de corrosión por pérdida de peso (Método gravimétrico)	86
11. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE	90
11.1. GENERALIDADES	90
11.2. ASME B31.8 GUIA DEL MATERIAL 192.485: OTRAS LINEAS DE TRANSMISION EN FUNDICION O HIERRO DUCTIL	90
11.3. ANSI – ASME B31G “DETERMINACION DEL ESFUERZO REMANENTE EN TUBERIA CORROIDA”	91
11.4. ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL	95
● SECTOR 1	95
● SECTOR 2 Y 3	97
● SECTOR 4	99
● SECTOR 5	101
● SECTOR 6	102
● SECTOR 7	104
● SECTOR 8	105
● SECTOR 9 y 10	107
● SECTOR 11	109
● SECTOR 12	110
12. CONCLUSIONES	112
13. RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 1.</b> Número de usuarios por estrato para el casco urbano de Rionegro	8
<b>Tabla 2.</b> Ensayos a realizar en campo	17
<b>Tabla 3.</b> Ensayos a realizar en laboratorio	18
<b>Tabla 4.</b> Composición química de la muestra ensayada	24
<b>Tabla 5.</b> Velocidades acústicas en ingeniería de materiales (ASTM E 494-89)	33
<b>Tabla 6.</b> Clasificaciones de durezas en aguas	41
<b>Tabla 7.</b> Predicción de las características del agua por LSI y RSI	47
<b>Tabla 8.</b> Análisis fisicoquímico del agua natural	48
<b>Tabla 9.</b> Relación entre pH y el efecto corrosivo del suelo sobre hierro	50
<b>Tabla 10.</b> Variación del pH de suelos	51
<b>Tabla 11.</b> Registros de datos y cálculos de resistividad eléctrica del Suelo	56
<b>Tabla 12.</b> Registros de datos potencial tubería – suelo	61
<b>Tabla 13.</b> Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 10” Tubería sin costura.	67
<b>Tabla 14.</b> Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 8”	67
<b>Tabla 15.</b> Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 6” Tubería sin costura.	68

<b>Tabla 16.</b>	Velocidad de corrosión calculada a partir de las curvas de polarización Taffel para la fundición gris	82
<b>Tabla 17.</b>	Determinación de velocidad de corrosión utilizando la técnica de resistencia a la polarización	83
<b>Tabla 18.</b>	Determinación de velocidad de corrosión utilizando la técnica de impedancias para la fundición gris del material de la Tubería	86
<b>Tabla 19.</b>	Resultados del método gravimétrico	89

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Ruta de Acceso (Tomado de INVIAS regional 22 Santander)	3
<b>Figura 2.</b> Etapas de potabilización del agua	12
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo de la metodología propuesta	
<b>Figura 4.</b> Diagrama Fe-C	22
<b>Figura 5.</b> Espectro de emisión de hidrógeno	24
<b>Figura 6.</b> Variación del pH del agua.	39
<b>Figura 7.</b> Gráfica de dureza total	40
<b>Figura 8.</b> Variación del oxígeno disuelto	43
<b>Figura 9.</b> Variación de la temperatura del agua	44
<b>Figura 10.</b> Perfil de temperatura del suelo	52
<b>Figura 11.</b> Medición de resistividad de suelos por el método de WENNER	54
<b>Figura 12.</b> Perfil de resistividad eléctrica del suelo	57
<b>Figura 13.</b> Potencial tubería – suelo	58
<b>Figura 14.</b> Diagrama E - pH para el sistema Fe – H <sub>2</sub> O a 25°C donde se muestran las diferentes zonas de corrosión, pasivación e inmunidad	59
<b>Figura 15.</b> Perfil de potencial tubería – suelo	62
<b>Figura 16.</b> Tipos de ondas ultrasónicas.	64

<b>Figura 17.</b> Celda de corrosión	70
<b>Figura 18.</b> Comportamiento de las curva de polarización Tafel de la Fundición gris	81
<b>Figura 19.</b> Comportamiento de la resistencia a la polarización de la Fundición gris	83
<b>Figura 20.</b> Diagrama Nyquist para fundición gris	85
<b>Figura 21.</b> Primer gráfico Bode $ Z $ Vs Frecuencia	86
<b>Figura 22.</b> Segundo grafico Bode $-q$ Vs Frecuencia	87
<b>Figura 23.</b> Modelo ASME B31G	91
<b>Figura 24.</b> Parámetros usados en el análisis de áreas corroídas	93

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pag.
<b>Fotografía 1.</b> Captación Quebrada Honduras	9
<b>Fotografía 2.</b> Desarenador K0+008	10
<b>Fotografía 3.</b> Tubería de transporte o conducción	11
<b>Fotografía 4.</b> Dosificación del alumbre	12
<b>Fotografía 5.</b> Sedimentador	14
<b>Fotografía 6.</b> Micrografía 1ex50.	25
<b>Fotografía 7.</b> Micrografía 2ex50	26
<b>Fotografía 8.</b> Micrografía 3inx50	26
<b>Fotografía 9.</b> Micrografía 4tx50	27
<b>Fotografía 10.</b> Micrografía 5tx50	27
<b>Fotografía 11.</b> Micrografía 6inx50	28
<b>Fotografía 12.</b> Micrografía 7inx50	28
<b>Fotografía 13.</b> Micrografía 1e100x	29
<b>Fotografía 14.</b> Micrografía 1in100x	29
<b>Fotografía 15.</b> Micrografía 1e500x	30
<b>Fotografía 16.</b> Micrografía 1in500x	30
<b>Fotografía 17.</b> Micrografía Ae500x	31

<b>Fotografía 18.</b> Micrografía Ain500x	31
<b>Fotografía 19.</b> Tipo de fractura en la fundición gris	34
<b>Fotografía 20.</b> Equipo NILSSON modelo 400	54
<b>Fotografía 21 y 22.</b> Electrodo de referencia Cu/CuSO <sub>4</sub> y multímetro de alta impedancia	59
<b>Fotografía 23.</b> Equipo Ultrasónico. Stresstel Corporation T-Mike ES.	65
<b>Fotografía 24.</b> Pit Gage para Medición del picado	77
<b>Fotografía 25.</b> Corrosión Gráfica 50X aumentos	78
<b>Fotografía 26.</b> Cupón de fundición gris	87
<b>Fotografía 27.</b> Tubería K0+01	93
<b>Fotografía 28.</b> Tubería K0+21	95
<b>Fotografía 29.</b> Tubería K0+144	97
<b>Fotografía 30.</b> Tubería K0+179	99
<b>Fotografía 31.</b> Tubería K0+790	100
<b>Fotografía 32.</b> Tubería K0+880	102
<b>Fotografía 33.</b> Tubería K1+064	103
<b>Fotografía 34.</b> Tubería K1+521	105
<b>Fotografía 35.</b> Tubería K1+167	107
<b>Fotografía 36.</b> Tubería K1+849	108

## **TITULO. EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO URBANO EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)\***

**AUTORES. MANTILLA, Mauricio e HINCAPIE, Fabio\*\***

**Palabras Claves:** Rionegro, acueducto, corrosión, tubería, ensayos no destructivos.

En este estudio se presenta la evaluación de la tubería de transporte de agua del acueducto urbano de Rionegro Santander, que fue construido en 1958. La alcaldía municipal de ese entonces la construyeron basados en la experiencia y la práctica de los maestros de obra que dirigían la planta de obreros, donde no existen estudios técnicos ni planos topográficos de la localización y diseño de redes de conducción de agua.

La metodología propuesta en este proyecto se basa en pruebas de campo y laboratorio relacionados con los factores más influyentes en el proceso corrosivo del material de la tubería enterrada y terrestre. En las diferentes pruebas de campo propuestas, recopilan información muy importante in situ, donde se estudia el daño por corrosión de la tubería en su medio ambiente, que junto con las demás pruebas de laboratorio, permita evaluar su estado actual empleando para esto el modelo matemático ASME B31G sugerido por la guía del material 192.485 de ASME B31.8.

En la caracterización del material de la tubería corresponde a una fundición de grafito laminar en matriz ferrítica. En campo se observó las diversas formas de corrosión como: uniforme, galvánica, por rendijas en las uniones espiga - campana, gráfica y por picadura; siendo la uniforme y de picado las de mayor influencia en los conceptos de aceptación o rechazo. En general la tubería de 8" pulgadas se encuentra en buenas condiciones, debido a que los factores fisicoquímicos del suelo favorecen a la tubería que se encuentra en su gran parte enterrada. La tubería de 10" y 6" es necesario aplicar las distintas medidas correctivas por su estado de deterioro. Se recomienda usar un recubrimiento orgánico para aquellos tramos que no fueron rechazados removiendo primero los productos de corrosión, y de acuerdo con ASME B31G, los tramos que tengan un espesor reducido o exceda la longitud máxima permitida del área corroída, el tramo del ducto debe ser reemplazado o bien, reparado utilizando camisas envolventes.

---

\* Trabajo de grado, Modalidad Práctica Empresarial

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
Director, Ing. Custodio Vásquez Quintero. Codirectora, Ing. Silvia Inés Perez

**TITLE. EVALUATION OF THE TRANSPORTATION PIPELINE OF THE URBAN AQUEDUCT IN THE MUNICIPALITY FROM RIONEGRO (S.S.) \***

**AUTHORS. MANTILLA, Mauricio and HINCAPIE, Fabio \*\***

**Keywords:** Rionegro, aqueduct, corrosion, pipeline, non-destructive testings.

In this study the evaluation of the transportation water pipeline from the urban aqueduct from Rionegro Santander appears, that was constructed in 1958. The municipal mayorship of that then ones constructed it based on the experience and the practice of the construction foremen who directed the plant of workers, where do not exist topographic technical nor flat studies of the location and design of networks of water conduction pipe.

The propose methodology in this project is based on field tests and laboratory related to the most influential factors in the corrosive process of the material of the buried and terrestrial pipe. In the different propose field tests, they compile very important information in situ, where the corrosion damage of the pipe is studied in its environment, that along with the other laboratory tests, it allows to evaluate its present state using for this mathematical model ASME B31G suggested by the guide of material 192,485 of ASME B31.8.

In the characterization of the material of the pipe it corresponds to a laminar graphite cast iron in ferritic matrix. In field it was observed the diverse forms of corrosion like: uniform, galvanic, by cracks in the unions gleans - bell, grafitic and pitting corrosion; being the uniform and pitting corrosion those of greater influence in the acceptance concepts or rejection. In general the 8"pipe inches is in good conditions, because the physicochemicals factors of the ground favor to the pipe that is in its great buried part. The pipe of 10"and 6" is necessary to apply the different corrective measures by its state from deterioration.It is recommended to use a organic coating for those sections that were not rejected removing the first products of corrosion, and in agreement with ASME B31G, the sections which they have a reduced thickness or exceeds the maxima length allowed the corroded area, the section of pipe must be replaced or, repaired with a cylindrical piece of pipe.

---

\* Degree work. Managerial Practical Modality

\*\* Faculty of Fisicoquímicas Engineerings. School of Metallurgical Engineering  
Director, Eng. Custodio Vásquez Quintero. Co-directora, Eng. Silvia Inés Pérez.

## INTRODUCCION

En este estudio se presenta la evaluación de la tubería de transporte de agua del acueducto urbano de Rionegro Santander, fue construido en 1958 en primera instancia mediante una bocatoma de fondo y en tubería de conducción de 10, 8 y 6 pulgadas. La alcaldía municipal de ese entonces la construyeron basados en la experiencia y la práctica de los maestros de obra que dirigían la planta de obreros, cabe resaltar que no existen estudios técnicos ni planos topográficos de la localización y diseño de redes de conducción de agua.

La corrosión electroquímica se da cuando los materiales metálicos en este caso en el sistema de transporte de agua, se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, o la humedad de la atmósfera. La presencia de moléculas de agua sobre la superficie es la condición necesaria para que ocurra el fenómeno corrosivo.

Las propiedades de los suelos están directamente relacionadas con el proceso corrosivo y específicamente con la velocidad de corrosión. La morfología del terreno, composición química y porcentaje de humedad son indicativos de las heterogeneidades que se presenta en la superficie de la tubería, y donde se relacionan con la formación de macro y microceldas de corrosión.

En el presente desarrollo se indican los procedimientos a seguir para la caracterización del material que recorre la tubería y el análisis del daño corrosivo tanto en el interior como en el exterior, así mismo se señalan los ensayos en campo y la laboratorio para la recolección de datos que permitan evaluar según la norma ASME B31G el estado actual de la tubería.

## **EVALUACION DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO URBANO EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un estudio técnico de la tubería de transporte del acueducto urbano del municipio de Rionegro (S.S.) que permita determinar las diferentes variables fisicoquímicas del agua y del suelo que afecten el buen funcionamiento de la misma.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la incidencia de los parámetros fisicoquímicos de la fuente hídrica como pH, temperatura, oxígeno disuelto, dureza total, y en los suelos como resistividad eléctrica, temperatura, composición química, pH a lo largo del material de la tubería de transporte.
- Evaluar las pérdidas de espesor promedio de la tubería por medio de ensayos no destructivos respecto a normas de referencia relacionada con la estructura.
- Determinar los tipos de corrosión que afectan la tubería de transporte enterrada y aérea.

- Proponer un programa de mantenimiento preventivo con la evaluación de la tubería que permita asegurar el futuro de la misma.

### **ALCANCE**

- En este estudio de la tubería metálica de transporte del acueducto urbano se identificaran los problemas por corrosión y su posible control, de acuerdo a las diferentes pruebas de campo y laboratorio de mayor influencia en la evaluación de su estado actual para la toma futura de decisiones de las autoridades relacionadas con la misma.

## **1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO (S.S.)**

### **1.1. RESEÑA HISTÓRICA**

El Municipio de Santa Bárbara de Rionegro fue fundado en el año de 1805 D.C. por José Gutiérrez Calderón, Facundo José Mutis, Andrés Ortiz y Enrique Puyana.

### **1.2. POBLACIÓN**

La población total del Municipio de Rionegro, según datos del Anuario 2002 de la oficina de planeación departamental de la Gobernación de Santander, es de 50.562 habitantes, con 24.924 hombres y 25.638 mujeres. En la cabecera Municipal existen 8.776 personas, mientras que en el resto del área Municipal viven 41.786 pobladores. El porcentaje de analfabetismo para este Municipio es del 38.7%. El indicador de necesidades básicas insatisfechas (NBI) para esta localidad es de 52.9%. La densidad total en habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km<sub>2</sub>) es de 39.67.

### **1.3. ACTIVIDAD ECONÓMICA**

Unos de los sectores económicos fuerte en la región es el sector agrícola donde se destaca en cultivos como: aguacate tradicional, maracuya, cacao tradicional, café tecnificado, cítricos tradicionales, cítricos tecnificados, palma africana, piña, plátano y yuca.

En cuanto a la explotación pecuaria, el número de productores del área municipal es la siguiente: bovina 1165 productores, porcina 75 productores, avícola 30 productores, apícola 50 productores. Para un total de 1320 productores en el sector. En el campo de la piscicultura, se cultivan especies como la cachama

blanca y la mojarra roja, con un total de 1530 estanques, en un área de 76.500 metros cuadrados y con un total de 350 productores.

Por último, vale la pena destacar, el tercer lugar a nivel departamental del Municipio de Rionegro en la producción de piña, con un 21.6% del producto interno departamental; y el segundo lugar en el cultivo de cítricos con un 20% del total de la producción departamental.

#### **1.4. ASPECTO GEOGRÁFICO**

El Municipio de Rionegro se localiza en el área septentrional (norte) del departamento de Santander, entre los 7 grados 15 minutos y los 7 grados 33 minutos de Latitud Norte y entre los 73 grados 2 minutos y los 73 grados 45 minutos de Longitud Oeste.

Los límites Municipales son: al norte con La Esperanza (Norte de Santander), San Alberto (Cesar), San Martín (Cesar) y El Playón (Santander), al sur con Lebrija, Girón y Bucaramanga, al occidente con Puerto Wilches y Sabana de Torres, al oriente con Matanza y Suratá (Fig. 1)

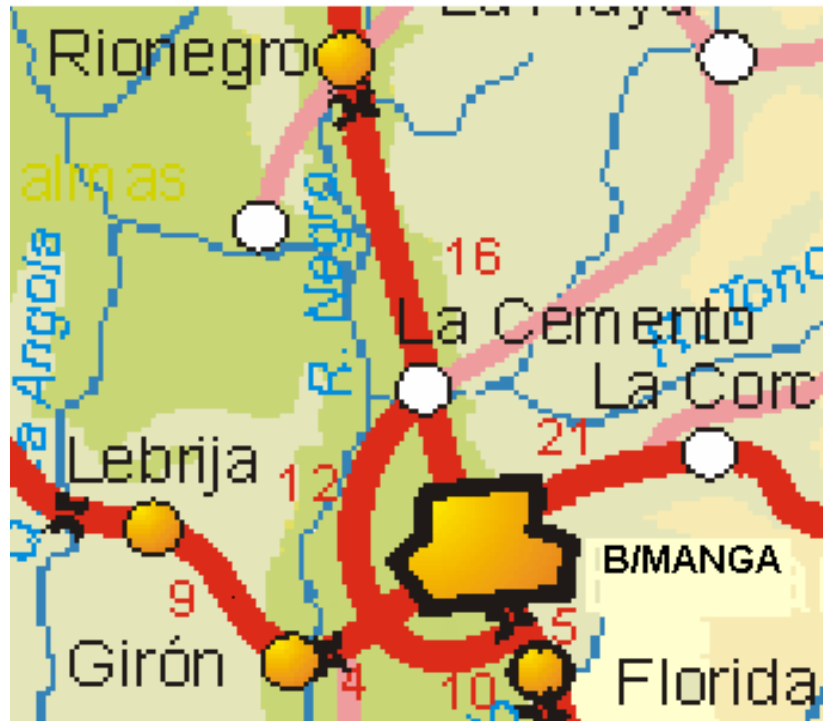


Figura 1. Ruta de Acceso (Tomado de INVIAS regional 22 Santander)

La principal vía de acceso al Municipio de Rionegro, lo constituye la carretera troncal del orden nacional, que comunica la ciudad de Bucaramanga con la costa Atlántica. Este Municipio se encuentra a 16 kilómetros de distancia de la capital santandereana y la carretera en su totalidad esta pavimentada, los deslizamientos y derrumbes en la vía son poco frecuentes.

## 1.5. ASPECTO GEOLÓGICO

**Batolito de Rionegro.** Corresponde a un evento plutónico, es decir, de origen magmático al interior de la corteza terrestre, que por actividades orogénicas y procesos erosivos a lo largo del tiempo geológico, constituyen el sustrato sobre el cual se fundamenta la base biofísica del municipio de Rionegro.

La masa en el extremo sur del batolito de Rionegro consiste de cuarzomonzonita, granito y granodiorita que yacen al oriente de la falla de Bucaramanga. El lado occidente del batolito es cortado por el trazo de esta estructura.

Este cuerpo geológico tiene por lo menos 50 kilómetros de longitud y se extiende hacia el norte por una distancia desconocida. En el sector del Municipio de Rionegro tiene una anchura de 14.5 kilómetros, mas hacia el norte alcanza los 20 kilómetros de ancho.

## **1.6. ASPECTO AMBIENTAL**

**1.6.1. Climatología.** En el Municipio de Rionegro no hay instaladas estaciones metereológicas e hidrológicas, pero en sus alrededores existe una red de estaciones metereológicas que se puede considerar medianamente densa, pero en cuanto a las hidrológicas es muy pobre. Según fuentes consultadas en la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB en el área municipal de Rionegro, se presenta alto grado de humedad, que se evidencia por el desarrollo de una vegetación ecuatorial, en la actualidad altamente intervenida. Esta zona se caracteriza por presentar entre la época de lluvias y el verano, valores moderados a altos de temperatura, niveles altos de humedad relativa y precipitaciones elevadas.

**1.6.2. Precipitación.** El régimen de lluvias en la zona es caracterizado por intensas precipitaciones, que varían entre 1300 a 3000 mm anuales. Se puede dividir el municipio en tres zonas: la zona montañosa, donde se localiza la cabecera municipal, la zona plana en cercanías al río Magdalena y la zona de colinas o intermedia entre las dos anteriores.

La estación más cercana al casco urbano es la Hacienda El Cocal y registra una lluvia media de 2832 mm. En la parte media, Hacienda El Tambor, con un valor de precipitación de 1717 mm y en la parte baja, estación Papayal con un promedio de 2652 mm.

La temporada de lluvias se presenta en dos intervalos al año, generando así dos épocas de verano entre ellas. Para la parte montañosa que es donde se localiza la tubería de transporte del acueducto municipal, los meses de invierno son marzo, abril y mayo para el primer periodo, que finaliza en el mes de febrero, es alto en pluviométrica y un segundo periodo en los meses de septiembre, octubre y noviembre. En los meses de Junio, julio y agosto presentan un leve descenso del volumen pluviométrico, generando un verano corto y suave, conocido o llamado como veranillo de San Juan o de mitad de año. El otro periodo seco corresponde a diciembre, enero y principios de febrero.

Las estaciones más representativas de la parte montañosa se localizan en Portachuelo y Llano de Palmas. En la estación de Portachuelo llueve 187 días al año, mientras que en la de Llano de Palmas llueve 118 días al año.

En conclusión se puede decir que el Municipio de Rionegro se caracteriza por un alta pluviométrica a nivel multianual, lo cual indica que es un área lluviosa con un 50% de eventos invernales al año. Esto afecta la tubería de transporte, por oxidación y corrosión de su estructura.

**1.6.3. Temperatura.** La temperatura media anual tiene un máximo medio de 25.2 grados centígrados y un mínimo medio de 21.3 grados centígrados.

**1.6.4. Brillo solar y nubosidad.** En el Municipio de Rionegro se presentan 1912 horas de brillo solar al año. De los meses de diciembre a febrero y entre Junio y agosto se presentan los mayores registros de brillo solar, con un promedio mensual de 94.5 y 226 horas de radiación. El mes con mayor número de horas de insolación es enero y el mes de menor es marzo. La nubosidad alcanza la mayor proporción entre los meses de abril a octubre con un mínimo entre diciembre y febrero.

**1.6.5. Humedad relativa.** Los mayores valores de humedad se presentan en los meses de invierno: Abril a mayo y septiembre a noviembre. Los valores mínimos entre junio, julio y agosto. Los máximos niveles de humedad relativa se presentan en los intervalos de mayor pluviosidad antes mencionados. La humedad relativa media mensual esta entre el 72-92% con un promedio de 85%

## **1.7. SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA Y PLANEACION**

Esta dependencia de la alcaldía municipal está comprometida con el desarrollo regional en el campo tecnológico, en la planeación del Municipio, en infraestructura, así como también del mejoramiento de los servicios públicos (agua, luz y alcantarillado) y del desarrollo urbano.

Se define planeación en Rionegro, como el conjunto de actividades, procesos y proyecciones que regulan el desarrollo físico urbano, generando impacto social y económico equilibrado y ajustado a las bondades que el municipio ofrece.

Como Secretaria de este despacho se desempeñó en el periodo 2001 – 2003 la Ingeniería Civil Silvia Inés Pérez Lesmes, ejerciendo además la tutoría y dirección de este proyecto en el municipio.

## **1.8. GENERALIDADES DEL ACUEDUCTO URBANO**

**1.8.1. Historia.** El Acueducto urbano de Rionegro Santander fue construido en 1958 en primera instancia mediante una bocatoma de fondo y en tubería de conducción de 10, 8 y 6 pulgadas. La Alcaldía Municipal de ese entonces lo construyó basado en la experiencia y en la práctica de los maestros de obra que dirigían la planta de obreros.

**1.8.2. Aspecto administrativo.** El acueducto es administrado por el municipio a través de la Empresa de Servicios Varios “EMSERVIR”, cuenta con una planta de tratamiento tipo convencional que registra 15 años de servicio y posee una capacidad de funcionamiento de 20 litros/seg, limitada por el tanque de almacenamiento con capacidad de 450 m<sup>3</sup> y un tanque auxiliar de 250 m<sup>3</sup> para una cobertura del 99% de la población correspondiente al casco urbano, representado en 1160 usuarios representados en la tabla 1, donde actualmente se pretende ampliar y/o construir nuevas redes de conducción para aumentar la capacidad del acueducto y así extender el servicio a una mayor población.

ZONA / ESTRATO	N° USUARIOS	ACUEDUCTO	
		SI	NO
Comercial (C1)	195	195	-
Comercial (C2)	11	11	-
Institucional (IN)	2	2	-
Oficial (OF)	27	27	-
Residencial (R1)	95	95	-
Residencial (R2)	388	388	-
Residencial (R3)	431	431	-
Residencial (R4)	11	11	-
TOTAL	1160	1160	0

**Tabla 1. Numero de usuarios por estrato para el casco urbano de Rionegro**

En la planta de tratamiento se toman muestras periódicas de agua, que se analizan posteriormente en la Secretaria de Salud de Santander y el Hospital de San Antonio de Rionegro, para garantizar su calidad referente a requerimientos tanto Biológicos como fisicoquímicos. El acueducto urbano cuenta con un personal de tres operarios en la planta y un fontanero que están bajo órdenes directas de la Empresa de Servicios Varios, cuyo gerente es nombrado por la Junta Directiva, presidida por el señor alcalde.

Las siguientes autoridades estuvieron relacionadas con el acueducto urbano en el periodo 2001 – 2003: Dr. Orlando Celis Aldana - alcalde, Ing. Jaime Luis Parra - gerente de EMSERVIR, Ing. Silvia Inés Pérez Lesmes - Secretaria de Infraestructura y Planeación.

### **1.8.3. Funcionamiento del acueducto urbano**

Las siguientes son las diferentes etapas de la potabilización del agua procedente de la fuente natural (Fig. 2):

- ***Captación***

A Través de ella se extrae del río o fuentes, el agua necesaria para el tratamiento, en este caso la fuente hídrica es la Quebrada Honduras (Fotografía 1).



**Fotografía 1. Captación Quebrada Honduras**

- ***Desarenación***

El desarenado tiene por objeto extraer del agua natural, la grava, arena y partículas minerales, más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y para proteger las tuberías y bombas contra la abrasión. El desarenado se refiere normalmente a las partículas a 0.2 mm. En el acueducto urbano cuenta con dos desarenadores (Fotografía 2).



**Fotografía 2. Desarenador K0+008**

- ***Conducción***

En este proceso se transporta el agua natural hasta la planta de tratamiento, por medio de la tubería de conducción, siendo la etapa de mayor interés del estudio, y en la que se busca detectar problemas o fallas que ocasionen interrupciones importantes en el transporte del fluido, donde en repetidas ocasiones ha habido suspensión del servicio de acueducto por fallas atribuidas a eventos naturales, y al proceso de corrosión sin que se haya tenido un programa de mantenimiento y protección adecuada al sistema de transporte (Fotografía 3).



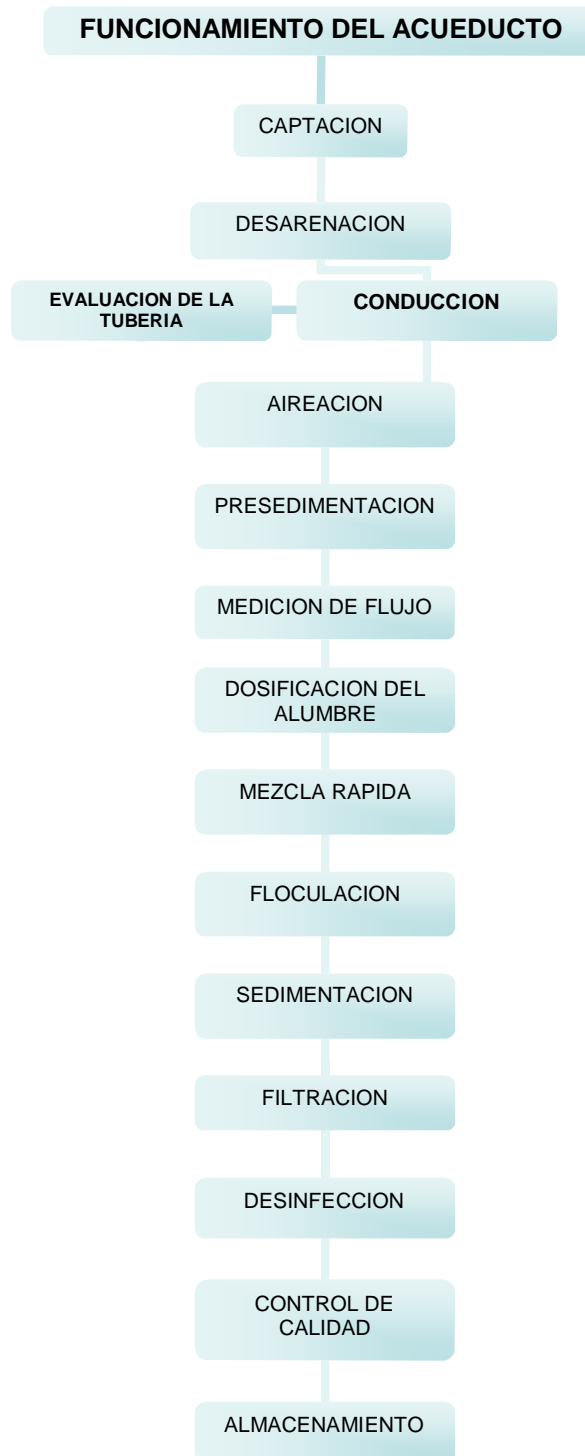
**Fotografía 3. Tubería de transporte o conducción**

- ***Aireación***

En este tipo de aireación de agua, se enriquece con oxígeno directamente de la atmósfera por la turbulencia creada, y la renovación constante de la interfase aire-agua, en donde las partículas de agua son lanzadas a la atmósfera, lo que produce un aumento de la superficie de agua en contacto con el aire por medio de saltos, eliminando así olores y sabores producidos por gases disueltos.

- ***Presedimentación***

Con este sistema se elimina las partículas sólidas y nivel de turbidez, en los tanques de quietamiento.



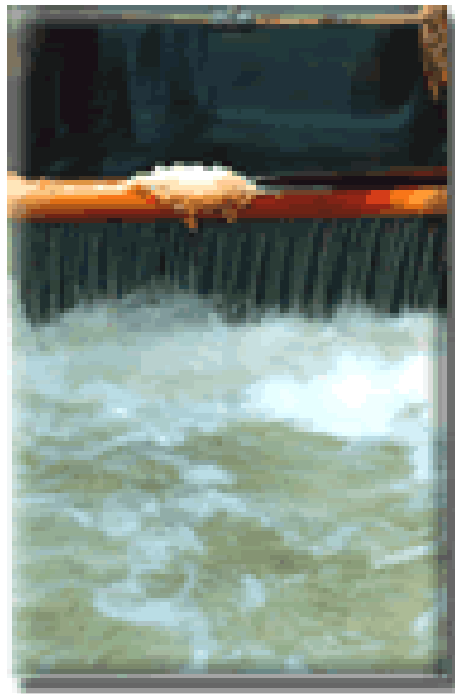
**Figura 2. Etapas de potabilizacion del agua**

- **Medición de flujo**

En el acueducto de Rionegro se realiza la medición del caudal de agua, que entra en la planta de tratamiento en forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera y medir el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante de tiempo, teniendo un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo.

- **Dosificación del alumbre**

Consiste en agregar al agua la cantidad necesaria de sulfato de aluminio, para eliminar la mayor cantidad de partículas en un proceso llamado coagulación, en la que se reduce ó anula las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión (Fotografía 4).



**Fotografía 4. Dosificación del alumbre**

- **Mezcla rápida**

Permite mezclar rápidamente el agua de tratamiento y el sulfato de aluminio.

- **Floculación**

Una vez dispersado el coagulante, hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es producido por el contacto entre partículas debido al gradiente de velocidad. El objetivo que se persigue con esta característica es: reunir los microfloculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua y compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación. La velocidad con que se unen las partículas para formar el floc está determinada por el número de contacto entre las mismas en la unidad de tiempo.

- **Sedimentación**

Una vez floculada el agua el problema radica en separar los sólidos del líquido o sea las partículas coaguladas del medio en el cual están suspendidas. Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos a la vez. La sedimentación y la filtración, por lo tanto, deben considerarse como procesos complementarios. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que pueden llegar al fondo del tanque sedimentador (Fotografía 5).



**Fotografía 5. Sedimentador**

- ***Filtración***

La filtración en cambio separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua, o que han sido resuspendidos por cualquier causa y que por lo tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

- ***Desinfección***

Una vez decantados y filtrados los flóculos, a través de arena, el agua se somete a desinfección. El principal desinfectante que se emplea es el cloro. La disolución de este gas en agua a 25°C y 1 atmósfera de presión es aproximadamente 7g/L. Cuando el cloro se disuelve en agua, reacciona con ésta para formar ácido hipocloroso necesario para destruir los microorganismos que puedan estar presentes en el agua, donde el agua desinfectada se filtra y debe quedar al menos

con 0,2 mg/L de cloro residual para prevenirla de contaminación biológica en el camino de la planta al consumidor.

- ***Control de calidad***

Se analiza el agua de la fuente hídrica, las plantas de tratamiento y en la red, mediante ensayos de laboratorio como pH, color, turbiedad, alcalinidad, durezas, cloro residual, DQO, DBO<sub>5</sub> y bacteriológicos.

- ***Almacenamiento***

Finalmente, el agua tratada sale de la planta de tratamiento hacia los tanques de almacenamiento, para posteriormente distribuirla por las diferentes redes hacia los barrios.

## 2. METODOLOGIA PROPUESTA

La metodología propuesta a continuación se basa en pruebas de campo y laboratorio relacionadas con los factores más influyentes en el proceso corrosivo del material de la tubería enterrada y terrestre (Figura 3). En la selección de los diferentes ensayos se tuvieron en cuenta los diferentes criterios:

- a) Por sugerencia del grupo multidisciplinario de profesionales donde se eligieron las pruebas de mayor importancia correspondientes al daño por corrosión, para su ejecución y posterior evaluación de la estructura.
- b) Por la facilidad de realización, costos, y acceso a los diferentes equipos y materiales en las distintas pruebas.

### 2.1. ENSAYOS DE CAMPO (Tabla 2)

ENSAYO	NORMA ESPECIFICA REQUERIDA
Levantamiento topográfico.	NTC 0034
Velocidad acústica del material	ASTM E494-89
Potencial tubería-suelo.	NACE TM 0497
Ensayo de ultrasonido.	ASTM E114-90, ASTM E213-86 y ASTM E797-90
Resistividad eléctrica de suelo.	ASTM G57- 78
Recolección de muestras de agua y suelo.	Recomendaciones según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA and AWWA.

Inspección visual.	ASTM A802-95
Formas de corrosión y medición del picado.	ASTM G46-78
Estado actual de la tubería.	ASME B31.8 guía del material 192.485 y B31G

**Tabla 2. Ensayos a realizar en campo**

## 2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO (Tabla 3)

ENSAYO	NORMA ESPECIFICA REQUERIDA
Técnica de análisis químico en determinación del material: Espectrometría de emisión óptica.	ASTM E415-85
Estudio metalográfico: fases, microestructura, tamaño.	ASTM E3-90, ASTM E112-89 Y ASTM A274-85
Caracterización fisicoquímica de agua: muestras compuestas y puntuales.	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA : 4500- H+; 2320 A,B; 3500 Ca A,D; 2340 A,C; 2540 A,B y 4500 - O
Caracterización fisicoquímica suelo.	ASTM G51-77 (REAPPROVED 84)
Ensayos de corrosión en laboratorio.	ASTM G1-90, ASTM G3-89, ASTM G5-99, ASTM G31-89 ASTM G59-97 y ASTM G102-99.

**Tabla 3. Ensayos a realizar en laboratorio**

### **3. INSPECCION VISUALY LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

#### **3.1. FUNDAMENTO TEORICO**

Es una técnica no destructiva utilizada para inspección, interpretación y evaluación de la tubería de transporte, tomando como referencia parte de la norma ASTM A802-95. Este ensayo no destructivo generalmente determina condiciones en las superficies de la tubería tales como: desalineamiento en las uniones, forma o evidencias de fugas, defectos, tipos de corrosión y en el trayecto de la misma como cruces de ríos, áreas de topografía accidentada y derechos de vía que puedan ser detectados a simple vista. Esta inspección se realizó con recorrido terrestre a pie.

El examen visual directo normalmente puede hacerse al ojo a unos 24 in (609,6 mm) y el ángulo de visión no menos de 30° de la superficie a ser examinada. Pueden usarse espejos para mejorar el ángulo de visión, al igual que lentes de aumentos o lupas. Se debe tener el área suficientemente iluminada.

El procedimiento que se realiza establece las condiciones disponibles para el momento de realizar la prueba, métodos de preparación de la superficie y en su defecto, iluminación bajo norma, equipos o instrumentos usados, además de los criterios de aceptación haciendo referencia de los diferentes códigos utilizados.

Para la ejecución de este levantamiento topográfico, se realizó captura de la información a través de la estación total TOPCON, la guía cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y el origen de coordenadas red MAGNA, que es

un sistema de ubicación geográfica. Se aplicaron las normas técnicas del comité 0034 del ICONTEC, estandarización de la información geográfica.

### **3.2. ANALISIS**

La tubería de transporte principal del acueducto urbano del Municipio de Rionegro (S.S.) mide 2627.8 metros, cuyo material es fundición de hierro de 10", 8" y 6" donde se centra este estudio que equivale al 98.5% y P.V.C. de 10" y 8" que equivale al 1.15% del total de la tubería de abastecimiento. Este sistema fue construido hace más de 40 años basados en la experiencia y práctica de los maestros de obra donde hoy por hoy no existen las especificaciones técnicas de la misma.

Para el estudio de esta tubería, cuyos ductos son de 5' y 10' de longitud, no se encontraron las diferentes especificaciones técnicas debido a su longevidad, sin embargo, se adaptó una norma con gran similitud en las características del sistema de transporte de agua en el municipio, esta es la ASTM A74-87 (Cast Iron Soil Pipe and Fitting) o tubería de fundición en suelos y accesorios.

El transporte del fluido se debe a la diferencia de alturas o por gravedad, dado que el nacimiento y la bocatoma se encuentra 25.9 metros más elevado que la planta de tratamiento en el Municipio.

Con base en el levantamiento topográfico, se ubican los puntos donde deben abrirse los apiques o excavaciones previa Inspección visual, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Cambio de seccionamiento y dirección de la tubería enterrada, resistividad eléctrica del suelo según los valores de corrosividad, y la cercanía del nivel freático y luego se establece el lugar definitivo de ellos para la

ejecución de los ensayos correspondientes; en este caso se abrieron tres apiques para la tubería de 8" que se encuentra enterrada.

La tubería de transporte se encuentra en una zona muy quebrada en su parte montañosa: zonas onduladas con valles profundos, pendientes inclinadas y extendidas que oscilan entre 30 y 60 grados (Anexo 1).

Los problemas que se han presentado en la tubería han sido influenciados a factores externo climáticos debido a prolongadas e intensas lluvias que producen desbordamientos de ríos y quebradas principales del Municipio, trayendo consigo en sus caudales material de arrastre.

Los trabajos de verificación que se efectuaron corresponden:

- a) Protección anticorrosiva: Solamente contempla un recubrimiento anticorrosivo de tipo orgánico en 12 metros de tubería en el K0+128.
- b) Posibilidad de golpes y abolladuras en el ducto.
- c) Estabilidad del ducto.
- d) revisar soldaduras y/o uniones espiga – campana.
- e) Corrosión y formas de corrosión en la tubería, accesorios y apoyos.
- f) Interfase tierra – aire.
- g) Asentamientos humanos y actividades agrícolas sobre el derecho de Vía.
- h) En el derecho de vía se observaron las condiciones de la superficie de la tubería y sus zonas adyacentes, observando indicaciones de fugas, actividades de instalaciones y demás factores que afecten la seguridad y la operación del ducto.

Los detalles de esta inspección se amplían en el capítulo 11 en el estado actual de la tubería.

## 4. CARACTERIZACION DEL MATERIAL DE LA TUBERIA

### 4.1. FUNDAMENTO SOBRE ALEACIONES DE HIERRO - CARBONO

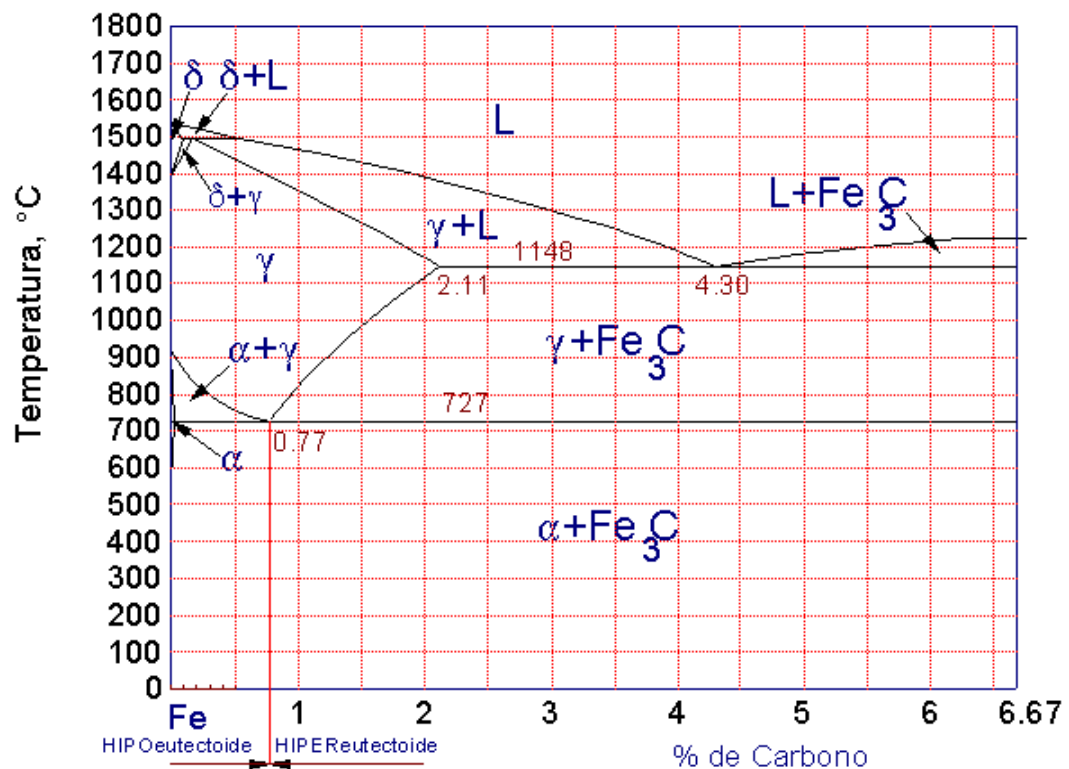


Figura 4. Diagrama Fe-C

En función del contenido de carbono suele dividirse el diagrama de hierro-carbono en dos partes: una que comprende las aleaciones con menos del 2 % de carbono y que se llaman aceros, y otra integrada por las aleaciones con más de un 2 % de carbono, las cuales se llaman fundiciones.

La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre estos elementos, el más importante es el carbono. El diagrama hierro-carbono (Figura 4), aun cuando teóricamente representa unas condiciones metastables, se puede considerar que en condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentas representa cambios de equilibrio.

## **4.2. DETERMINACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL**

En determinadas condiciones, los cuerpos emiten energía en forma de radiación. También los cuerpos absorben la radiación que emiten otros cuerpos, asimilando energía.

“¿Cómo medir la radiación emitida o la radiación absorbida por los cuerpos?”. Un aparato capaz de obtener el espectro de una radiación, es decir, de separar la radiación en sus componentes, se llama un espectroscopio. Si el aparato es capaz de fotografiarla se llama un espectrógrafo, y si es capaz de medirla se trata de un espectrómetro.

La principal emisión de radiación de los cuerpos es la radiación electromagnética en forma de luz visible.

**4.2.1. Los espectros de emisión.** Todos los cuerpos emiten energía a ciertas temperaturas. El espectro de la radiación energética emitida es su espectro de emisión. Todos los cuerpos no tienen el mismo espectro de emisión (Figura 5). Esto es, hay cuerpos que emiten en el infrarrojo, por ejemplo, y otros cuerpos no.

En realidad, cada uno de los elementos químicos tiene su propio espectro de emisión. Y esto sirve para identificarlo y conocer de su existencia en objetos

lejanos, inaccesibles para nosotros, como son las estrellas. Así, el sodio tiene su característico espectro de emisión, lo mismo que el calcio, o que el hidrógeno, etc.

Ejemplo del espectro de emisión:



**Figura 5. Espectro de emisión de hidrogeno**

El hidrógeno emite, dentro del rango visible, en una cierta longitud de onda del naranja (6560 Å), en otra del azul (4858 Å), otra del azul intenso (4337 Å) y otra del violeta (4098 Å).

**4.2.2. Resultado.** En la caracterización de una muestra del material de la tubería se utilizó la espectrometría de emisión óptica, para determinar la composición química cuantitativa por elemento, empleando el espectrómetro de vacío Termo Jarrel Ash.

Los siguientes son los porcentajes determinados en una muestra dada (Tabla 4), empleando la norma ASTM E415-85 (Reapproved 1989):

MUESTRA	%C	%Si	%S	%P	%Cu	%Mn	%CE
	3.645	2.190	0.1013	0.673	0.0722	0.2923	4.56

**Tabla 4. Composición química de la muestra ensayada**

### 4.3. METALOGRAFIA

**4.3.1. Fundamento Teórico.** La metalografía estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante de la metalurgia física tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, y el tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelara el tratamiento mecánico y térmico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas podrá predecirse su comportamiento esperado.

En un excelente análisis microscópico depende de gran parte, del cuidado que se haya tomado en la preparación de la muestra. El objetivo fundamental con la preparación de la muestra es conseguir una superficie especular, perfectamente plana y exenta de toda raya por insignificante que represente.

**4.3.2. Procedimiento de pulido.** Con base en la norma ASTM E3-90, la muestra se cortó utilizando disco de corte refrigerado adecuadamente para evitar alteraciones de la microestructura por calentamiento en el proceso de corte. Posteriormente se procedió a realizar un desbaste grueso mediante el paso por lijas 120 y 180 grit respectivamente. Luego se procedió a un desbaste fino para el cual se utilizo el set de lijas 240, 320, 400, 600 grit en orden ascendente a su grano, lubricando con agua.

Para el desbaste en paño se utilizaron pasta de diamante de 6 micras en paño de seda y 1 micra en paño Microcloth respectivamente, utilizando como refrigerante un lubricante base aceite. Para finalizar se llevó con paño para pulido fino con alúmina de 0.005 micras. Para el procedimiento de ataque se utilizó la norma

ASTM E340-89, el cual especifica los reactivos y composición a utilizar para revelar la estructura del material en cuestión.

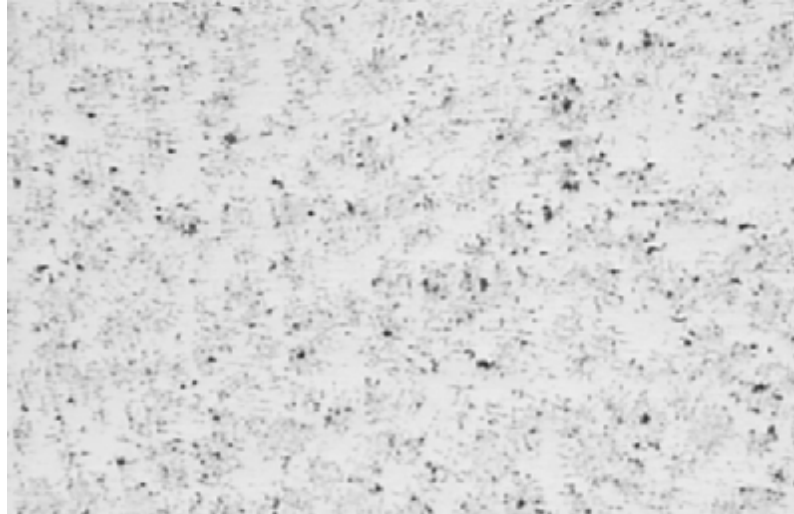
**4.3.3. Análisis Metalográfico.** a) Las imágenes que contiene un aumento de 50x, corresponden al barrido realizado desde la parte exterior hasta la zona interna del espesor del tubo y están identificadas con el numero inicial 1 y van hasta el 7. (ej. 1e50x)

Descripción: No se definen detalles a este aumento, sin embargo, presenta un gran defecto a lo largo de la muestra.



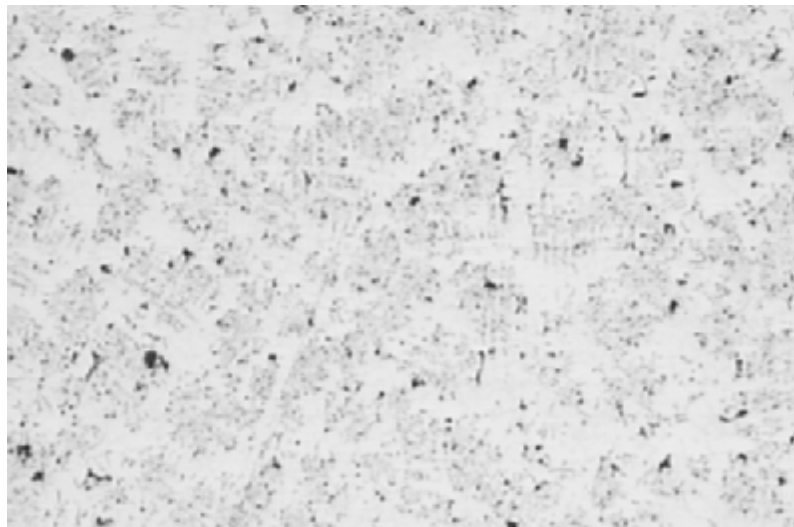
**Fotografía 6. Micrografía 1e50.**

Descripción: No se definen detalles, pero se observa el grafito representado en puntos oscuros.



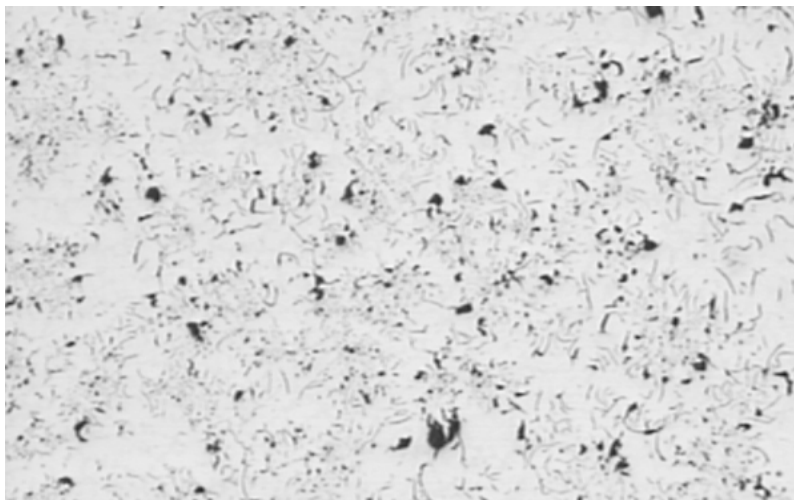
**Fotografía 7. Micrografía 2x50**

Descripción: No se definen detalles muy precisos, pero se observa el grafito representado en puntos oscuros.



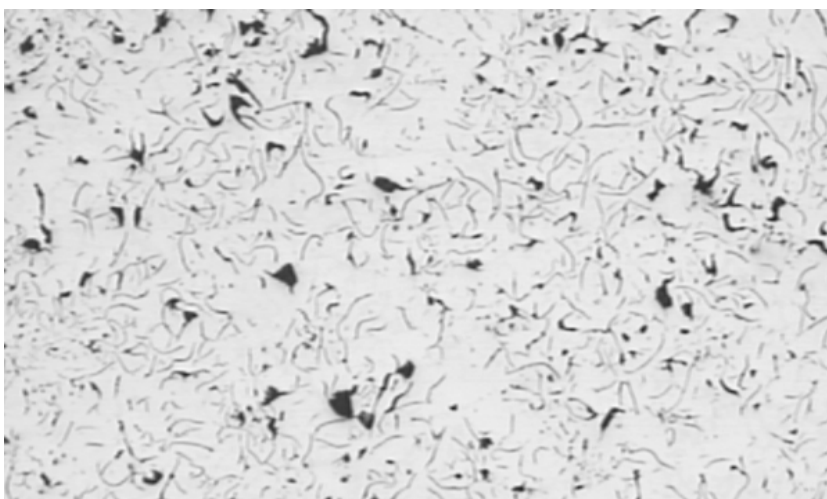
**Fotografía 8. Micrografía 3inx50**

Descripción: No se definen detalles, pero se observa el grafito representado en puntos oscuros.



**Fotografía 9. Micrografía 4x50**

Descripción: En esta micrografía se detalla mejor la forma y distribución de las láminas y puntos de color negro correspondientes al grafito.



**Fotografía 10. Micrografía 5x50**

Descripción: En esta micrografía se detalla mejor, la forma y distribución del grafito representado en láminas y puntos de color negro.



**Fotografía 11. Micrografía 61x50**

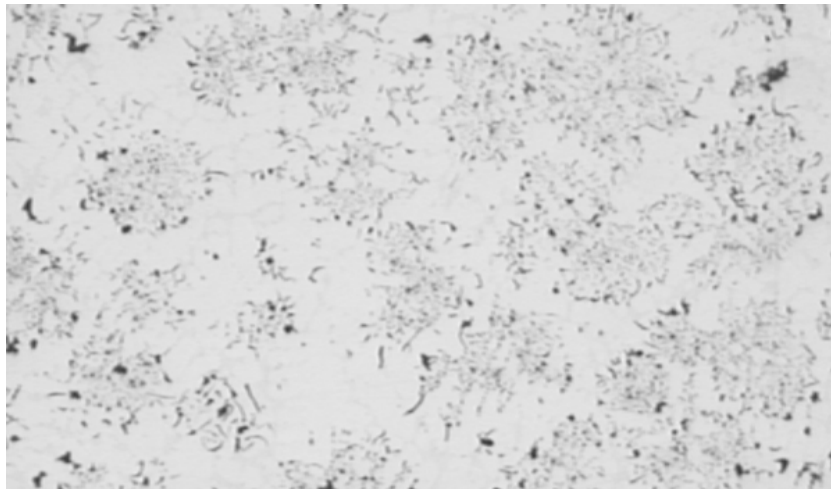
Descripción: En la micrografía ocurre disolución selectiva del hierro hacia el interior conocida como corrosión gráfitica. El grafito (color negro) se desprende del hierro.



**Fotografía 12. Micrografía 71x50**

b) El tipo y tamaño de hojuela se determina de manera tradicional por comparación contra el patrón ASTM A247-67 (1998), esto se realiza mediante observaciones de microscopia a 100x en condición de pulido espejo y sin ataque.

Descripción: En la zona externa de la muestra, el grafito laminar se clasifica de tipo D y tamaño 8.



**Fotografía 13. Micrografía 1e100x**

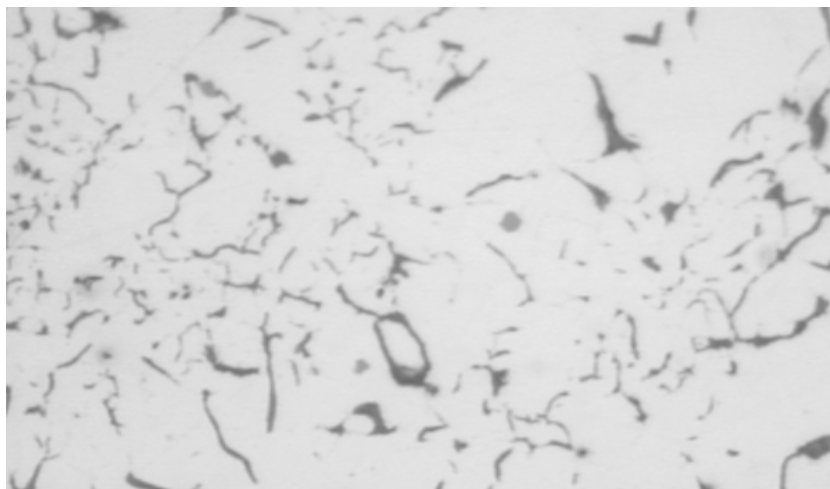
Descripción: En la zona interna de la muestra, el grafito se clasifican en tipos A 90%, tipo B 10% y, tamaño 4 y 5.



**Fotografía 14. Micrografía 1in100x**

También se hicieron tomas a 500x para el grafito con el fin de detallar aun mejor las láminas.

Descripción: Se detalla aún mas la forma del grafito, en este aumento se busca, con el posterior ataque químico, hallar el tipo de matriz y demás constituyentes.



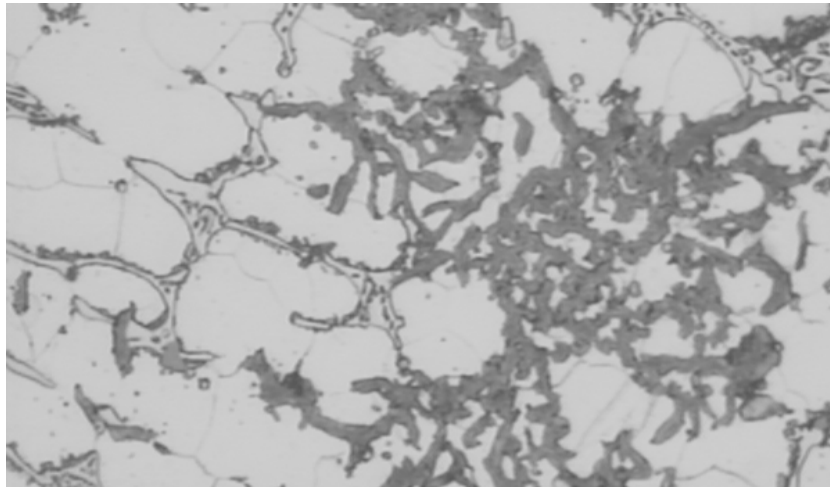
**Fotografía 15. Micrografía 1e500x**



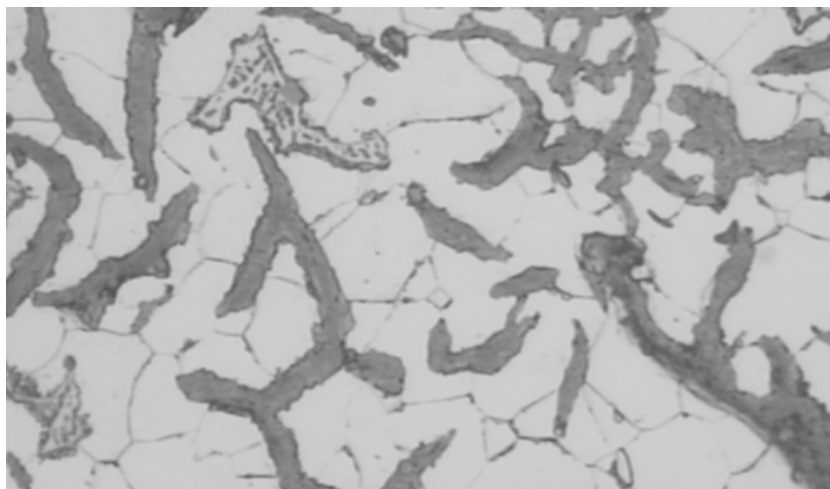
**Fotografía 16. Micrografía 1in500x**

c) Se atacó la probeta con Nital al 2%, la estructura se analizó a 500x.

Descripción: En las micrografías Ae500x y Ain500x se detalla muy bien su estructura, compuesta por láminas de grafito, la matriz corresponde a granos de ferrita (zonas claras) ó matriz **ferrítica**, es fácil distinguir la Steadita (Fosfuro) y sulfuros de manganeso (gris paloma) en mínimas cantidades.



**Fotografía 17. Micrografía Ae500x**



**Fotografía 18. Micrografía Ain500x**

#### 4.4. VELOCIDAD ACUSTICA DEL MATERIAL

**4.4.1. Generalidades.** Es la velocidad de propagación de la onda para una condición dada, por ejemplo, de una zona de compresión. Esta velocidad es una característica de cada material y, en general, es constante para un material dado, para cualquier frecuencia y cualquier longitud de onda (Tabla 5).

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Vel. Longitudinal *10 <sup>3</sup> in./s (m/s)	Vel. Transversal *10 <sup>3</sup> in./s (m/s)
Aluminio	2,7	250 (6300)	124(3130)
Berilio	1,85	488(12400)	340 (8650)
Bismuto	9,8	85(2180)	43(1100)
Latón	8,1	173(4370)	83(2100)
Bronce	8,86	139(3530)	88 (2230)
Cadmio	8,6	109(2780)	59(1500)
Columbio	8,58	194(4950)	85(2180)
Cobre	8,9	185(4700)	88 (2260)
Oro	19,3	127 (3240)	47(1200)
Iconel	8,25	225 (5720)	119(3020)
Hierro electrolítico	7,9	235 (5960)	128 (3220)
<b>Fundición Fe-C</b>	<b>7,2</b>	<b>138a222(3500a5600)</b>	<b>87 a 131 (2200 a 3200)</b>
Plomo	11,4	85(2160)	27 (700)
Magnesio	1,74	227 (5740)	122(3080)
Monel	8,83	237 (6020)	107(2720)
Níquel	8,8	222 (5630)	118(2960)
Platino	21,45	155(3960)	65 (1670)
Cuarzo fundido	2,2	233 (5930)	148(3750)
Plata	10,5	141 (3600)	62(1590)
Acero inoxidable 347	7,91	226 (5790)	122(3100)
Acero inoxidable 410	7,67	232 (5900)	130(3300)
Acero	7,7	232 (5900)	127(3230)
Estaño	7,3	130(3320)	65 (1670)

**Tabla 5. Velocidades acústicas en ingeniería de materiales (ASTM E 494-89)**

Las constantes elásticas más usadas para calcular la velocidad son: el módulo de elasticidad  $E$  (Pa), el módulo de rigidez  $G$  (Pa), la relación de Poisson  $\mu$  (adimensional) y densidad  $d$  (adimensional). Las fórmulas que permiten calcular esta velocidad de cada onda son:

$$\text{Ondas longitudinales: } C_L = \left( \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{Ondas transversales: } C_T = \left( \frac{E}{2(1+\mu)} \right)^{1/2} = \left( \frac{G}{d} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Así la relación de estas velocidades es:

$$C_T / C_L = \left( \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \right)^{1/2} \quad (3)$$

**4.4.2. Resultado.** Para la medición de la velocidad acústica se utilizó el equipo ultrasónico de medición de espesores Stresstel Corporation T-Mike ES. La velocidad acústica indicada por el equipo en este material es de 0,2067 pulgadas/microsegundos y esta dentro del rango de la tabla ASTM E494-89 (Correspondiente a una fundición que oscila en el rango 0,138 a 0,222 pulg/microseg).

#### 4.5. PROPIEDADES INGENIERILES DE LAS FUNDICIONES GRISES

La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada, para que grafiticen la cementita eutéctica y la proeutectoide, aunque no la eutectoide, para así al final obtener una estructura perlítica hay que controlar cuidadosamente el contenido de silicio y la velocidad de enfriamiento. El grafito adopta la forma de numerosas laminillas curvadas que son las que proporcionan a la fundición gris su característica fractura grisácea o negruzca. Si la composición

y la velocidad de enfriamiento son tales que la cementita eutectoide también se grafitiza presentará entonces una estructura totalmente ferrítica. Por el contrario, si se impide la grafitización de la cementita eutectoide, la matriz será totalmente perlítica. La fundición gris constituida por mezcla de grafito y ferrita es la más blanda y la que menor resistencia mecánica presenta; la resistencia a la tracción y la dureza aumentan con la cantidad de carbono combinada que existe, alcanzando su valor máximo en la fundición gris perlítica.

La fundición gris tiene baja ductilidad y se rompe sin deformación perceptible pues puede soportar por tiempo indefinido una carga estática que sea un poco menor que su resistencia a la tracción, sin deformación ni fractura (Fotografía 19).



**Fotografía 19. Tipo de fractura en la fundición gris**

Una fundición puede tener una composición química y presentar valores de dureza y resistencia muy diferentes al variar la microestructura que depende principalmente de la velocidad de enfriamiento.

Al considerar la resistencia de las fundiciones grises conviene señalar que en ellas intervienen la resistencia de la matriz y por otro lado hay que tener en cuenta la influencia de las láminas de grafito. Cuanto mayor sea la resistencia de la matriz, mayor será la resistencia de la fundición. Cuanto menor sea el número de láminas de grafito, y menor sea su tamaño, su forma será más redondeada y su distribución más uniforme, mayor será la resistencia de la fundición.

Cuando en las fundiciones grises la matriz es totalmente ferrítica, la resistencia de la matriz es aproximadamente de unos  $50\text{Kg/mm}^2$ , si hay una combinación de ferrita y perlita, la resistencia de la matriz es superior a los  $50\text{Kg/mm}^2$ , y cuando la matriz es totalmente perlítica la resistencia de la matriz puede llegar a unos  $98\text{Kg/mm}^2$ , aproximadamente.

## 5. CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE AGUA

Según the Standard Methods Water and Waterwaste APHA – AWWA, recomienda cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados. Los sitios adecuados que se consideraron con el grupo multidisciplinario y que puede suministrar gran información son:

- ***A seis metros aguas arriba de la bocatoma:*** En este punto la fuente hídrica presenta una serie de cascadas superiores a 40 metros de altura, donde probablemente la composición del agua sea diferente comparada con otros puntos.
- ***En la bocatoma:*** Debido a que se construyó una represa sobre unas lajas, donde se produce un quietamiento del agua y derrumbes constantes de tierra provenientes de la parte alta de la montaña, puede también variar de igual forma la composición química del agua. Este sitio de recolección de muestra se considera el más importante debido a que esta en la entrada a la tubería.
- ***Entrada a la planta de tratamiento:*** En este punto se verifica si hubo variación de la composición del agua que ocurre en el transporte del fluido dentro de la tubería.

Se efectuaron las diversas pruebas de laboratorio en la fuente hídrica, como pH, oxígeno disuelto, temperatura, y dureza total, por el lapso de seis semanas con el

objeto de determinar su influencia en los diferentes procesos corrosivos a lo largo del material de la tubería de transporte.

Se deben realizar los análisis de las diferentes muestras lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Los cambios en componentes como oxígeno disuelto, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad, o dureza cálcica siendo esta la razón en la selección de las diferentes pruebas ya descritas inicialmente; otras pruebas necesarias para el cálculo de los índices de Langelier y Ryznar, en la tendencia del agua corrosiva o incrustante son: alcalinidad, dureza cálcica, y sólidos totales.

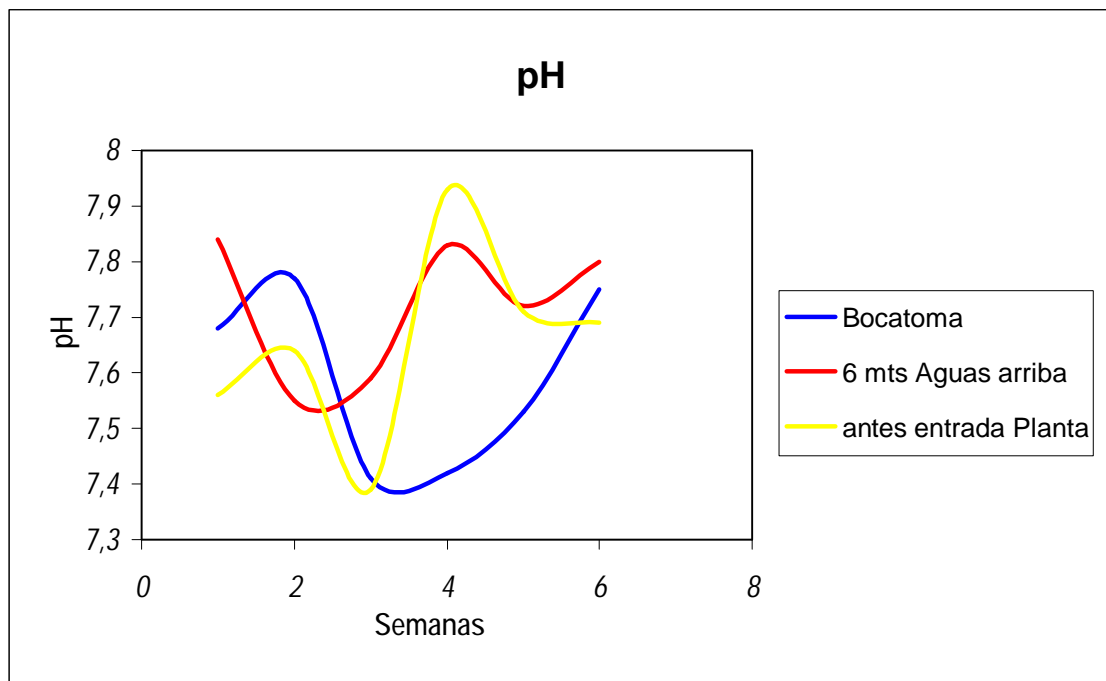
## 5.1. pH

**5.1.1. Fundamento teórico.** El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado según norma Standard Methods 4500 H<sup>+</sup> A, B. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. Fem para diferentes soluciones de pH conocido.

El método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida.

**5.1.2. Técnica a utilizar.** Potenciométrica en que el instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito. Muchos medidores de pH pueden realizar lecturas en escalas de pH o de milivoltios; algunos tienen expansión de escala que permite hacer lecturas de 0,001 unidades de pH, pero en su mayoría los instrumentos no son tan precisos.

**5.1.3. Resultados.** El pH del agua osciló entre 7,39 y 7,84 encontrándose en un rango de neutralidad (Figura 6). El pH de las aguas naturales varían entre 4 y 9, sin embargo, la mayoría de las aguas son ligeramente básicas debido a la presencia de carbonatos.



**Figura 6. Variación del pH del agua.**

## 5.2. DUREZA TOTAL

**5.2.1. Fundamento teórico.** Constituida por carbonato de calcio o magnesio. Estos bicarbonatos precipitan a medida que aumenta la temperatura del agua transformándose en carbonatos insolubles. La dureza del agua (Figura 7), se expresa como mg/l de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). La dureza la adquiere el agua a su paso a través de las formaciones de roca que contienen los elementos que la producen. Se realiza el procedimiento según la norma Standard methods 2340 A,C.

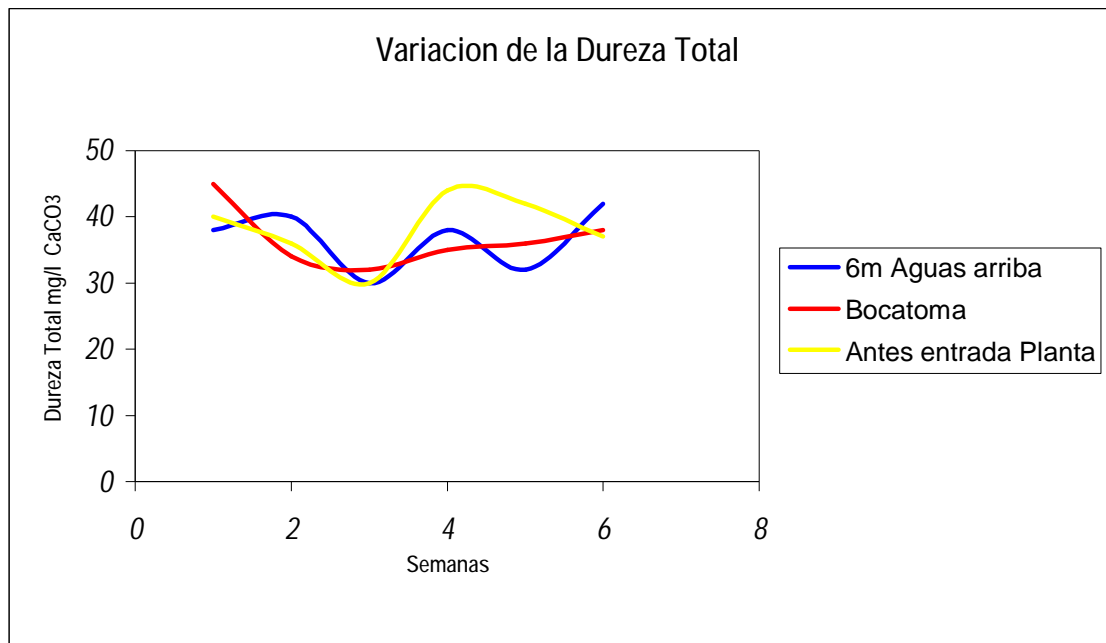


Figura 7. Gráfica de dureza total

El poder solvente lo adquiere el agua, debido a las condiciones ácidas que se desarrollan a su paso por la capa de suelo, donde la acción de las bacterias genera  $\text{CO}_2$ , el cual existe en equilibrio con el ácido carbónico. En estas condiciones de pH bajo el agua ataca las rocas, particularmente a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), entrando los compuestos en solución.

Según el grado de dureza las aguas se clasifican de la siguiente forma (Tabla 6)

0 – 75 mg/l $\text{CaCO}_3$	agua blanda
75 – 150 mg/l $\text{CaCO}_3$	agua semi-dura
150 – 300 mg/l $\text{CaCO}_3$	agua dura
> 300 mg/l $\text{CaCO}_3$	agua muy dura

**Tabla 6. Clasificaciones de durezas en aguas**

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de las alcalinidades de carbonatos y bicarbonatos, la cantidad de dureza que es su equivalente a esta suma se le llama dureza carbonatada, también llamada temporal, ya que al elevarse la temperatura del agua hasta el punto de ebullición, el calcio y el magnesio se precipitan en forma de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio respectivamente.

La dureza permanente es debida a la presencia de sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y cloruros de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ). Esas sales no precipitan por ebullición. La dureza total es la suma de la dureza temporal o de carbonatos mas la dureza permanente. Su influencia en el aumento del pH y entre sólidos disueltos puede reducir la corrosión gracias a su naturaleza alcalina cuando hay mayor parte de esta dureza total de carbonatos o bicarbonatos.

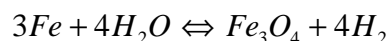
**5.2.2. Resultado.** En el ensayo realizado de dureza total, no fue tan variable como muestra la grafica 3. El promedio de la dureza total en los diferentes sitios de muestreo, en el lapso de seis semanas es de 37.2 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

### 5.3. OXIGENO DISUELTO

**5.3.1. Fundamento teórico.** Es el mayor factor que contribuye a la corrosión natural del hierro. El oxigeno es esencial para que tenga lugar la reacción catódica, teniendo un considerable efecto al acelerar la velocidad de corrosión ya que produce una despolarización catódica al remover el hidrogeno producido.

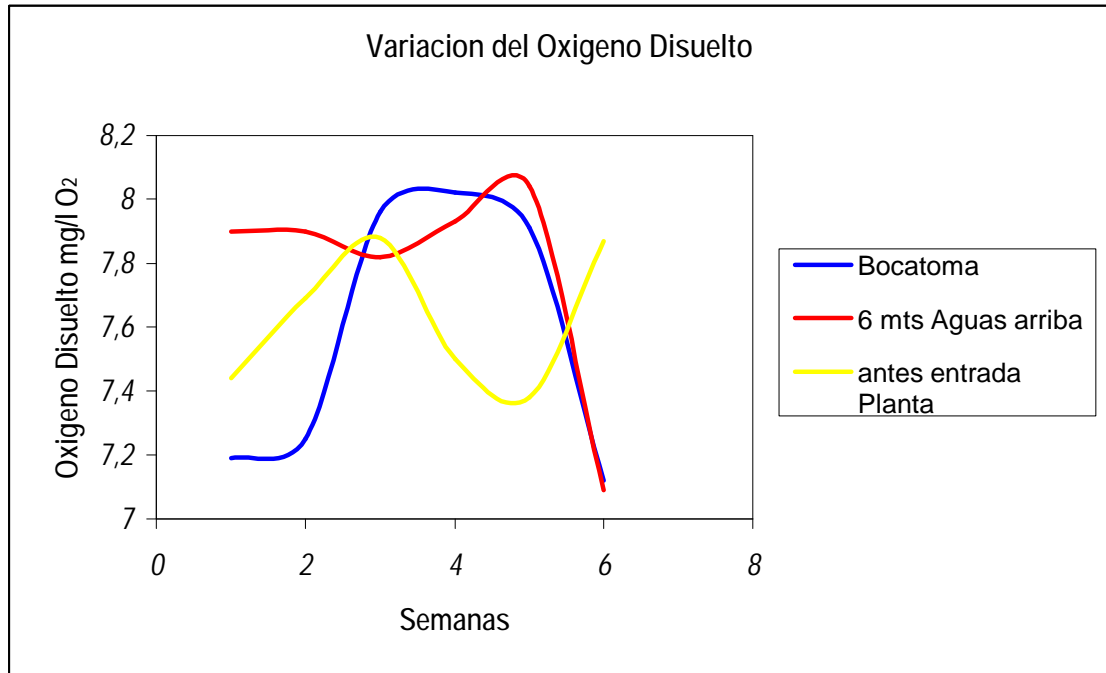
La solubilidad del oxigeno varia con la temperatura, presión y concentración del electrolito. Los incrementos de temperatura disminuyen la solubilidad del oxigeno, pero incrementando la presión parcial del oxigeno se mejora su solubilidad. Los electrolitos concentrados disminuyen la solubilidad del oxigeno. La solubilidad del oxigeno es aproximadamente de 6mg/L.

En ausencia de oxigeno la corrosión en el material férreo es reducida, ya que se forma una película protectora de magnetita que aísla el metal del agua de acuerdo a la siguiente reacción:



El Oxígeno acelera la corrosión en dos formas la primera se presenta cuando actúa como un despolarizador en donde el O<sub>2</sub> se combina con los electrones evitando la formación de un “blanket” de hidrogeno protector y la segunda se presenta cuando actúa como un oxidante en donde la oxidación del ión ferroso (Fe<sup>++</sup>) a ion férrico (Fe<sup>+++</sup>) incrementa la rata de corrosión a pH por arriba de 4.

A continuación en el gráfico se representa la variación de oxígeno disuelto en los diferentes medios de la zona de trabajo (Ver Figura 8).



**Figura 8. Variación del oxígeno disuelto**

**5.3.1. Resultado.** El valor promedio del oxígeno disuelto en ese lapso de tiempo fue de 7.66 mg/l.

#### **5.4. TEMPERATURA**

El aumento de la temperatura incrementa la velocidad de corrosión, ya que la velocidad de difusión del oxígeno a través de la película superficial es mayor. El incremento de la temperatura puede producir el aumento de velocidad de reacción de la corrosión. La rata de reacción se duplica por cada 8 °C de incremento de temperatura.

Para las mediciones de temperatura se utilizó un termómetro digital obteniendo en los diferentes puntos de muestreo un promedio de 14.07°C, por un periodo de seis semanas (Figura 9).

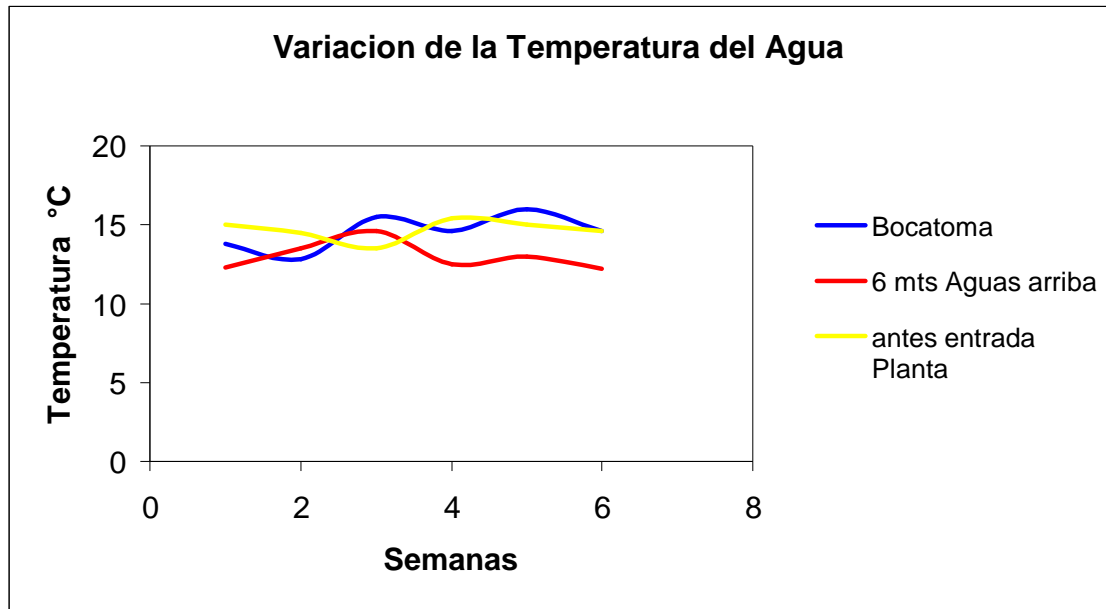


Figura 9. Variación de la temperatura del Agua

## 5.5. OTROS ENSAYOS FISICOQUÍMICOS DE LA FUENTE HÍDRICA

**Sólidos totales.** No solo la concentración de estos sólidos es importante, sino también las especies de iones participantes, mientras más alta la concentración de sólidos disueltos, mayor será la conductividad y por lo tanto mayor la corrosión. Por ejemplo, algunos sólidos disueltos como el carbonato o bicarbonato, pueden reducir la corrosión y otros como el cloruro o los sulfates pueden incrementarla. Los sólidos en suspensión (materia insoluble) influyen en la corrosión por acción erosiva o abrasiva y se depositan en las superficies metálicas para formar celdas de concentración. Su análisis se realiza según norma Standard Methods 2340 A, C. El resultado en una toma de muestra de agua en la entrada de bocatoma fue de 55 ppm para los cálculos posteriores de los índice de Langelier y Ryznar.

**Alcalinidad o acidez.** La acidez es una medida de la cantidad de sustancias ácidas ( $H^+$ ), y la alcalinidad es una medida de la cantidad total de sustancias alcalinas ( $OH^-$ ), ambas son expresadas como ppm de carbonato de calcio equivalente (un equivalente de un ácido es igual a un equivalente de una base), basado en la norma Standard Methods 2320 A, B. El agua ácida o ligeramente alcalina puede disolver el metal y la película de óxido protectora, el agua más alcalina favorece a formación de costras protectoras. Su resultado en un punto de toma fue de 25 ppm.

**Dureza cálcica.** Representa la cantidad de iones  $Ca^{++}$  presentes en una muestra de agua, que contribuye a su dureza total. Se realizó el ensayo siguiendo la norma Standard Methods 3500-Ca A, D. El resultado se expresa en mg/l de Ca, cuyo resultados para posterior cálculo en los Índices de incrustabilidad y corrosividad fue de 32 ppm.

## **5.6. INCRUSTABILIDAD Y CORROSIVIDAD DEL AGUA**

La formación de costras, suciedad y la degradación microbiológica son los problemas más frecuentes en los sistemas de transporte de aguas, los cuales dependen principalmente de la naturaleza del fluido y en menor grado de los materiales del sistema. El depósito más común es el carbonato de calcio, debido a constantes derrumbes en la alta montaña del nacimiento de la fuente hídrica donde probablemente contribuye al cambio de composición química y por ende, al aumento de la concentración de sales disueltas de calcio.

La concentración ayuda a aumentar el pH, lo que cual amplía los depósitos de CaCO<sub>3</sub> por la conversión en gran parte de los iones bicarbonato a iones carbonato según la reacción:



Cuando estos depósitos son homogéneos, de espesor reducido y se adhieren firmemente al metal su efecto es beneficioso, pero si sucede lo contrario se tendrá tuberculación, picado y celdas de concentración. Para predecir la formación de CaCO<sub>3</sub> se ha recurrido a unas ecuaciones o índices que son comúnmente conocidos como El Índice de Estabilidad de Ryznar (RSI) y el índice de Saturación de Langelier (LSI).

**Índice de Langelier.** Langelier desarrolló un método para predecir el pH a saturación (pH<sub>s</sub>) para cualquier agua. Si el pH real del agua esta por debajo del pH<sub>s</sub> el agua tendrá un índice negativo y disolverá el CaCO<sub>3</sub>. Si el índice es positivo estará saturada con CaCO<sub>3</sub>, y es probable que forme depósitos. Cuanto mayor sea la desviación del pH real y del pH<sub>s</sub>, mayor será la inestabilidad. El índice se puede determinar de la siguiente manera:

$$LSI = pH - pH_s \quad (4)$$

$$pH_s = pCa + pAlk + "C" \quad (5)$$

pCa, pAlk, C se pueden determinar conociendo la dureza cálcica, la alcalinidad y los sólidos totales, y además la temperatura y pH refiriéndose a la figura 4.9 de The NALCO Water Handbook, página 4.16, y así determinar el pH<sub>s</sub>.

**Índice de Ryznar.** Ryznar modificó el índice de Langelier para predecir en una forma más segura la probabilidad de formación de depósitos o que suceda la corrosión, con base en el pH y en el  $pH_s$ , utilizando su índice de estabilidad:

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (6)$$

Al utilizar este índice, se considera que un agua es corrosiva, si el índice es aproximadamente mayor de 6 y para que sea formadora de depósitos el índice debe ser menor de 6, tal como se expone en la Tabla 7.

ÍNDICE		TENDENCIA DEL AGUA
LSI	RSI	
2.0	<4	Muy incrustante, no corrosiva.
0.5	5 – 6	Medianamente incrustante, débilmente corrosiva.
0	6 – 6.5	Débilmente incrustante.
-0.5	6.5 – 7	No incrustante, medianamente corrosiva.
-2.0	>8	Fuertemente corrosiva

**Tabla 7. Predicción de las características del agua por LSI y RSI**

**Condiciones fisicoquímicas actuales del agua.** Según análisis fisicoquímico del agua realizado para el acueducto urbano de Rionegro (Tabla 8), tiene las siguientes características:

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Temperatura* °C	14.07
pH*	7.67
Oxígeno disuelto*	7.66 ppm
Dureza Total*	37.2 ppm
Dureza cálcica	32 ppm
Alcalinidad	25 ppm
Sólidos totales	55 ppm

**Tabla 8. Análisis fisicoquímico del agua natural**

Utilizando los anteriores resultados de los análisis y las ecuaciones (4) y (6) se calcularon los índices de estabilidad del agua de Langelier (LSI) y Ryznar (RSI).

$$\text{LSI} = 7.67 - 8.9$$

$$\text{LSI} = -1.23$$

$$\text{RSI} = 2 \cdot 8.9 - 7.67$$

$$\text{RSI} = 10.13$$

---

\*valores promedio de cada ensayo en el lapso de tiempo establecido, los otros valores fueron calculados en una sola toma para hallar índices de estabilidad de Langelier y Ryznar. Pueden variar las concentraciones de estos parámetros, debido a diferentes eventos naturales.

El pHs (8.9), fue obtenido en función de la alcalinidad, dureza cálcica, de la temperatura y del pH de la figura 4.9 de the NALCO Water handbook, página 4.16.

Se concluye que los índices de LSI y RSI, el agua de la fuente hídrica es agua no incrustante y fuertemente corrosiva.

## 6. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL SUELO

### 6.1. pH

**6.1.1. Fundamento teórico.** Los suelos, formados por la disgregación de las rocas, pueden además contener otros componentes: materia orgánica, abonos químicos, contaminación domesticas. Todo esto hace que los suelos cambien sus características originales incluyendo el pH. Los valores de pH que son agresivos para los metales, son los que están situados por debajo de 4 y por encima de 8.75 (Tabla 9). En el caso de estructura de hierro los valores de pH superiores a 8.5 generalmente, no son agresivos puesto que en condiciones alcalinas, el hierro llega incluso a protegerse en comparación con las condiciones ácidas menores de pH 6 que llega a ser agresivas con el hierro.

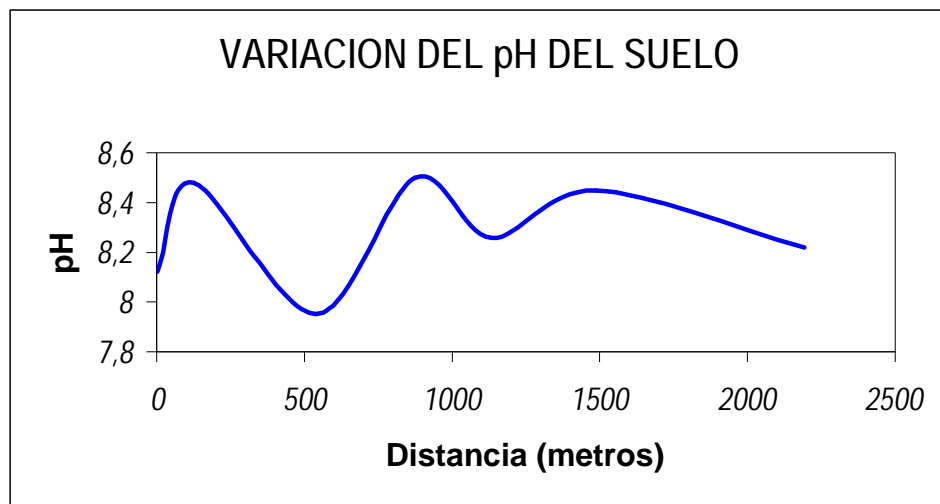
PH	MEDIO	COMPORTAMIENTO
<4	Ácido muy fuerte	Muy agresivo
4.0-4.5	muy Ácido	Muy agresivo
4.5-5.0	Ácido	Muy agresivo
5.0-6.0	Algo Ácido	Muy agresivo
6.0-6.5	poco Ácido	Agresivo
6.5-7.5	neutro Alcalino	No agresivo
7.5-8.5	neutro Alcalino	No agresivo
>8.5	muy Alcalino	Puede ser protector

**Tabla 9. Relación entre pH y el efecto corrosivo del suelo sobre hierro**

**6.1.2. Resultados.** En los diferentes puntos donde se realizó el ensayo, se obtuvieron los valores correspondientes a las diferentes muestras de suelo, los cuales se observan en la tabla 10. El procedimiento para su análisis esta establecido en la norma ASTM G51-77.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Localización	K0+2	K0+125	K0+540	K0+875	K1+132	K1+487	K2+102
pH	8.12	8.48	7.95	8.50	8.26	8.45	8.22

**Tabla 10. Variación del pH de suelos**



**Figura 10. Variación del pH del suelo**

## 6.2. ANALISIS QUIMICO CUALITATIVO

Los suelos están constituidos principalmente por sílice, silicato, magnesio, óxido de aluminio y hierro, carbonatos de calcio y magnesio, todos ellos insolubles, sales que liberan los cationes  $\text{Na}^+$  ,  $\text{K}^+$  ,  $\text{Ca}^{++}$  ,  $\text{Mg}^{++}$  , y los aniones  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{SO}_4^-$  y los bicarbonatos que se forman a partir de los carbonatos, los constituyentes químicos esenciales del suelo en estos sectores son carbonatos e hidroxilos según el pH consultado en la bibliografía del NBS (National Bureau Standard) por decisión del grupo multidisciplinario.

### 6.3. HOMOGENEIDAD DEL SUELO

A escala micro y macroscópica la humedad, el contenido de sales y otras sustancias, la acidez, el grado de contaminación, población bacteriana y la estructura física, pueden variar enormemente a pequeñas distancias dando origen a celdas de concentración.

### 6.4. TEMPERATURA

Influye sobre las características corrosivas del medio. Por un lado, todo proceso fisicoquímico se ve activado por la temperatura, tanto que la mayoría de las veces su efecto es exponencial; además la temperatura fija el tipo de actividad bacteriana que puede presentarse. Por otro lado, el cambio de aquella puede variar la naturaleza de los procesos de corrosión, al facilitar la difusión de gases y otras especies químicas. La temperatura promedio a lo largo de la tubería es de 21.7°C (Figura 10).

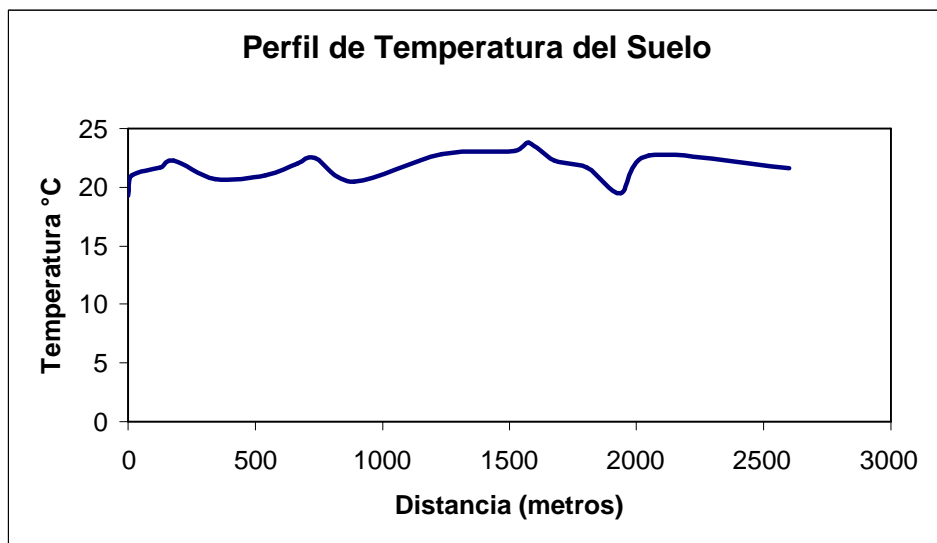


Figura 10. Perfil de Temperatura del suelo

## 7. RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO

### 7.1. MARCO TEORICO

La resistividad del suelo es uno de los ensayos mas utilizados como indicador de su capacidad de promover la corrosión en una estructura metálica; esta resistividad depende de la naturaleza y la cantidad de las sales disueltas en el suelo y es también afectada por la temperatura y contenido de humedad, nivel freático, compactación del suelo y presencia de materiales inertes como piedras y grava.

Para medir la resistividad del suelo se utiliza la norma ASTM B57-84 “field measurements of soil resistivity using the Wenner four electrode method” y un equipo de cuatro pines, los datos de resistencia de suelo se hallan instalando los cuatro pines con distancia en cada punto entre ellos dependiendo de la profundidad de la estructura a enterrar (Figuras 11).

Se ha elaborado una clasificación en la cual establece:

- Corrosión Muy Severa: 0 - 1000 Ohm-cm
- Corrosión Fuerte: 1000 - 2000 Ohm-cm
- Corrosión Moderada: 2000 - 5000 Ohm-cm
- Corrosión Mediana: 5000 - 10000 Ohm-cm
- Corrosión Ligera: 10000 – 25000 Ohm-cm
- No Corrosivo: 25000 Ohm-cm en adelante

Para calcular los datos sobre resistividad del suelo se utiliza, la siguiente formula:

$$P = 2 \times 3.1416 \times \text{resistencia del suelo} \times S \quad (7)$$

Donde:

P = Resistividad del suelo (Ohm-cm)

S = Distancia de las varillas (cms)

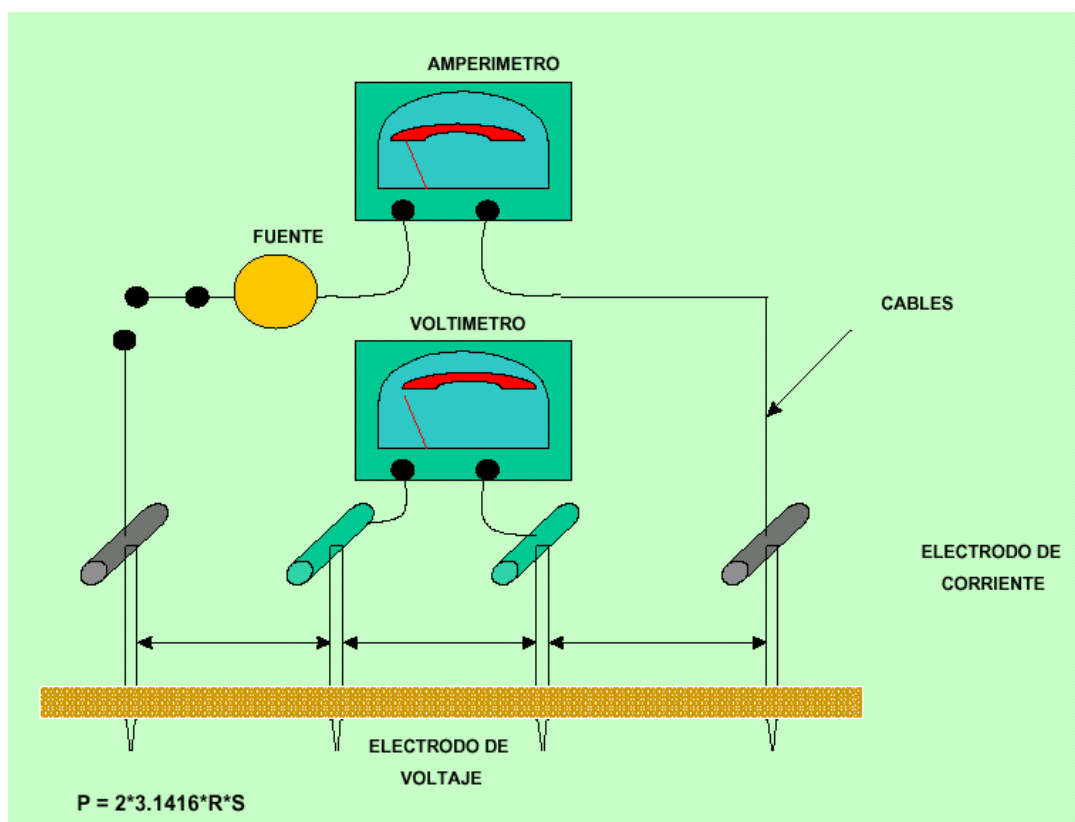


Figura 11. Medición de Resistividad de Suelos por el Método de WENNER

Para obtener las lecturas de resistencia se utilizan diferentes tipos de equipos, entre ellos el NILSSON modelo 400 o similar (Fotografía 20).



**Fotografía 20. Equipo NILSSON modelo 400**

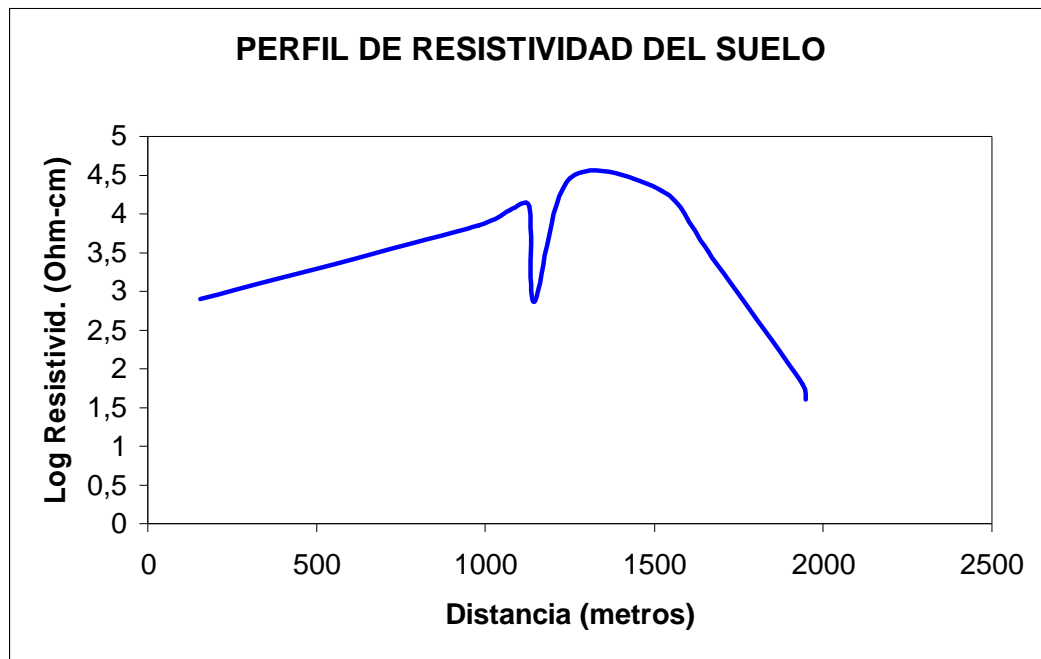
## 7.2. RESULTADOS

A continuación se dan los cálculos de las resistividades tomadas a lo largo de la trayectoria de la tubería de transporte (Tabla 11).

Punto #	Distancia (cms)	Lectura (Ohmios)	Escala	Resistividad (Ohm-cm)	Detalle Localización
1	200	63	0.01	791.7	K0+155
2	200	56	0.1	7037.2	K0+980
3	200	90	0.1	11309.7	K1+073
4	200	1	10	12566.4	K1+130
5	200	59	0.01	741.4	K1+145
6	200	230	0.1	28902.7	K1+250
7	200	160	0.1	20106.2	K1+521
8	200	257	0.01	3229.6	K1+660
9	200	5	0.01	62.8	K1+939
10	200	0.32	0.1	40.21	K1+950

**Tabla 11. Registros de datos y cálculos de resistividad eléctrica del suelo**

En la siguiente grafica (Figura 12), se representa los valores del logaritmo de la resistividad eléctrica del suelo en el eje Y Vs distancia en eje X.



**Figura 12. Perfil de resistividad eléctrica del suelo**

La grafica representa la variación de la resistividad eléctrica del suelo respecto a la distancia, cuya inflexión corresponde al suelo con mayor proximidad al nivel freático o a la Quebrada Hondura donde el contenido de humedad es elevado, donde en esta zona la tubería enterrada y terrestre tiene su trayecto. El otro punto que tiene las más baja resistividad es en K1+950 donde la tubería pasa justo por encima del Río Rionegro, cuyo suelo presenta un elevadísimo contenido de humedad.

## 8. POTENCIAL TUBERIA - SUELO

### 8.1. MARCO TEORICO

Es el potencial desarrollado entre la estructura enterrada y el medio que lo rodea (Figura 13), como una de las medidas más dicientes de la probabilidad de las condiciones corrosivas del sistema.

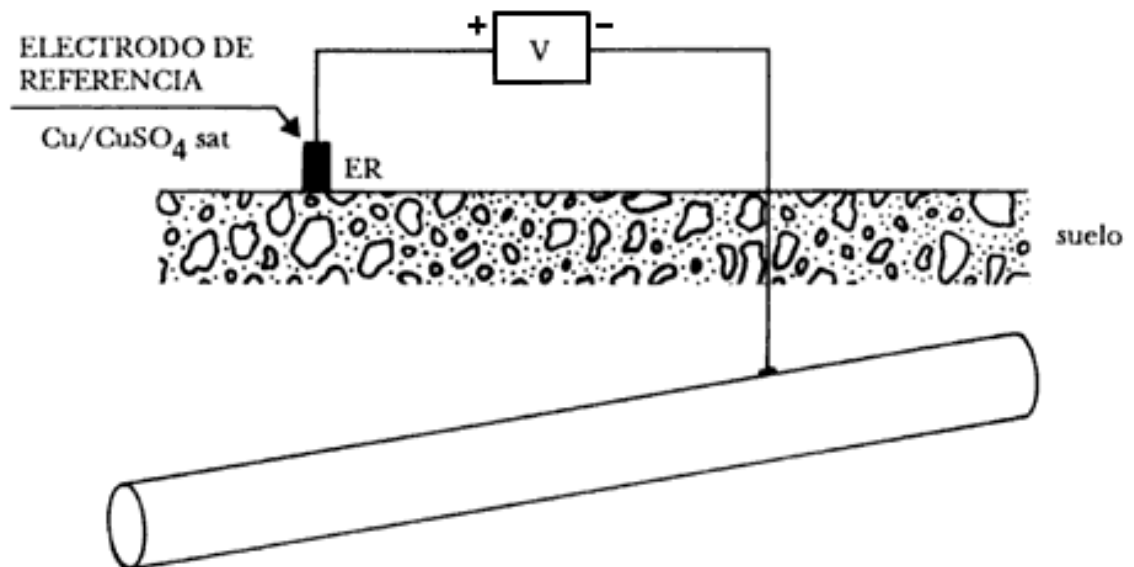


Figura 13. Potencial tubería - suelo

Según la termodinámica de los Diagramas de Pourbaix (Figura 14), hay valores de pH que combinados con ciertos valores de potencial determinan la posible corrosión o no de los metales.

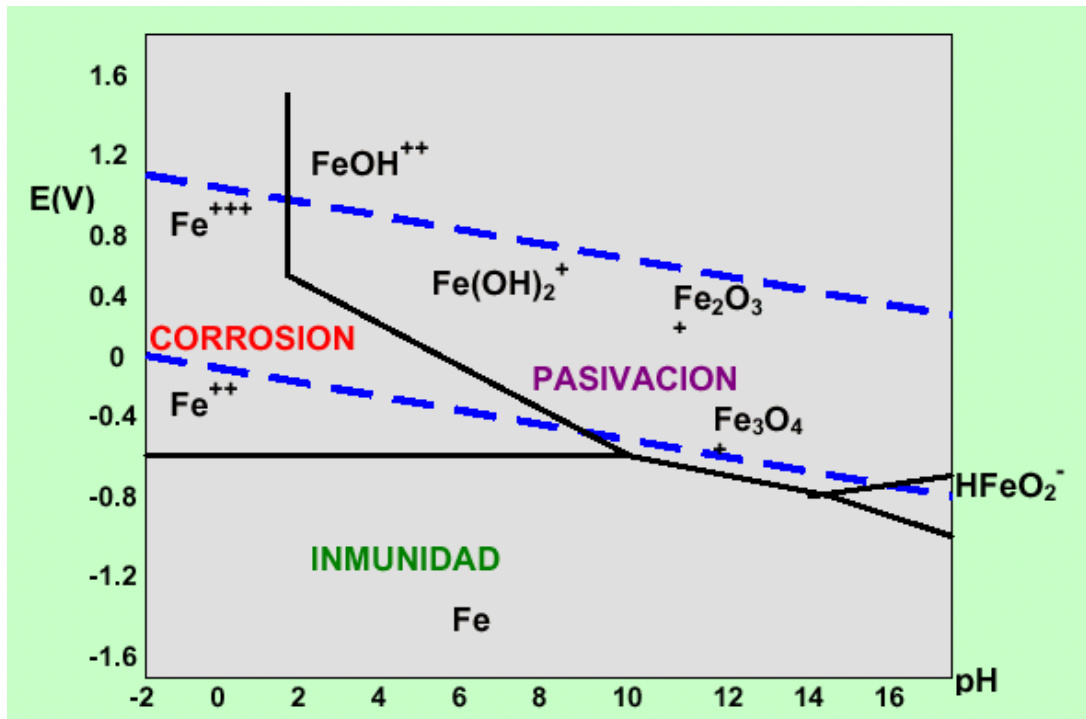


Figura 14. Diagrama E - pH para el sistema Fe - H<sub>2</sub>O a 25°C donde se muestran las diferentes zonas de corrosión, pasivación e inmunidad

El potencial de protección resulta ser entonces de -0.62 V respecto al electrodo de referencia de hidrógeno. En particular, el valor normalmente indicado para la protección de estructuras ferrosas de acero enterradas nuevas y bien protegidas con algún tipo de recubrimiento es aquel que lleva a un potencial inferior a los -850 mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub> (criterio de los -850 mV).

La experiencia muestra, sin embargo, que no siempre se utilizan criterios de este tipo. Por ejemplo, si una estructura enterrada no está protegida con un buen recubrimiento (una estructura vieja por ejemplo), no es conveniente, especialmente en terrenos muy aireados, aplicar el criterio de los -850 mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>, por que la corriente necesaria para alcanzar este potencial puede resultar muy elevada. En este caso, por ejemplo, se prefiere recurrir al criterio

conocido como "desplazamiento del potencial", el cual consiste en disminuir 300 mV el potencial de la estructura con respecto al potencial de corrosión libre.



**Fotografía 21 y 22. Electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub> y multímetro de alta impedancia**

Cuando se trata de medir el potencial de una tubería enterrada, se toma el electrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub> (saturado) como referencia y un multímetro de resistencia interna elevada mayor de 100.000 ohms (Fotografía 21 y 22). El polo positivo del aparato se une al electrodo de referencia y el negativo a la tubería. El valor que marque el aparato será el potencial de disolución del metal del tubo, en función del medio agresivo, en este caso el del suelo. La disposición y la forma de realizar esta medida se representa en la fotografía 27. El electrodo debe situarse justo encima de la generatriz superior de la tubería siguiendo las especificaciones de la norma NACE TM 0497, de forma que quede perpendicular a ella.

## 8.2. RESULTADOS

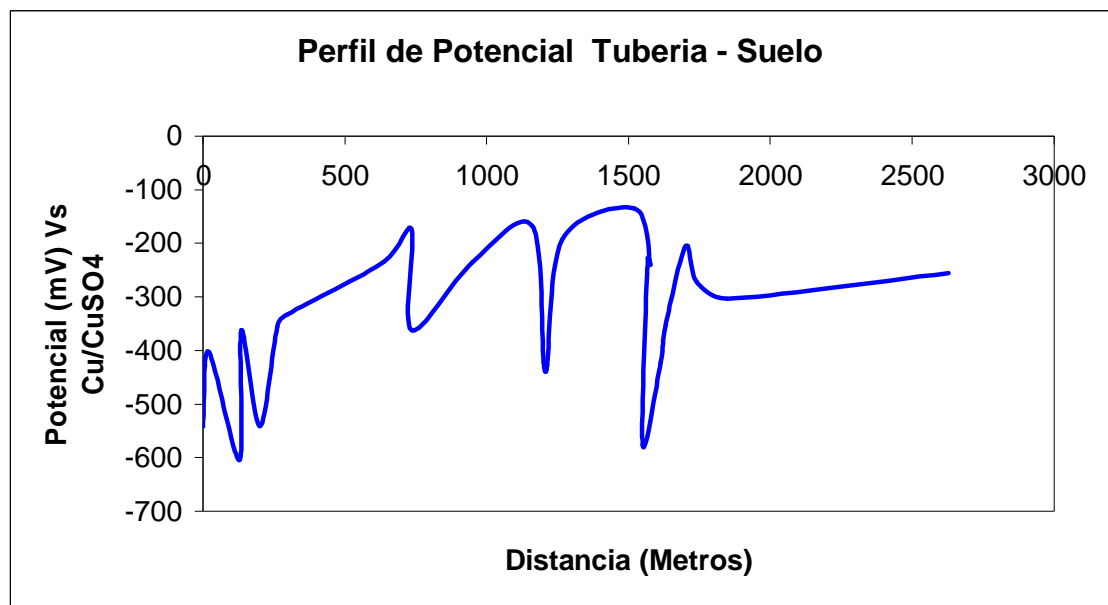
Estos son los valores obtenidos de la prueba potencial tubería – suelo (Tabla 12), a diferentes distancias desde la bocatoma en diferentes puntos de la trayectoria de la tubería y su respectivo perfil de potencial (Figura 15).

Punto #	Potencial (mV) Vs Cu/CuSO4	Detalle Localización
1	-542	K0+0
2	-403	K0+21
3	-604	K0+128
4	-362	K0+136
5	-541	K0+150
6	-356	K0+168
7	-332	K0+179
8	-234	K0+663
9	-174	K0+736
10	-362	K0+737
11	-235	K0+950
12	-211	K1+260
13	-440	K1+263
14	-193	K1+265
15	-135	K1+521
16	-240	K1+525
17	-228	K1+540
18	-576	K1+577
19	-423	K1+579
20	-352	K1+583
21	-205	K1+671

22	-271	K1+673
23	-304	K1+849
24	-256	K2+628

**Tabla 12. Registros de datos potencial tubería – suelo**

En la figura 15 representa el perfil de de potenciales en el trayecto de la tubería representando las condiciones termodinámicamente severa de corrosión.



**Figura 15. Perfil de Potencial tubería – suelo**

La grafica representa, una alta probabilidad de corrosión en la tubería según datos arrojados del potencial. El tramo del K0+128, donde el sistema de transporte solamente tiene protegido ese segmento con un recubrimiento, presenta un potencial más negativo, que tendiente a la zona de inmunidad; en el tramo enterrado del K1+527 donde se abrió un apique, se encontró el segundo valor mas negativo de los valores de potencial. En general la tubería de transporte esta potencialmente corroyéndose.

## 9. ENSAYO NO DESTRUCTIVO DE ULTRASONIDO

### 9.1. MARCO TEORICO

Técnica no destructiva que consiste en introducir en una pieza un haz sonoro de alta frecuencia con el fin de conocer la integridad del material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie del material. Además de la determinación de diferencias en la estructura del material y sus propiedades físicas.

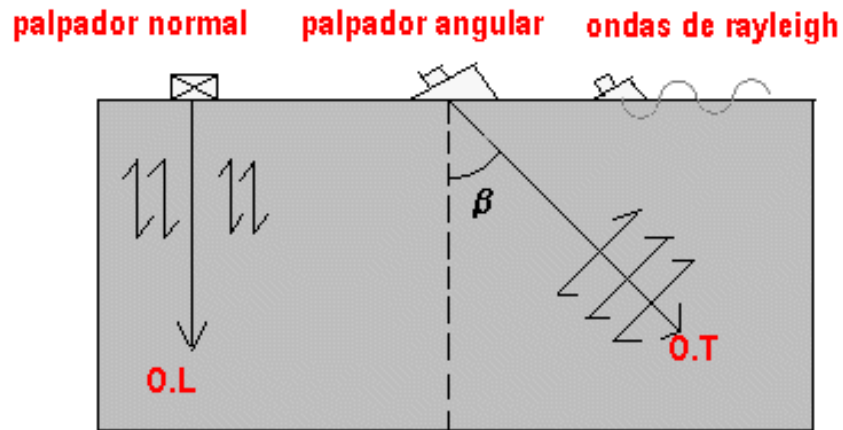
La diferencia entre Sonido y ultrasonido aunque son de la misma naturaleza, lo que las diferencia es su frecuencia así:

- **Ondas sónicas:** frecuencia entre 16 y 20000 ciclos por segundos.
- **Ondas ultrasónicas:** frecuencias mucho mayores de 20000 ciclos por segundos.

Para materiales metálicos: se opera entre 1 y 5 mhz pero se pueden trabajar con frecuencias mucho mayores. Para materiales no metálicos: ej: cerámicos, trabajan con frecuencias menores de 1mhz ( $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  mhz).

Entre los tipos de Ondas Ultrasónicas encontramos (Figura 16):

- O.L. Onda Longitudinal: se propaga en tres medios.
- O.T. Onda Transversal: se propaga en sólidos únicamente.
- O.R. Onda Rayleigh: se propaga en sólidos únicamente.



**Figura 16. Tipos de ondas ultrasónicas.**

- *Generación de ondas ultrasónicas:* Para generar existen varios métodos. Para el ultrasonido se hace uso de cristales piezoeléctricos o de materiales cerámicos ferroeléctricos.
- *Piezoelectricidad:* propiedad de algunos cristales como el cuarzo de convertir energía eléctrica en energía mecánica vibratoria y viceversa. Cuarzo para altas frecuencias, mayores de 10 mhz.
- *Ferroelectricidad:* propiedad de algunos materiales cerámicos previamente polarizados de comportarse como los cristales piezoeléctricos. Ej: titanato de bario, sulfato de litio.
- *Agentes acoplantes:* Es un medio fluido que permite que el ultrasonido pase del palpador al material de ensayo. Los medios de acople pueden ser: grasa, aceite, vaselina, agua. A mayor rugosidad mayor viscosidad del acoplante
- *Técnica de ensayo pulso – eco:* Se emiten pulsos de ultrasonido y se esperan reflexiones las cuales pueden proceder de superficies posteriores (palpadores normales) o de discontinuidades.

## **9.2. APLICACIONES**

- Medición de espesores.
- Detección de fallas en:
  - Examen de piezas fundidas.
  - Examen de piezas forjadas.
  - Examen de soldaduras.
- Caracterización de materiales

## **9.3. VENTAJAS DEL ENSAYO ULTRASÓNICO**

- Mayor poder de penetración.
- Acceso a una superficie.
- Ausencia del peligro para el operario.
- Portátil.

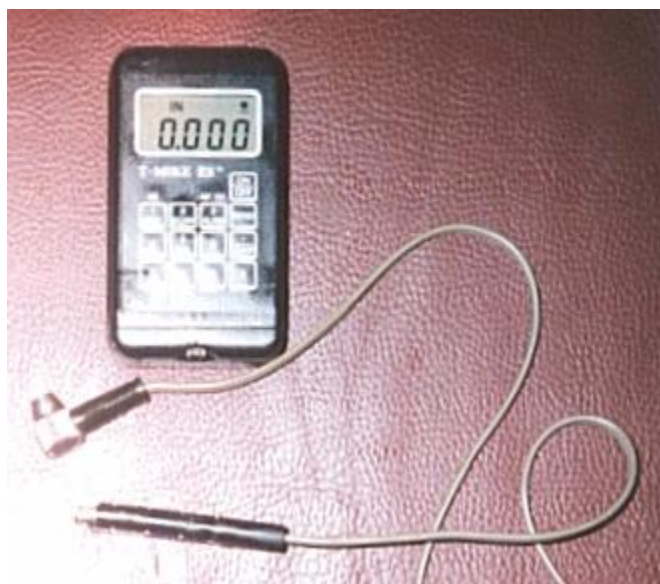
## **9.4. PROCEDIMIENTO**

- Ubicación de puntos críticos y de fácil acceso en la línea de la tubería.
- Limpieza de la superficie a inspeccionar.
- Calibración del Equipo Ultrasónico
- Inspección del equipo con bloque patrón elaborado del mismo material
- Aplicación del Acoplante (SAE40 aceite para motor)
- Medición del Espesor de Pared Puntual en el perímetro del tramo.
- Registro de datos

Cabe destacar que el procedimiento y resultados fueron asesorados y certificados por un Ingeniero ultrasonido nivel II ASNT.

El espesor de pared fue medido mediante el uso de equipo ultrasónico de pulso-eco de 5 Mhz de frecuencia y ½” de diámetro con traductor de haz recto para medición de espesores marca Stresstel Corporation T-Mike ES. (Fotografía 23).

Se utilizó las siguientes normas correspondientes: ASTM E 213-86(1990), E797-90, E114-90, E494-89.



**Fotografía 23. Equipo Ultrasónico. Stresstel Corporation T-Mike ES.**

## 9.5. RESULTADOS

SEC.	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM	Descripción
1	0.343	0.345	0.350	0.345	0.347	0.347	0.344	NA	NA	NA	Sin Problemas
2	0.348	0.333	0.352	0.354	0.334	0.346	0.348	NA	NA	NA	Sin Problemas
3	0.332	0.315	0.322	0.324	0.335	0.317	0.319	0.085	0.312	0.227	Corrosión Severa
4	0.328	0.333	0.335	0.338	0.319	0.325	0.331	0.125	0.319	0.194	Corrosión Severa
5	0.306	0.333	0.300	0.392	0.309	0.304	0.298	0.055	0.318	0.263	Corrosión Severa
6	0.297	0.330	0.311	0.306	0.340	0.334	0.323	NA	NA	NA	Corrosión leve
7	0.323	0.315	0.302	0.310	0.375	0.324	0.297	0.085	0.330	0.245	Corrosión Severa
8	0.338	0.330	0.315	0.340	0.311	0.327	0.320	0.055	0.316	0.261	Corrosión Severa
9	0.330	0.315	0.316	0.325	0.344	0.290	0.300	0.076	0.318	0.242	Corrosión Severa y Bajo espesor de Pared
10	0.325	0.330	0.351	0.318	0.348	0.306	0.307	0.092	0.340	0.248	Corrosión Severa

**Tabla 13. Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 10", tubería sin costura.**

SEC.	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM	Descripción
1	0.464	0.420	0.463	0.460	0.455	0.463	0.461	NA	NA	NA	Sin Problemas
2	0.418	0.464	0.421	0.442	0.395	0.420	0.460	0.050	0.420	0.370	Perdida de Espesor, Corrosión Leve
3	0.406	0.426	0.411	0.427	0.407	0.418	0.423	NA	NA	NA	Sin Problemas
4	0.442	0.482	0.444	0.481	0.457	0.452	0.473	NA	NA	NA	Sin Problemas
5	0.472	0.460	0.439	0.440	0.457	0.438	0.452	NA	NA	NA	Sin Problemas
6	0.475	0.454	0.438	0.474	0.466	0.452	0.468	NA	NA	NA	Sin Problemas
7	0.456	0.416	0.478	0.444	0.473	0.403	0.468	NA	NA	NA	Sin Problemas
8	0.486	0.420	0.416	0.415	0.432	0.442	0.458	NA	NA	NA	Sin Problemas
9	0.426	0.441	0.444	0.422	0.448	0.442	0.447	NA	NA	NA	Sin Problemas

**Tabla 14. Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 8", tubería sin costura.**

SEC	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM	Descripción
1	0.258	0.232	0.257	0.237	0.246	0.270	0.252	NA	NA	NA	Sin Problemas
2	0.257	0.255	0.275	0.261	0.264	0.260	0.258	NA	NA	NA	Sin Problemas
3	0.258	0.265	0.272	0.257	0.261	0.274	0.252	NA	NA	NA	Sin Problemas
4	0.225	0.221	0.220	0.219	0.265	0.260	0.264	0.070	0.275	0.205	Perdida de Espesor
5	0.283	0.278	0.287	0.288	0.277	0.288	0.284	NA	NA	NA	Sin Problemas
6	0.265	0.260	0.275	0.264	0.248	0.244	0.258	0.085	0.242	0.157	Perdida de Espesor
7	0.256	0.249	0.247	0.244	0.272	0.252	0.245	0.065	0.263	0.198	Perdida de Espesor
8	0.259	0.257	0.262	0.270	0.253	0.261	0.257	0.050	0.252	0.202	Perdida de Espesor
9	0.257	0.251	0.245	0.254	0.268	0.249	0.255	NA	NA	NA	Sin Problemas
10	0.253	0.250	0.254	0.267	0.252	0.248	0.270	NA	NA	NA	Sin Problemas
11	0.235	0.231	0.260	0.244	0.254	0.233	0.238	NA	NA	NA	Sin Problemas
12	0.270	0.268	0.272	0.276	0.271	0.266	0.274	NA	NA	NA	Sin Problemas
13	0.258	0.262	0.263	0.264	0.257	0.255	0.265	NA	NA	NA	Sin Problemas
14	0.271	0.252	0.255	0.239	0.255	0.280	0.270	0.090	0.270	0.180	Corrosión Severa
15	0.270	0.278	0.273	0.280	0.275	0.276	0.278	0.090	0.271	0.181	Corrosión Severa

**Tabla 15. Reporte de datos de ultrasonido. Material: Fundición gris 6", tubería sin costura.**

Las anteriores tablas muestran los resultados obtenidos en el ultrasonido puntual, donde en cada zona donde fue tomado el punto se realizaron 7 tomas de forma perimetral. Los números de color rojo indican el punto mas bajo del dato del ultrasonido en ese sector que corresponde al valor del espesor de pared (Anexo 2).

## 10. CORROSION

### 10.1. FUNDAMENTOS DE CORROSION

Deterioro de los materiales debido a su interacción, química o electroquímica con el medio ambiente en que son usados. En un proceso de corrosión existen los siguientes elementos como:

● **ANODO:** Es la parte de la superficie metálica que se corroe o disuelve en el electrolito. La reacción para el hierro es:



Esta pérdida de electrones es llamada OXIDACION. El Ion hierro va en solución y los dos electrones son dejados en el metal.

● **CATODO:** Es la porción de la superficie metálica que no se disuelve. Es el lugar de la reacción química que absorbe los electrones generados en el ánodo. Los electrones generados como el hierro disuelto en el ánodo, viajan a través del metal hacia la superficie catódica. Existen dos principales posibles reacciones en el cátodo:

Reacción de Evolución de Hidrógeno



Reacción de Absorción de Oxígeno



● **ELECTROLITO:** Las reacciones anteriores solamente ocurrirán si la superficie metálica está cubierta por una solución eléctricamente conductiva, esta solución es llamada Electrolito. El agua es un electrolito cuya conductividad eléctrica se incrementa en función de la cantidad de sales o aumento de iones.

El electrolito conduce la corriente desde el ánodo hacia el cátodo. En el suelo debido a distinta estratigrafía y composición química forman macro y microceldas de corrosión, convirtiéndose en un buen conductor eléctrico.

La corriente entonces fluye hacia el ánodo a través del metal completando así el circuito, a combinación del ánodo, cátodo y electrolito es llamada CELDA DE CORROSION (Figura 17).

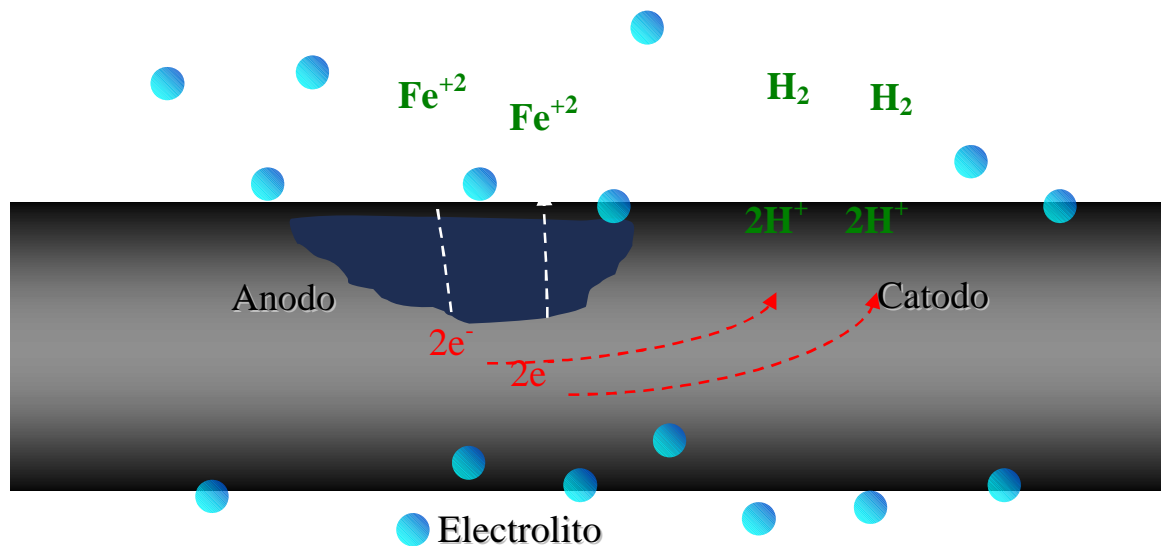


Figura 16. Celda de corrosión

## 10.2. FORMAS DE CORROSION

La corrosión ocurre en muchas y muy variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa los siguientes factores:

1- *Mecanismo de corrosión.* La corrosión electroquímica se da cuando los materiales metálicos se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica, en particular con el agua, soluciones salinas o la humedad de la atmósfera y suelos. La presencia de moléculas de agua sobre la superficie es la condición necesaria para que ocurra el fenómeno corrosivo. Las características principales relacionadas con este proceso son:

- Se da en presencia de electrolito.
- Tiene lugar a temperaturas moderadas.
- Se localiza sobre las regiones anódicas.
- La corriente de  $e^-$  va desde el ánodo hasta el cátodo a través del propio metal.
- El circuito se cierra a través del electrolito mediante el transporte de carga por parte de los iones.
- Los productos primarios más habituales de corrosión son hidróxidos.

2- *Apariencia del metal corroído.* La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.

La clasificación por apariencia, uniforme o localizada, es muy útil para una discusión preliminar que en caso de requerirse en forma más completa, necesita del establecimiento de las diferencias entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local.

Las formas de corrosión se clasifican en uniformes y localizadas, subdividiendo esta última en macroscópica o microscópica, dependiendo, de si la corrosión ocurre superficialmente o internamente en un material metálico.

**10.2.1. Corrosión uniforme.** Ocurre cuando las superficies anódicas y catódicas permanecen cambiando y la corrosión aparece más o menos uniformemente sobre toda la superficie metálica expuesta. El metal llega a ser progresivamente más delgado y puede llegar a fallar. La corrosión uniforme causa la “menor” preocupación ya que la vida de servicio puede ser estimada con base en simples pruebas de laboratorio.

**10.2.2. Corrosión localizada.** Se puede definir como un ataque sobre la superficie de un metal en áreas o zonas pequeñas. Usualmente ocurre bajo condiciones en las cuales las grandes partes de la superficie original no son atacadas o lo son en menor grado que en los sitios localizados. La corrosión localizada se divide en macroscópica y microscópica según sea externa y pueda apreciarse por observación visual, o interna donde se requiere un microscopio óptico o electrónico para poder identificarla. La corrosión localizada se divide en:

- **Corrosión galvánica:** Ocurre cuando dos diferentes metales están en contacto con otro, y expuestos a un electrolito corrosivo. El ataque corrosivo sobre el metal más reactivo aumenta y el ataque corrosivo sobre el menos reactivo disminuye. El primero es el ánodo y el segundo es el cátodo, produciéndose una Celda

galvánica. Una condición muy similar a la corrosión por metales diferentes se presenta cuando una sección de tubería nueva es insertada en una tubería vieja, por ejemplo, una reparación o una desviación. La tubería de material ferroso nuevo es más negativa que la tubería vieja. La tubería nueva es anódica y la corrosión ocurrirá. La intensidad de la corriente (rata de corrosión) es la diferencia de potencial entre los dos metales. Este es el principio de la "Batería Seca".

Este principio también aplica para propósitos positivos, como es la protección catódica. La corrosión total es proporcional al área total expuesta al electrolito corrosivo. Si la relación de área catódica/anódica aumenta, la rata de corrosión del ánodo también se acelera.

- **Corrosión por picaduras (Pitting):** Es la forma de corrosión de mayor dificultad de predicción y con mayor impacto. Se presenta como pequeños orificios en la pared, tan pequeños que a veces solamente se pueden detectar por escapes de líquido o por pruebas hidrostáticas.

En el picado, el área anódica permanece fija en un solo lugar y por consiguiente procede hacia adentro en un solo punto. Un ejemplo es el acero inoxidable muy susceptible al picado debido a las propiedades del acero mismo. El acero inoxidable es resistente a la corrosión uniforme ya que está provisto de una película de óxido. Cuando esta capa es destruida en áreas localizadas, estas se convierten en anódicas y forman picado. Altos niveles de cloruros aceleran el picado ya que crean un medio agresivo dentro del punto mismo del picado.

- **Corrosión en hendiduras (Crevice):** Esta corrosión localizada ocurre frecuentemente en rendijas, grietas o hendiduras formadas por superficies de metales ensamblados y se manifiesta en forma de picaduras. La superficie puede ser del mismo metal o disímiles o una superficie de un no metal. La rendija puede

estar expuesta al aire o sumergida en un medio acuoso. Este tipo de ataque esta generalmente asociado con pequeños volúmenes de solución estancada en huecos, superficie de empaques, grietas, rendijas debajo de cabezas de tornillos y remaches, películas de corrosión protectoras, depósitos de arena, uniones traslapadas.

- **Corrosión por celdas en suelos de diferente composición y estratigrafía:**

Puede influir en la formación de celdas dado que las heterogeneidades debido a distinta estratigrafía y composición química forman macro y microceldas de corrosión, el tamaño de grano es determinante en la permeabilidad, que se relaciona con las diferentes aireaciones y con la velocidad de difusión del oxígeno y otros iones responsables de la reacción catódica, parámetros definitivos en la velocidad de corrosión.

- **Corrosión por formación de celdas de aireación:**

Es también conocida como aireación diferencial. Este ocurre donde un área del suelo tiene libre suministro de oxígeno (bien aireada) y otra recibe poco oxígeno (poca aireación). Bajo estas condiciones, la tubería bien aireada será catódica y la poco aireada será anódica y por lo tanto se corroerá.

- **Corrosión Intergranular:**

Esta forma de corrosión localizada ocurre a lo largo de los bordes de los granos. Esto resulta de una estructura metalúrgica que hace más susceptible al ataque en los bordes que en los granos mismos.

Este impacto puede ser minimizado con un especial cuidado y control de la composición química de la aleación.

- **Corrosión por esfuerzos:**

Este tipo de corrosión es causada por una interacción de fuerzas químicas y físicas, cualquiera de las cuales por sí solas no

causaría corrosión. Es decir, la corrosión por esfuerzo resulta de la exposición de una aleación, bajo stress, a un ambiente corrosivo particular.

- **Corrosión por cavitación:** Es una forma de corrosión localizada, combinada con daño mecánico que ocurre en áreas de flujo turbulento. La cavitación ocurre donde la presión absoluta del líquido en un punto de la corriente es reducida a la presión de vapor del líquido, tal como alrededor de los impeler de las bombas. El daño es causado por el repetido impacto y estallido de las burbujas generadas y además se presenta cuando hay cambios de pendientes y velocidades en el transporte del fluido.

- **Corrosión bacteriana:** La corrosión bacteriana incluye todo fenómeno de destrucción en el cual estos microorganismos, ya sea que actúen directamente o por medio de las sustancias provenientes de su metabolismo, desempeñan un papel importante al acelerar un proceso ya establecido o al crear las condiciones favorables para que se produzca dicho fenómeno. En el caso del hierro la corrosión mas grave es la originada por las bacterias anaerobias y entre estas las peligrosas son las reductoras de sulfatos las cuales proliferan en medios que contengan poca o ninguna cantidad de oxígeno.

- **Corrosión selectiva (Dealloying):** Es una forma de corrosión generalmente localizada que consiste en la remoción selectiva de uno de los elementos de una aleación, por ataque preferencial o por dilución completa de la matriz, seguida por redeposición del constituyente catódico. El elemento removido es siempre anódico con respecto a la matriz.

Un ejemplo de corrosión selectiva es la grafitica que consiste en la disolución selectiva del hierro en algunas fundiciones, generalmente fundiciones grises. Se

produce uniformemente hacia el interior de la superficie, dando una matriz porosa con el elemento aleante remanente, el carbón.

El hierro es anódico con respecto al carbono. La grafitización ocurre en aguas saladas, aguas ácidas de minas, ácidos diluidos y suelos, especialmente aquellos que contienen sulfatos y bacterias sulfato reductoras. No hay aparente daño exterior, pero el material afectado pierde peso y se torna poroso y frágil. La adición de níquel al hierro fundido reduce la susceptibilidad a la grafitización.

### **10.3. RESULTADO DE CAMPO**

En la tubería de transporte del acueducto urbano en el municipio de Rionegro se encontraron tramos afectados por la corrosión y se identificaron las siguientes formas de corrosión; en el numeral 11 en la evaluación del estado actual se enfatizará más los tipos de corrosión y localización entre los cuales se encuentran:

- **Corrosión generalizada o uniforme:** Se presenta en la tubería y sus accesorios debido al contacto con el medio ambiente, agua y suelo.
  
- **Corrosión por picado:** Se procedió a medir la profundidad del picado con un Pit Gage (Fotografía 24) y se delimita el área de acuerdo con la norma ASTM G-46.



**Fotografía 24. Pit Gage para Medición del picado**

- **Corrosión galvánica:** Se presenta debido a la interacción de la fundición gris de la tubería con la soldadura en base plomo para unir los diferentes tramos de tubería formándose una celda galvánica porque esta soldadura es más noble que el hierro.

- **Corrosión bacteriana:** según previa inspección visual se determinó en una sola excavación o apique, cerca a la quebrada en el K0+850, una probabilidad presente de actividad bacteriana por la existencia de algas adherida al superficie del metal con una capa de babaza, observándose corrosión por picadura y generalizada. Por decisión del grupo multidisciplinario, no se hicieron los estudios rigurosos, porque solamente se observó este fenómeno en el lugar descrito.

- **Corrosión por empaques:** Se observa este tipo de corrosión debido a rendijas, grietas o hendiduras formadas entre superficies de la tubería y accesorios ensamblados.

- **Corrosión por cavitación\***: Aunque no se hicieron las pruebas rigurosas en detectar este tipo de corrosión hay una alta posibilidad que exista en los cambios bruscos de pendientes de la tubería de transporte.

- **\*Corrosión gráfita\***: En campo se detectó varios tramos que tenían este tipo de corrosión por la variación de color gris a negro, aunque por inspección visual es difícil identificar, dado que no hay cambios dimensionales ni detalles superficiales; sin embargo, el metal afectado fue muy blando al examinarse con un punzón metálico y por su textura al tacto aceitosa, y, resbalosa.

En laboratorio se analizó una ejemplar del material de la tubería afectada detectándose la desunión del grafito con el hierro hacia el interior, como muestra la siguiente micrografía.



**Fotografía 25. Corrosión Gráfica 50X aumentos**

---

\*En el estudio de formas de corrosión y su localización en el trayecto de la tubería, serán descritos detalladamente en el capítulo 11 en el estado actual de la tubería.

## **10.4. TECNICAS ELECTROQUIMICAS PARA LA EVALUACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION EN LABORATORIO**

**10.4.1. Generalidades.** La velocidad de corrosión en el material depende del medio y el ambiente que lo rodea, para predecir estos comportamientos, se utilizan los ensayos de Inmersión según normas ASTM G1-90 y ASTM G31-89, determinando así la rata de corrosión en un sistema de condiciones controladas.

Los ensayos de polarización potencioestatica y potenciodinámica, además de proporcionar datos acelerados de velocidad de corrosión del metal según normas ASTM G3-89, ASTM G59-97, ASTM G102-89, permite estimar la densidad de corriente requerida para una adecuada protección catódica, por ello se hacen curvas de polarización anódica y catódica, resistencia a la polarizacion, e impedancias, proporcionando información del comportamiento activo – pasivo del metal de la tubería en diferentes condiciones corrosivas. Las curvas potencioestáticas y potenciodinámicas se trazan calibrando el potencioestado según normas ASTM G5-99.

### **10.4.2. Procedimiento**

- Se realizó el montaje de la celda electroquímica, utilizando un electrodo de trabajo del material fundición gris montado en bakelita de área  $1\text{cm}^2$ , un electrodo auxiliar de grafito, y un electrodo de referencia de plata - cloruro de plata. El electrolito fue agua de la fuente natural.
- Se aisló la celda y se hicieron las conexiones correspondientes, dependiendo de la normalización de los cables.
- Se introdujo oxígeno
- Se efectuaron los ensayos de resistencia a la polarización, impedancias y curva de polarizacion Tafel.

### 10.4.3. Materiales y equipos

- Cupón para prueba gravimétrica: Fundición gris (Largo: 76 mm, ancho: 19 mm, espesor: 3 mm, diámetro orificios: 8 mm).
- Analizador de impedancias ( Gamry )
- Potenciostato (EG&G Instruments, modelo 6310)
- Software alemán MeBwert-Erfassung und Auswertung mit (SPK22D16) para análisis de curva de polarización.
- Software Zview para análisis de impedancia
- Multímetro digital (Protek 506)
- Electrodo de referencia (Plata – cloruro de plata)
- Electrodo auxiliar: barra de grafito
- Vidriería en general

**10.4.4. Curvas de polarización Tafel.** Es una prueba donde se destruye la interfase metal electrolito y la capa formada, es por esto que siempre se hacen pruebas iniciales de resistencia a la polarización y de impedancia y para finalizar la curva de polarización Tafel.

En esta prueba se aplica un barrido de potencial de menos a más 250 mV con respecto al potencial de corrosión. El logaritmo de la densidad de corriente obtenida se grafica en función del barrido del potencial (  $e$  Vs  $\log i$  ). De estas curvas se puede obtener las pendientes de Tafel anódica y catódica (  $b_a$  y  $b_c$  ), potencial de corrosión, y la densidad de corriente de corrosión (  $i_{corr}$  ).

La velocidad de corrosión se puede determinar con la siguiente relación:

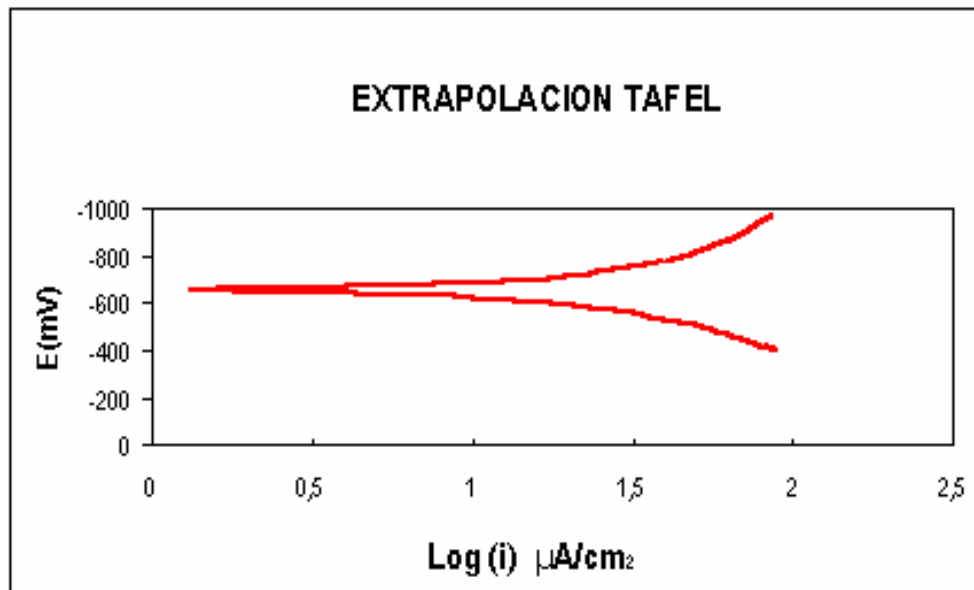
$$V_{corr} = ( 0.13 i_{corr} PE ) / d \quad (8)$$

$V_{corr}$  = Velocidad de corrosión en mpy

$PE$  = Peso equivalente del metal en gramos (27.9235 para el hierro)

$d$  = densidad del metal en  $g/cm^3$  (7.2 para fundición gris)

En la figura 18 se observa las curvas de polarización para la fundición gris en agua de la fuente natural.



**Figura 18. Comportamiento de las curva de polarización Tafel de la fundición gris**

La tabla 16 presenta los parámetros calculados mediante esta técnica, de acuerdo con el Software Alemán MeBwert-Erfassung und Auswertung mit Testpoint for Windows Von: Bank Elektronik intelligent control SPK22D16 para el análisis de curvas de polarización.

**Tabla 16. Velocidad de corrosión calculada a partir de las curvas de polarización Tafel para la fundición gris**

<b>E<sub>corr</sub> (mV) Ag/AgCl<sub>2</sub></b>	<b>b<sub>a</sub> (V/Dec)</b>	<b>b<sub>c</sub> (V/Dec)</b>	<b>I<sub>corr</sub> (μA/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>V<sub>corr</sub> (mpy)</b>
-652.39	0.207	0.181	23.88	12.04

**10.4.5. Resistencia a la polarización.** Es una prueba no destructiva, utiliza corriente directa. La técnica se define como la pendiente de la curva de polarización (  $e$  Vs  $i$ ) en el potencial de corrosión. En esta prueba inicialmente se aplica un pequeño barrido de potencial por debajo de -20mV y por encima de 20mV del potencial de corrosión. Después de obtener  $R_p$  y las pendientes Taffel se procede a calcular la densidad de corriente de corrosión por medio de la ecuación de Stern – Geary:

$$i_{corr} = B/ R_p \quad (9)$$

$$B = ( b_a b_c ) / 2.303( b_a + b_c ) \quad (10)$$

$i_{corr}$  = densidad de corrosión (  $\mu A/cm^2$  )

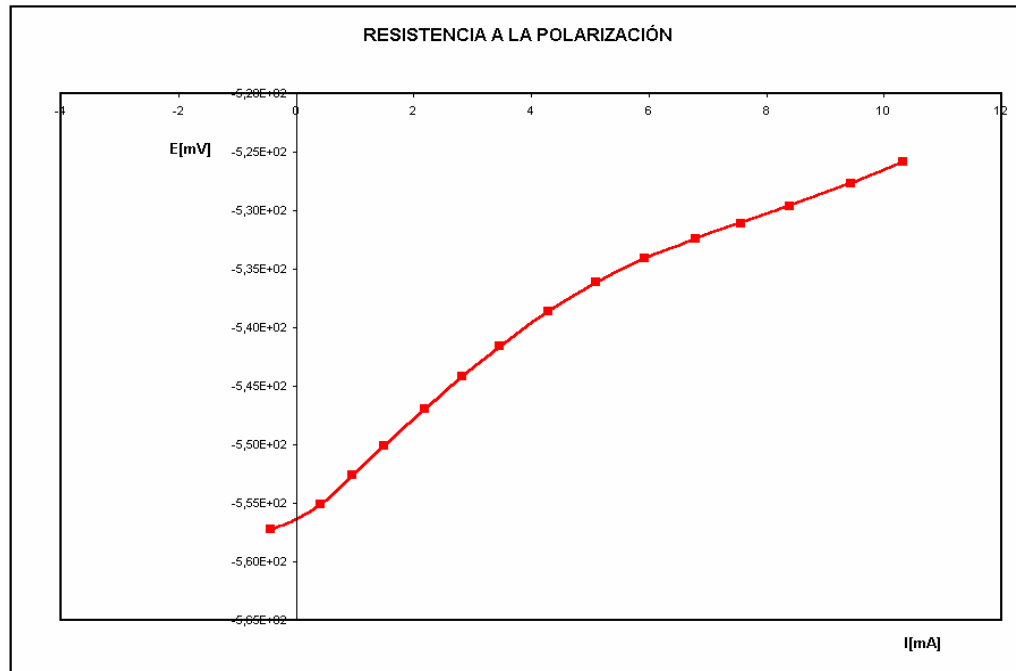
$B$  = valor de 0.025 para varios materiales.

$R_p$  =resistencia a la polarización (  $K \Omega cm^2$  )

$b_a$  = pendiente de Tafel anódica (mV)

$b_c$  = pendiente de Tafel anódica (mV)

En la figura 4 se observa las curvas de polarización para la fundición gris en agua de la fuente natural.



**Figura 19. Comportamiento de la resistencia a la polarización de la fundición gris**

La tabla 17 se presenta los parámetros para calcular la velocidad de corrosión mediante esta técnica de resistencia a la polarización.

**Tabla 17. Determinación de velocidad de corrosión utilizando la técnica de resistencia a la polarización**

$E_{corr}$ (mV) Vs Ag/AgCl <sub>2</sub>	$b_a$ (V/Dec)	$b_c$ (V/Dec)	$B$	$R_p$ ( $\Omega$ -cm <sup>2</sup> )	$I_{corr}$ ( $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )	$V_{corr}$ (mpy)
-554.8	0.207	0.181	0.0419	1896.3	22.095	11.14

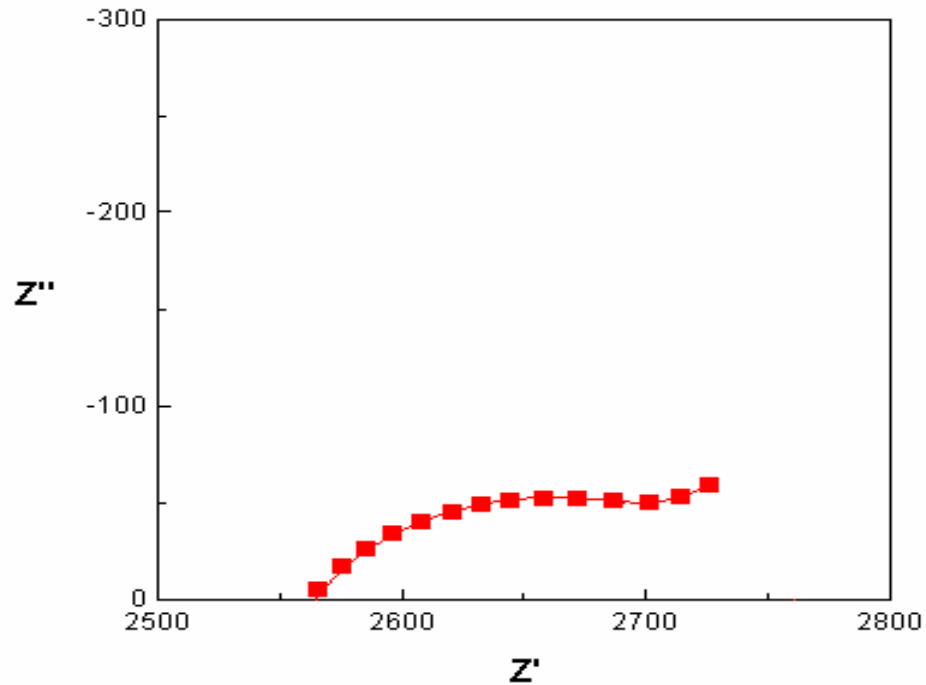
**10.4.6. Ensayo con corriente alterna (Impedancias).** Es una técnica transitoria o pseudo – estacionaria que permite deducir la constitución de la red de elementos resistivos y capacitivos que condicionan el comportamiento de la interfase metal solución. Algunos de los procesos que se desarrollan en la interfase son: Reacciones petroquímicas, adsorción de productos, transporte de materia por difusión, etc.

Cuando la corriente alterna atraviesa la interfase del electrodo esta se divide dos partes: una corriente motivada por el comportamiento capacitivo de la interfase y la otra como una corriente de transferencia que se refiere al intercambio de cargas de las reacciones electroquímicas.

Para analizar la variación de la Impedancia con la frecuencia, se recurre al concepto de circuito equivalente:

- La interfase electroquímica se representa como un condensador (doble capa).
- En paralelo con la impedancia faradaica  $R_T$ , además a este circuito se incluye una resistencia en serie  $R_e$  (resistencia del electrolito).

**Diagrama Nyquist** (Plano complejo, o Cole-Cole): Los valores positivos del componente real de impedancia se colocan a la derecha del origen paralelo al eje de X (abscisa) y los valores negativos de la componente imaginaria de impedancia verticalmente del origen paralelo al Y (ordenada).



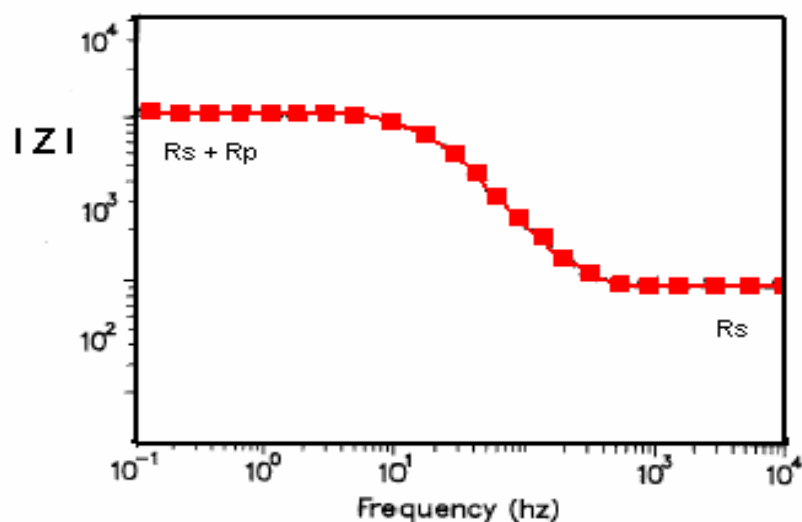
**Figura 20. Diagrama Nyquist para fundición gris**

En la Tabla 18 se presentan los datos obtenidos con la técnica de corriente alterna (impedancias), cuyo espectro se encuentra relacionado en la figura 20. Del diagrama Nyquist se calculó la  $R_p$  la cual corresponde al diámetro del semicírculo de la gráfica, está se determinó con el software Zview para análisis de impedancias y que junto con las pendientes de Tafel obtenidas anteriormente determinan la  $i_{corr}$ . de acuerdo con las ecuaciones (9) y (10).

**Tabla 18. Determinación de velocidad de corrosión utilizando la técnica de impedancias para la fundición gris del material de la tubería**

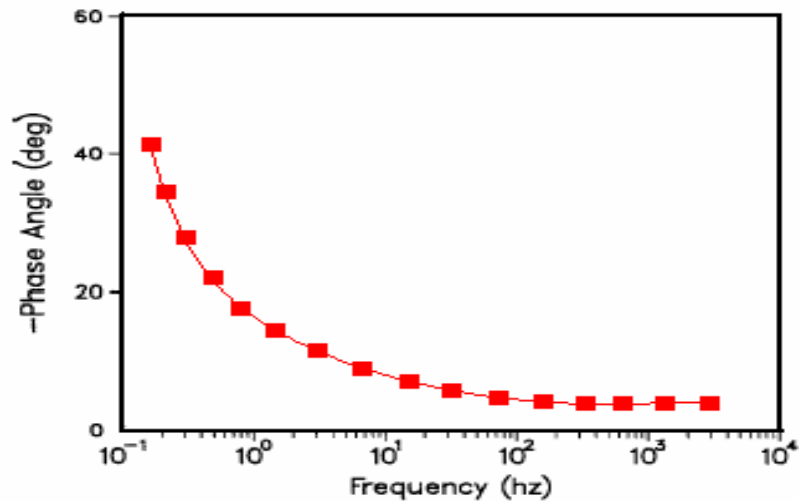
$E_{corr}$ (mV) Vs Ag/AgCl <sub>2</sub>	$b_a$ (V/Dec)	$b_c$ (V/Dec)	$B$	$R_p$ ( $\Omega$ -cm <sup>2</sup> )	$I_{corr}$ ( $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )	$V_{corr}$ (mpy)
-633.5	0.207	0.181	0.0419	2020.3	20.739	10.46

**Diagrama de Bode:** Los datos de impedancia electroquímicos se representan como dos tipos de gráficas Bode. En el primer caso, el logaritmo en base 10 de la magnitud de impedancia o módulo,  $|Z|$ , se traza en la ordenada y el logaritmo en base diez de la frecuencia creciente se traza en la abscisa (Figura 21). La magnitud de la impedancia de frecuencia alta donde la impedancia es independiente de la frecuencia corresponde a  $R_s$ . La diferencia en la magnitud entre la frecuencia baja y la frecuencia alta, regiones independientes de magnitud de frecuencia de impedancia corresponden a  $R_p$ .



**Figura 21. Primer gráfico Bode  $|Z|$  Vs Frecuencia**

En el segundo tipo de gráfica de Bode, el negativo del ángulo de la fase,  $-q$ , se traza en la ordenada y el logaritmo de la frecuencia se traza en la abscisa (Figura 22). En este formato, una conducta del capacitor se traza como un valor positivo de  $90^\circ$ .



**Figura 22. Segundo grafico Bode  $-q$  Vs Frecuencia**

Las unidades para la frecuencia en ambas gráficas es el hertzio (ciclos por segundo) o radianes por segundo (radianes por segundo =  $2\pi$  radianes por ciclo multiplicado por el número de ciclos por segundo). Las unidades de la magnitud de impedancia son  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ .

#### **10.4.7. Velocidad de corrosión por pérdida de peso (Método gravimétrico)**

Para obtener la velocidad de corrosión por pérdida de peso se realizan los siguientes pasos de acuerdo a la procedimientos de las normas ASTM G1-90 y ASTM G31-89:

1. Limpieza del cupón (mecánica)
2. Pesar el cupón ( $w_1$ )
3. Introducir el cupón en el sistema

4. Sacar el cupón después de un tiempo de exposición en un medio dado.
5. Limpieza del cupón (mecánica o química)
6. Pesar el cupón ( $w_2$ )

La velocidad de corrosión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{mpy} = 22300W/DTA \quad (11)$$

Donde,

$W = w_1 - w_2$  en (gramos)

$D$  = densidad del metal ( $\text{g/cm}^3$ ), para la fundición gris es 7.2 según ASTM E494-89.

$A$  = área expuesta ( $\text{pulg}^2$ )

$T$  = tiempo de exposición (días)

Con esta fórmula se asume corrosión uniforme a través del cupón (Fotografía 26). Esta técnica además de tener una información cuantitativa, permite obtener una identificación del tipo de corrosión que se está presentando. El medio utilizado en este ensayo fue agua de la fuente hídrica.



**Fotografía 26. Cupón de fundición gris**

En la tabla 19 se relacionan los resultados obtenidos en esta prueba:

Peso inicial del cupón (gramos)	30.0769
Peso final del cupón (gramos)	30.0232
Diferencia de peso W (gramos)	0.0537
Área del cupón (Pulg <sup>2</sup> )	5.30425
Tiempo en días	28
Velocidad de corrosión (mpy)	1.12

**Tabla 19. Resultados del método gravimétrico**

## **11. EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE**

### **11.1. GENERALIDADES**

Los daños por corrosión en tuberías pueden ser detectados por varios métodos, pero cuando son descubiertos, la siguiente inquietud es si la tubería es lo suficientemente sólida en su estructura para operar la capacidad máxima de presión permitida. Los daños por corrosión reducen la capacidad de la tubería para soportar la presión interna y si la corrosión persiste eventualmente la tubería podría sufrir fugas o rupturas. Un número de técnicas de análisis han sido desarrolladas para determinar si un defecto afecta la capacidad de la tubería como se describen a continuación.

### **11.2. ASME B31.8 GUIA DEL MATERIAL 192.485: OTRAS LINEAS DE TRANSMISION EN FUNDICION O HIERRO DUCTIL**

a) Cada segmento de la línea de transmisión o distribución con corrosión y con un espesor de pared remanente menor que al requerido para la presión máxima de operación permisible de la tubería, puede ser reparado, remplazado u operado a una presión de operación reduciéndola de una manera gradual, basado en el esfuerzo del ducto en el espesor de pared remanente actual.

b) Para el párrafo (a) de esta sección el esfuerzo del ducto es basado, en el espesor de pared remanente actual, que puede ser determinado por el procedimiento en ASME/ANSI B31G o el procedimiento de (American Gas Association) AGA Pipeline Research Committee International Project PR 3-805 (with RSTRENG disk). Para ambos procedimientos se aplica a regiones corroídas

que no han sido penetradas en su totalidad de la pared de la tubería, sujeto a las limitaciones establecidas en los procedimientos.

### 11.3. ANSI-ASME B31G “DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO REMANENTE EN TUBERÍA CORROÍDA”

Se utiliza para valorar tuberías afectadas por las formas de corrosión. Este modelo tiene una representación parabólica del metal perdido (como se usa dentro de las limitaciones B31G), principalmente en la limitación cuando es aplicada a grandes áreas de corrosión (Figura 23).

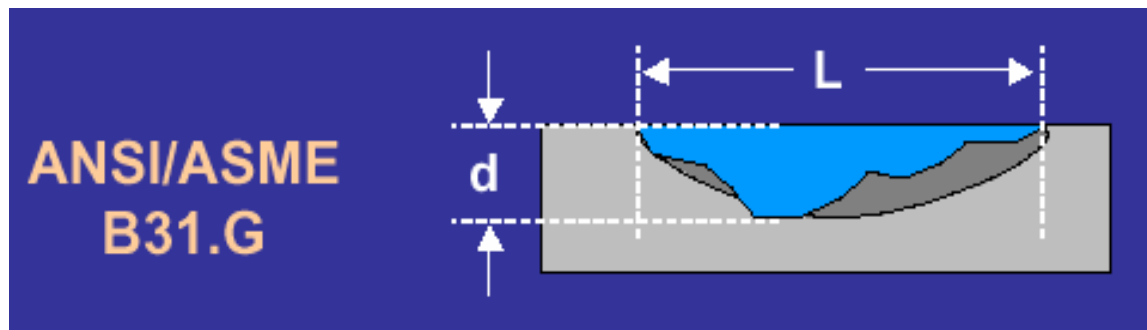


Figura 23. Modelo ASME B31G

Esta norma es utilizada para el cálculo de los siguientes parámetros:

**A) Porcentaje de profundidad del picado**

**B) Longitud máxima permisible del área corroída:** Se debe utilizar el siguiente método para calcular la longitud máxima permisible del área corroída y aplicar sólo cuando la profundidad máxima de la picadura por corrosión es mayor de 10% y menor del 80% del espesor de pared nominal del tubo de acuerdo a la Fig.

23. Este método no es aplicable para corrosiones en la soldadura longitudinal y en la zona afectada por el calor.

$$L = 1.12B(Dt_n)^{1/2}$$

Esta fórmula se utiliza para valores de  $B \leq 4$ , donde B se obtiene de la siguiente expresión:

$$B = \sqrt{\left(\frac{c/t_n}{1.1c/t_n - 0.15}\right)^2 - 1}$$

Donde:

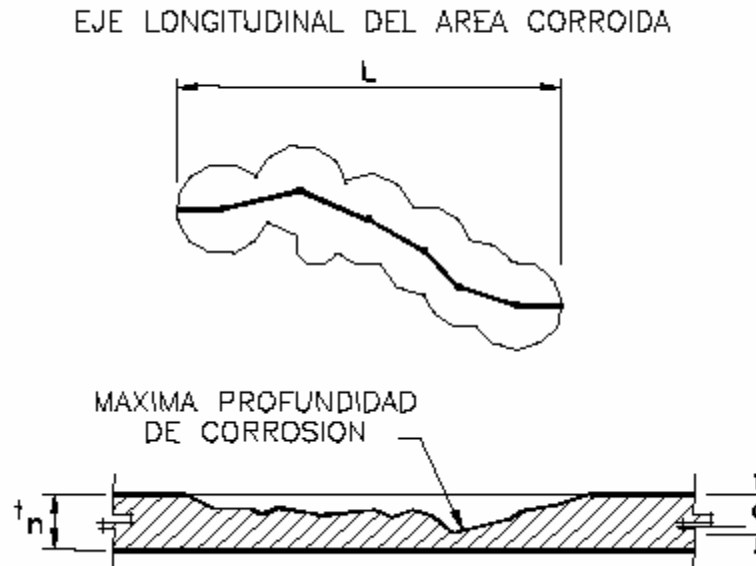
L = Máximo tamaño longitudinal permisible del área corroída. Como se muestra en la Fig. 23, en mm (pulg.)

D = Diámetro exterior nominal del tubo, en mm (pulg.)

$t_n$  = Espesor de pared nominal del tubo, en mm (pulg.)

c = Máxima profundidad del área corroída, en mm (pulg.)

En caso de que B sea mayor que 4, se utilizará un valor de  $B=4$  en la ecuación. Este valor también será aplicable, si la profundidad de corrosión se encuentra entre 10% y 17.5% del espesor de pared del tubo.



**Figura 24. Parámetros usados en el análisis de áreas corroídas**

**C) Presión máxima de operación.**

Un ducto con corrosión localizada del tipo picaduras o áreas reparadas por esmerilado, en donde el material remanente del tubo no reúne los límites de profundidad y longitud de acuerdo a lo indicado anteriormente, debe reducir su presión de operación a valores confiables en lugar de sustituirla o repararla. El cálculo de la presión máxima de operación debe basarse en la consideración del espesor de pared remanente efectivo del tubo. La reducción de la presión de operación se debe determinar mediante el empleo de las siguientes ecuaciones:

- Cálculo del factor adimensional G:

$$G = 0.893 \frac{L}{\sqrt{D t_n}}$$

Donde:

L= Longitud del área corroída en pulg (mm).

D = Diámetro exterior pulg (mm)

tn = Espesor nominal pulg (mm)

Para valores de "G" menores o iguales a 4.0\*:

$$Pd = 1.1Pi \left[ \frac{1 - \frac{2}{3} \left( \frac{c}{t_n} \right)}{1 - \frac{2}{3} \left( \frac{c}{t_n \sqrt{G^2 + 1}} \right)} \right]$$

Donde:

**Pd**= Presión interna manométrica reducida de diseño en **PSI (BAR)**, en caso de que **Pd** obtenido sea mayor de **Pi** se tomara el valor de **Pi**.

**Pi** = Presión interna manométrica de diseño original **PSI (BAR)**, basada en el espesor de pared nominal especificado del tubo.

**c** = Máxima profundidad del área corroída (**pulg.**)

Para valores de **G** mayores de **4.0\***:

$$Pd = 1.1Pi \left( 1 - \frac{c}{t_n} \right)$$

---

\*Estas fórmulas no aplican en este sistema de transporte debido a que no se manejan grandes presiones, porque que no existe estación compresora para conducir el agua natural hasta la planta de tratamiento del municipio, el desplazamiento del fluido es causado por fuerza de gravedad. Además se desconoce los datos preliminares en su cálculo de presión máxima permitida.

#### 11.4. ANALISIS DEL ESTADO ACTUAL

Según el estudio establecido en este trabajo se procederá a aceptar o rechazar los segmentos o tramos de la tubería bajo las normas estándares y los diferentes ensayos de campo y laboratorio.

#### ● SECTOR 1



**Fotografía 27. Tubería K0+01**

- Detalle de localización: K0+01 de la bocatoma (Fotografía 27)

- Diámetro nominal de la tubería de 10": 10.5"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 3: 0.312"
- Profundidad del área de picado: 0.085"
- Porcentaje de profundidad del picado: 27.2%
- Valor de B en norma ASME B31G: 1.52
- Valor de L en Norma ASME B31G: 3.08"
- Valor de L real: 2.60"
- Valor del pH del suelo: 8.5
- Potencial tubería - suelo: -542 mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada, por picadura.

**Resultado:** Según norma establecida y con las pruebas de campo y laboratorio este tramo de tubería es aceptada, porque cumple con la norma ASME B31G, está en la probabilidad termodinámica de corrosión leve según medición del potencial, que hacen que esa parte del terreno sea corrosiva, los factores fisicoquímicos como el pH del agua y suelo lo favorecen según los datos obtenidos.

● SECTOR 2 Y 3



**Fotografía 28. Tubería K0+21**

- Detalle de localización: La tubería derecha del codo K0+21 y a la izquierda K0+23 de la bocatoma (Fotografía 28)
- Diámetro nominal de la tubería de 10": 10.5"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 4 derecha del codo y sección 5 izquierda del codo: 0.319" y 0.318" respectivamente.
- Profundidad del área de picado sección 4: 0.125"
- Profundidad del área picado sección 5: 0.055"
- Porcentaje de profundidad del picado sección 4: 39.2%
- Porcentaje de profundidad del picado sección 5: 17.3%
- Valor de B Sección 4 en norma ASME B31G: 0.97
- Valor de B Sección 5 en norma ASME B31G: 4"
- Valor de L Sección 4 en norma ASME B31G: 1.99

- Valor de L sección 5 en la norma ASME B31G: 8.186"
- Valor de L sección 4 real: 2.50"
- Valor de L sección 5 real: 3.62"
- Valor del pH del suelo: 8.36
- Potencial tubería - suelo: -403 mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Forma de corrosión: corrosión generalizada, por picadura y probable daño por cavitación en el codo debido al cambio brusco de dirección.

**Resultado:** Según la norma establecida y con las pruebas de campo y laboratorio el tramo al lado derecho del codo de la tubería se rechaza, porque excedió el área corroída según ASME B31G.

La tubería del lado izquierdo es aceptada, aunque está en una zona de probabilidad termodinámica de corrosión moderada, la tubería se encuentra en condiciones aceptables por norma debido a que el valor de L calculada es menor que la longitud de área corroída real, medida con un calibrador digital.

● SECTOR 4



**Fotografía 29. Tubería K0+144**

- Detalle de localización: K0+149 de la bocatoma (Fotografía 29)
- Diámetro nominal de la tubería de 10": 10.5"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 7: 0.330"
- Profundidad del área de picado: 0.085"

- Porcentaje de profundidad del picado: 25.75%
- Valor de B en norma ASME B31G: 1.65
- Valor de L en norma ASME B31G: 3.38"
- Valor de L real: 6.50"
- Valor del pH del suelo: 8.36
- Potencial tubería - suelo: -604 mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Resistividad eléctrica del suelo: 791.7 ohm-cm
- Forma de corrosión: corrosión generalizada y por picadura.

**Resultado:** Según norma establecida por tener la mayor longitud de área de corrosión real que la calculada y con la prueba de medición del picado con el Pit Gage el tramo es rechazado, está en la probabilidad termodinámica de corrosión ligeramente leve debido aun recubrimiento de tipo orgánico aplicado a un tramo de ocho metros de la tubería.

● SECTOR 5



**Fotografía 30. Tubería K0+179**

- Detalle de localización: K0+179 de la bocatoma (Fotografía 30)
- Diámetro nominal de la tubería de 10": 10.5"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 8: 0.316"
- Profundidad del área de picado: 0.055"
- Porcentaje de profundidad del picado: 17.4%
- Valor de B en norma ASME B31G: 4.07
- Valor de L en norma ASME B31G: 8.16"
- Valor de L real: 1.34"

- Valor del pH del suelo: 8.57
- Potencial tubería- suelo: -332 mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada leve y por picado.

**Resultado:** Según norma establecida por tener la menor longitud de área de corrosión real que la calculada, este sector de la tubería es aceptada, los factores fisicoquímicos como el pH del agua y suelo lo favorecen según los datos obtenidos.

#### ● SECTOR 6



**Fotografía 31. Tubería K0+790**

- Detalle de localización: K0+790 de la bocatoma (Fotografía 31)
- Diámetro nominal de la tubería de 8": 8.375"

- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 2:  
0.420"
- Profundidad del área de picado: 0.050"
- Porcentaje de profundidad del picado: 12%
- Valor de B en norma ASME B31G: 6.16
- Valor de L en norma ASME B31G: 8.41"
- Valor de L real: 1.73"
- Valor del pH del suelo: 8.38
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada y por picadura.

**Resultado:** Según norma establecida, este tramo de tubería es aceptado, los factores fisicoquímicos como el pH del agua y suelo lo favorecen según los datos obtenidos por estar gran parte enterrada.

● SECTOR 7



**Fotografía 32. Tubería K0+880**

- Detalle de localización: K0+880 de la bocatoma (Fotografía 32)
- Diámetro nominal de la tubería de 8": 8.375"
- Espesor de pared nominal del tubo según referencias: 0.5"
- Espesor de Pared nominal del tubo según ultrasonido promedio sección 8: 0.417"
- Profundidad del área de picado: N.A.
- Valor de B en norma ASME B31G: N.A.
- Valor del pH del suelo: 8.40
- Forma de Corrosión: Corrosión generalizada.

**Resultado:** Hay corrosión generalizada ligera, no presentó problema por picado luego este tramo de la tubería es aceptado, los factores fisicoquímicos como el pH del agua y suelo lo favorecen. Además se espera revisar las uniones de los tramos en la plataforma de la tubería en ese sector para que las fugas de agua no aceleren el proceso de corrosión.

● **SECTOR 8**



**Fotografía 33. Tubería K1+064**

- Detalle de localización: K1+064 de la bocatoma (Fotografía 33)
- Diámetro nominal de la tubería de 8": 8.0375"

- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido sección promedio 8: 0.4186"
- Profundidad del área de picado: N.A.
- Porcentaje de profundidad del picado: N.A.
- Valor del pH del suelo: 8.26
- Potencial tubería - suelo: -0.193 mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Resistividad eléctrica del suelo: 11309.7 ohm-cm
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada, corrosión galvánica debido al material aplicado a la derivación es de acero galvanizado, siendo este mas noble respecto a la fundición, corrosión por hendiduras utilizado en la sujeción de la misma, creando así una celda de aireación diferencial.

**Resultado:** según las diferentes pruebas la tubería es aceptada debido a que no existe una gran pérdida de espesor de pared y por los diferentes factores fisicoquímicos como el pH del agua lo favorecen según los datos obtenidos.

● SECTOR 9 y 10



**Fotografía 34. Tubería K1+521**

- Detalle de localización: K1+521 y K1+525 de la bocatoma (Fotografía 34)
- Diámetro nominal de la tubería de 8" a la derecha del codo y a la izquierda 6": 8.325" y 6.250"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido promedio sección 8 de la tubería de 8" y ultrasonido adyacente sección 4 de la tubería de 6": 0.4308" y 0.275 respectivamente.
- Profundidad del área de picado de tubería de 8": N.A.
- Profundidad del área de picado sección 4: 0.070"
- Porcentaje de profundidad del picado 8": N.A.
- Porcentaje de profundidad del picado Sección 4: 25.45%
- Valor de B tubería de 8" norma ASME B31G: N.A.

- Valor de B sección 4 en norma ASME B31G: 1.683
- Valor de L tubería de 8" en norma ASME B31G: N.A.
- Valor de L sección 4 en norma ASME B31G: 2.47"
- Valor de L tubería de 8": N.A.
- Valor de L sección 4 real: 3.62"
- Valor del pH del suelo: 7.86
- Potencial tubería- suelo: -135 mV en tubería de 8" y -240 mV en tubería de 6" vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Resistividad eléctrica del suelo: 20106.2 ohm-cms
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada severa, por picaduras y gráfita en ambos tramos de 8" y 6".

**Resultado:** La tubería de 8" presenta un grado alto de corrosión generalizada, por picado y de tipo gráfita sobrepasando los criterios de ASME B31G, esta expuesta al medio ambiente en condiciones climáticas extremas por lo tanto se rechaza y la tubería de 6" también se rechaza según la norma internacional.

● SECTOR 11



**Fotografía 35. Tubería K1+167**

- Detalle de localización: K1+671 de la bocatoma (Fotografía 35)
- Diámetro nominal de la tubería de 6": 6.250"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 6, 7 y 8: 0.242", 0.263" y 0.252 respectiva.
- Profundidad del área de picado: 0.085", 0.065" y 0.050"
- Porcentaje de profundidad del picado: 35.1%, 24.7% y 19.9% respectivamente.
- Valores para B en la sección 6,7 y 8 de ultrasonido norma ASME B31G: 1.099, 1.764 y 2.73

- Valor de L en la sección 6, 7 y 8 en norma ASME B31G: 1.514", 2.534" y 3.837" respectivamente.
- Valor de L real en las secciones 6, 7 y 8: 2.3", 3.5" y 4.51" respectivamente.
- Valor del pH del suelo: 8.02
- Potencial tubería - suelo: -205 mV y -271mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada y por picadura.

**Resultado:** Se rechaza todo el segmento bajo la norma ASME B31G debido a que superó la longitud máxima permisible.

● **SECTOR 12**



**Fotografía 36. Tubería K1+849**

- Detalle de localización: K1+849 de la bocatoma (Fotografía 36).
- Diámetro nominal de la tubería de 6": 6.250"
- Espesor de pared nominal del tubo según ultrasonido adyacente sección 14 y sección 15 izquierda del codo: 0.270" y 0.271" respectivamente.
- Profundidad del área de picado sección 4: 0.090"
- Profundidad del área de picado sección 5: 0.090"
- Porcentaje de profundidad del picado sección 14: 33.3%
- Porcentaje de profundidad del picado sección 15: 33.2%
- Valor de B sección 14 en norma ASME B31G: 1.169
- Valor de B sección 15 en norma ASME B31G: 1.174
- Valor de L sección 14 en Norma ASME B31G: 1.7"
- Valor de L sección 15 en Norma ASME B31G: 1.71"
- Valor de L sección 14 real: 0.83"
- Valor de L sección 15 real: 1.36"
- Valor del pH del suelo: 8.61
- Potencial tubería - suelo: -304 mV vs. Cu/CuSO<sub>4</sub>
- Valor del pH del agua promedio: 7,6
- Forma de corrosión: Corrosión generalizada, por picadura, y por empaque.

**Resultado:** La tubería se acepta, sin embargo presenta un poco de humedad o fuga en el empaque de la unión espiga campana de la tubería.

## 12. CONCLUSIONES

- La tubería de transporte se encuentra una zona muy quebrada en su parte montañosa; terreno ondulado con valles profundos, pendientes inclinadas y extendidas, cuya morfología es indicativo de las heterogeneidades que se presenta en la superficie de la tubería por la cercanía al nivel freático, e influyentes en los fenómenos de transporte del fluido.
- Según estudio para la determinación del material por medio de espectrometría de emisión óptica y velocidad acústica del material, corresponde a una fundición de hierro.
- En la caracterización metalográfica el análisis corresponde a una fundición de grafito laminar o fundición gris de matriz ferrítica cuyo efecto en las propiedades mecánicas del material son menores que el de una fundición de matriz perlítica.
- Los resultados de los análisis de agua que transporta la tubería en su parte interna de los diferentes muestreos tomados en el lapso de tiempo de seis semanas se clasifica, según índice de Langelier y Ryznar, como agua no incrustante y fuertemente corrosiva, sin embargo, mediante otros ensayos como ultrasonido se verifica de manera general la corrosión interna de la tubería es leve dada su longevidad, por la influencia de naturaleza ligeramente alcalina del fluido y sus otros factores fisicoquímicos.

- Los factores fisicoquímicos del suelo favorecen de la agresividad del medio a la tubería en su trayecto debido a su naturaleza de su pH a lo largo de la tubería que puede ser protector.
- La resistividad eléctrica del suelo es muy variada según la composición química o sales disueltas que hacen conductivo el suelo, tendiendo a ser menor a medida que se acerca al nivel freático.
- El potencial tubería – suelo indica que la tubería esta termodinámica y probabilísticamente corroyendo siendo la mas alta en el sembrado del K1+521 por estar en condiciones ambientales extremas y la parte que tiene menos probabilidad de estar corroyéndose es en el tramo que tiene el recubrimiento de tipo orgánico.
- En campo se observó las diversas formas de corrosión como: galvánica, por rendijas en las uniones espiga - campana, generaliza y por picaduras; siendo estas dos últimas las de mayor influencia en los conceptos de aceptación o rechazo según normas internacionales en el estado actual de la estructura.
- Las técnicas electroquímicas realizadas en laboratorio: Curvas de polarización Tafel, resistencia a la polarización, impedancias, muestran valores correspondientes a altas velocidades de corrosión, con respecto, a la velocidad obtenida en el método gravimétrico que fue mucho menor, reflejando los efectos totales de variación durante el tiempo de exposición.

- La gran diferencia que radica entre el ensayo de pérdida de peso respecto a las técnicas con corriente continua y alterna, radica en que la velocidad de corrosión de estas últimas se realiza en un lapso de tiempo relativamente corto que conlleva a calcular unas velocidades elevadas del material, sin embargo, la velocidad baja que presenta el cupón sumergido en agua de la fuente hídrica durante 28 días, permite conocer el fenómeno de pasivación o formación de capas pasivas en el metal. Estas capas se adhiere mucho mejor a la fundición que al acero, siendo esta, la razón de la durabilidad del material del sistema de transporte del acueducto, junto a los demás factores fisicoquímicos.

- En general la tubería de 8" pulgadas se encuentra en buenas condiciones debido a que los factores fisicoquímicos del suelo favorece a la tubería que se encuentra gran parte enterrada. La tubería de 10" y 6" hay que aplicar medidas correctivas por su estado de deterioro.

### 13. RECOMENDACIONES

- Aunque la tubería cumple con el objetivo trazado y tiene mas de 40 años en el transporte de agua se debe tener en cuenta algunas condiciones posteriores de los ítems, para que el sistema siga funcionando en condicione óptimas bajo los criterios de normas internacionales.
- Se recomienda aplicar un recubrimiento adecuado aquellos tramos que no fueron rechazados removiendo primero los productos de corrosión.
- Se puede implementar un sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio para asegurar el futuro de la misma en aquellos tramos sanos y enterrados que no implique cambio de la misma.
- Si a causa de la corrosión interior o exterior (generalizada o localizada), el espesor de pared se ha reducido a un valor menor que el espesor mínimo requerido de acuerdo a la norma, o la longitud del área de picaduras es mayor que permitida de acuerdo a ASME B31G, el tramo de ducto debe ser reemplazado o bien, reparado utilizando camisas envolventes.

- Dichas alternativas de reparación deben ser seleccionadas, también con base a un estudio técnico-económico y de costo-beneficio que garantice la seguridad de la instalación durante su vida útil o remanente.
  
- Es conveniente realizar un mantenimiento preventivo de una inspección visual detallada cada 3 meses y un estudio de este tipo cada 18 meses, debido a los diferentes eventos propios de la tubería o por factores externos naturales.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) APHA, AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995
- 2) AMERICAN SOCIETY FOR METALS. ASM. Metals Handbook. Properties and selection Iron and Steel. Vol 1.USA, 1978. p. 3 - 32
- 3) ----- . ASM. Metal Handbook. Corrosion. Volumen 13. Ninth edition. USA, 1987. p. 487 - 497
- 4) ----- . ASM. Metal Hanbook. Non destructive Inspection and Quality Control, Vol 17. USA, 1996. p. 529 - 575
- 5) AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME 31.8 Guide for Gas Transmisi3n and Distribution Piping Systems. Guide Material 192.485. USA, 1999.
- 6) ----- . ASME B31G -1991 (revision of ANSI/ASME B31G -1984): Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines - a supplement to ASME B31 code for pressure piping. USA, 1991.
- 7) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A48 – 83 (Reapproved 1990). Standard Specification for Gray Iron castings. USA, 1991. p. 21 - 25

- 8) -----. ASTM A74 - 87. Standard Specification for Cast Iron Soil Pipe and Fittings. Usa, 1991. p. 26 - 63
- 9) -----. ASTM A126 – 84. Standard Specification for Gray Iron castings for Valves, Flanges and Pipe Fittings. USA, 1991.
- 10) -----. ASTM A802 – 95. Standard Practice for Steel Castings, Surface acceptance Standards, Visual examination. USA, 1996.
- 11) -----. ASTM E3 – 90. Standard Method to preparation of Metallographic specimens. USA, 1991.
- 12) -----. ASTM E112 - 89 Standard test method for determining average grain size. USA, 1991.
- 13) -----. ASTM E114 - 90 Ultrasonic Pulse – Echo Straight – Beam Testing by the Contact Method. USA, 1991
- 14) -----. ASTM E213 - 86 Standard Practice of metal Pipe and Tubing. USA, 1991.
- 15) -----. ASTM E415 – 85 (Reapproved 1989) Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Steel Carbon and Low – Alloy Steel. USA, 1991.
- 16) -----. ASTM E494-89 Ultrasonic velocity in Material Measuring. USA, 1991.
- 17) -----. ASTM E797 – 95. Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse – Echo contact Method. USA, 1996. p. 1 -6

- 18) -----. ASTM G1 - 90 (Reapproved 1991). Standard Practice for preparing, Cleaning and Evaluation Corrosion test specimens. USA, 1999. p. 1 – 7
- 19) -----. ASTM G3 – 89 (Reapproved 1999). Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing. USA, 1999.
- 20) -----. ASTM G5 – 94 (Reapproved 1999). Standard Reference test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements. USA, 1999. p. 73 – 79
- 21) -----. ASTM G31 – 89. Standard Practice for Laboratory Immersion corrosion testing of metal. USA, 1991.
- 22) -----. ASTM G46 – 76. (Reapproved 1986). Standard Practice for Examination and Evaluation of pitting Corrosion. USA, 1991. p. 166 – 172
- 23) -----. ASTM G51 – 77. (Reapproved 1984). Standard Test Method for pH of Soil for Use in Corrosion Testing. USA, 1991. p. 191 – 192
- 24) -----. ASTM G57 – 78. (Reapproved 1984). Standard Method for field measurement of Soil Resistivity Using the Wenner four – Electrode Method. USA, 1991. p. 203 – 207
- 25) -----. ASTM G59 – 97 (Reapproved 1999). Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Resistance Measurements. USA, 1999.
- 26) -----. ASTM G102 – 89 (Reapproved 1999). Standard Practice for Calculation of Corrosion Rate and Related Information from Electrochemical Measurements. USA, 1999.

- 27) ASHWORTH, V. Curso de Corrosión. UIS. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Bucaramanga, 1991. p. 27 - 52
- 28) AVALLONE Y BAUMEISTER, Eugene A y Theodore. Manual del Ingeniero Mecánico. McGraw Hill / Interamericana de México. Volumen 1, novena edición. México, 1995. p 650 – 663
- 29) CASTAÑEDA, Claudio. Apuntes sobre ultrasonido Nivel II. Tecnicontrol Ltda, UPTC. Tunja, 1996.
- 30) CRISTANCHO, Eduardo. Corrosión y Protección Catódica. Diplomado en Medición, transporte y Distribución de Gas. UIS. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2002.
- 31) ESTUPIÑAN, Gonzalo. Práctica Empresarial en el Municipio de Rionegro Santander. UIS. Tesis de Grado. Bucaramanga, 2001. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.
- 32) EWING, Galen. Métodos Instrumentales de análisis químicos. McGraw Hill. México, 1978. p 182-195
- 33) FORERO, Adriana y LEAL, José de Jesús. Estudio y Evaluación del Sistema de Inhibición de la torre enfriadora 820 de la Gerencia Complejo Barranca Ecopetrol mediante Simulación en laboratorio. Tesis de Grado. Bucaramanga, 2000. UIS. Facultad de Ingeniería Fisicoquímica. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- 34) GOMEZ, Orlando. Aleaciones Hierro – carbono. UIS. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Bucaramanga, 1989.

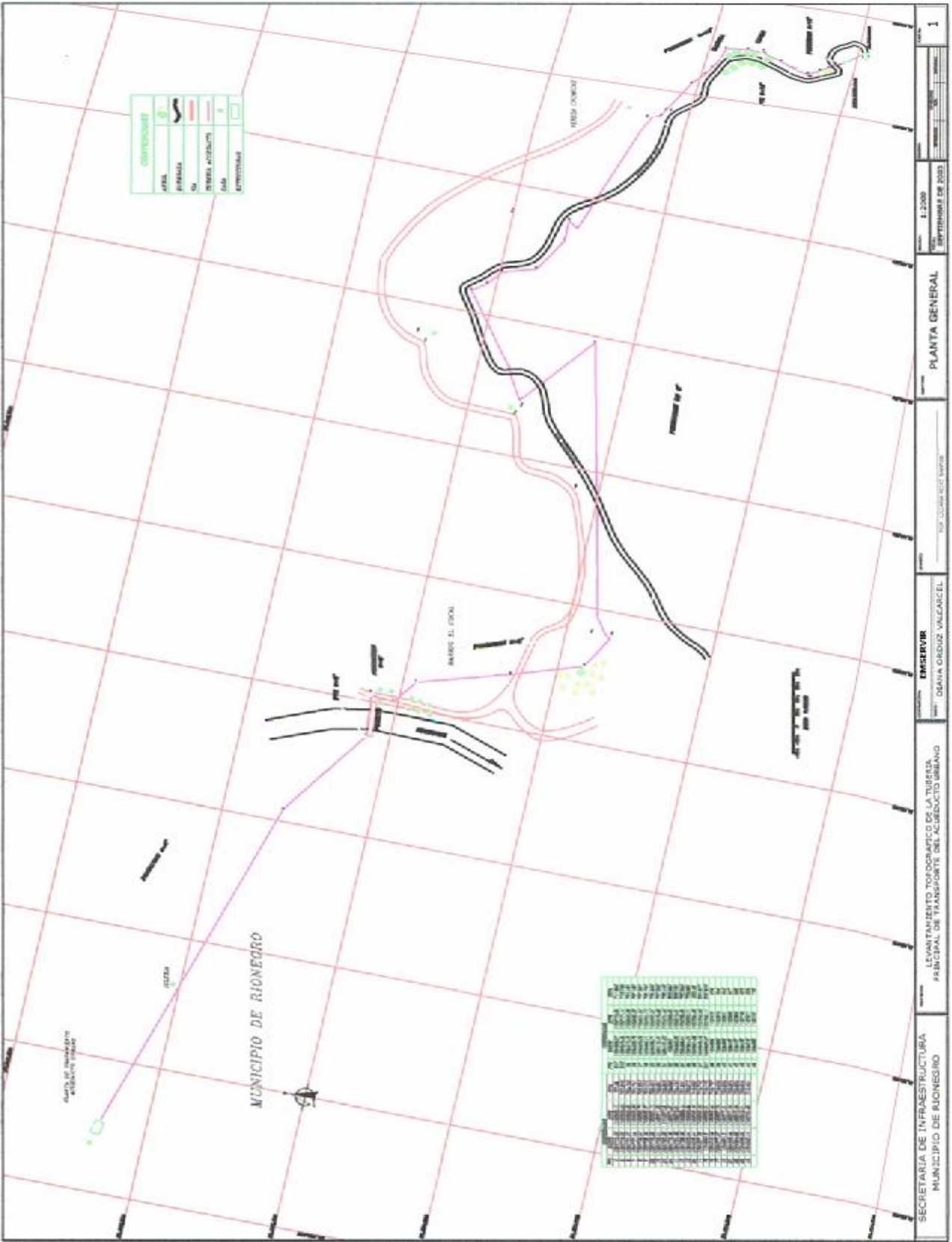
- 35) ----- . Metalurgia para Ingenieros. UIS. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Bucaramanga, 1990.
- 36) JONES, Denny. Principles and Prevention of Corrosion. Second edition. Prentice – Hall. USA, 1996.
- 37) KEMMER, Frank. The Nalco Water Handbook. Mc Graw Hill. USA, 1963. p 4.1 – 4.20.
- 38) NALCO. Manual del Agua. Su naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo III. Mc Graw Hill. USA, 1996.
- 39) NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. NACE Standard TM0497 (latest revision). “Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems”. Houston, TX. 1999
- 40) PEÑA, Gonzalo. Contaminación y depuración de agua. Especialización en Auditoria y Estudios de Impacto Ambiental. Corporación Escuela Tecnológica del Oriente. Bucaramanga, 2002.
- 41) STEEL, Ernest W. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1965. p 96 - 121
- 42) VALENCIA, Asdrúbal. Curso Nacional de Ultrasonido Nivel II. Simedua. Medellín, 1995.
- 43) ----- . Y otros. Evaluación del estado actual de una tubería de hierro dúctil para la conducción de agua potable. Segundo Encuentro Nacional de Corrosión y

Protección. Grupo de Corrosión de la Universidad de Antioquia y Simedua. Medellín, 1993.

44) VERGARA, Alejandro y MANCERA, Ludwing. Evaluación de las Propiedades Mecánicas de las Fundiciones Grises por el Método de Ultrasonido. Tesis de grado. Bucaramanga, 1997. Facultad de Ingeniería Fisicoquímica. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

## ANEXOS

**ANEXO 1. PLANO GENERAL DE LA TUBERIA DE TRANSPORTE DEL  
ACUEDUCTO URBANO**



**ANEXO 2. MEDICION ULTRASONICA DEL ESPESOR DE PARED DE LA  
TUBERIA DE TRANSPORTE**

# MEDICION ULTRASONICA DEL ESPESOR DE PARED

Date: 21 DE AGOSTO 2003

Entidad: ACUEDUCTO URBANO DE RIONEGRO

Page 1 of 4 pages

Localización: RIONEGRO S.S.

Equipo: T-MIKE ES

## REPORTE HOJA 1

*Se realizó inspección con ultrasonido puntual a la tubería de transporte del acueducto urbano del municipio de Rionegro en puntos críticos y de fácil acceso utilizándose los estándares y secciones ASTM E 213-86(1990), E 797-90, E114-90, E494-89 con el equipo ultrasónico de medición de espesores Stresstel Corporation T-Mike ES realizándose el siguiente trabajo:*

*\* Localización de puntos críticos y de fácil acceso*

*\* Limpieza de la superficie a inspeccionar*

*\* Calibración del equipo con bloque patrón del mismo material (Fundición) suministrado por los practicantes y medido anteriormente con micrómetro digital (Calibración del equipo con espesor conocido)*

*\* Aplicación del acoplante (SAE 40 Aceite para motor)*

*\* Medición del espesor de pared puntual en el perímetro del tramo.*

*\* Registro de datos*

*\* Reporte escrito*

Nota: La velocidad acústica indicada por el equipo en este material es de 0,2067 pulgadas/microsegundos y esta dentro del rango de la tabla ASTM E494 (Iron Cast que oscila en el rango 0,138 a 0,222 pulg/microseg)

Asesor :



**ING. LUIS CARLOS ZAMBRANO G.**  
Level II Nondestructive Testing LP, MPI  
EMI, UT Qualcon Incorporated  
Livingston Tennessee – ASNT  
Matricula Profesional SN 23131710

**INSPECCIÓN ULTRASONICA DE ESPESOR DE PARED EN LA TUBERÍA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO URBANO DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO (SANTANDER)**

## REPORTE – HOJA 2

Material: Fundición Gris Diámetro: 10" Proceso de Manufactura: Tubería Sin Costura

SECCIÓN	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM
1	<b>0.343</b>	0.345	0.350	0.345	0.347	0.347	0.344	NA	NA	NA
2	0.348	<b>0.333</b>	0.352	0.354	0.334	0.346	0.348	NA	NA	NA
3	0.332	<b>0.315</b>	0.322	0.324	0.335	0.317	0.319	0.085	0.312	0.227
4	0.328	0.333	0.335	0.338	<b>0.319</b>	0.325	0.331	0.125	0.319	0.194
5	0.306	0.333	0.300	0.392	0.309	0.304	<b>0.298</b>	0.055	0.318	0.263
6	<b>0.297</b>	0.330	0.311	0.306	0.340	0.334	0.323	NA	NA	NA
7	0.323	0.315	0.302	0.310	0.375	0.324	<b>0.297</b>	0.085	0.330	0.245
8	0.338	0.330	0.315	0.340	<b>0.311</b>	0.327	0.320	0.055	0.316	0.261
9	0.330	0.315	0.316	0.325	0.344	<b>0.290</b>	0.300	0.076	0.318	0.242
10	0.325	0.330	0.351	0.318	0.348	<b>0.306</b>	0.307	0.092	0.340	0.248

UT1, UT2.....: Lectura Ultrasonica

UT AD.: Ultrasonido adyacente calculado a cada 90 grados del Pit,

Realizando 4 mediciones de espesor de pared calculando un promedio.

PG: Lectura del Pit Gage.

REM: Espesor de pared remante de la tubería.

**INSPECCIÓN ULTRASONICA DE ESPESOR DE PARED EN LA TUBERÍA DE TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO URBANO DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO (SANTANDER)**

## REPORTE – HOJA 3

Material: Fundición Gris Diámetro: 8" Proceso de Manufactura: Tubería Sin Costura

SECCIÓN	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM
1	0.464	<b>0.420</b>	0.463	0.460	0.455	0.463	0.461	NA	NA	NA
2	<b>0.418</b>	0.464	0.421	0.442	0.395	0.420	0.460	0.050	0.420	0.370
3	<b>0.406</b>	0.426	0.411	0.427	0.407	0.418	0.423	NA	NA	NA
4	<b>0.442</b>	0.482	0.444	0.481	0.457	0.452	0.473	NA	NA	NA
5	0.472	0.460	0.439	0.440	0.457	<b>0.438</b>	0.452	NA	NA	NA
6	0.475	0.454	<b>0.438</b>	0.474	0.466	0.452	0.468	NA	NA	NA
7	0.456	0.416	0.478	0.444	0.473	<b>0.403</b>	0.468	NA	NA	NA
8	0.486	0.420	0.416	<b>0.415</b>	0.432	0.442	0.458	NA	NA	NA
9	0.426	0.441	0.444	<b>0.422</b>	0.448	0.442	0.447	NA	NA	NA

UT1, UT2 .... : Lectura Ultrasónica

UT AD.: Ultrasonido adyacente calculado a cada 90 grados del Pit,

Realizando 4 mediciones de espesor de pared calculando un promedio.

PG: Lectura del Pit Gage.

REM: Espesor de pared remante de la tubería.

**INSPECCIÓN ULTRASONICA DE ESPESOR DE PARED EN LA TUBERÍA DE  
TRANSPORTE DEL ACUEDUCTO URBANO DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO  
(SANTANDER)**

## REPORTE – HOJA 4

Material: Fundición gris Diámetro: 6" Proceso de Manufactura: Tubería Sin Costura

SECCC.	UT1	UT2	UT3	UT4	UT5	UT6	UT7	PG	UT AD.	REM
1	0.258	<b>0.232</b>	0.257	0.237	0.246	0.270	0.252	NA	NA	NA
2	0.257	<b>0.255</b>	0.275	0.261	0.264	0.260	0.258	NA	NA	NA
3	0.258	0.265	0.272	0.257	0.261	0.274	<b>0.252</b>	NA	NA	NA
4	0.225	0.221	0.220	<b>0.219</b>	0.265	0.260	0.264	0.070	0.275	0.205
5	0.283	0.278	0.287	0.288	<b>0.277</b>	0.288	0.284	NA	NA	NA
6	0.265	0.260	0.275	0.264	0.248	<b>0.244</b>	0.258	0.085	0.242	0.157
7	0.256	0.249	0.247	<b>0.244</b>	0.272	0.252	0.245	0.065	0.263	0.198
8	0.259	0.257	0.262	0.270	<b>0.253</b>	0.261	0.257	0.050	0.252	0.202
9	0.257	0.251	<b>0.245</b>	0.254	0.268	0.249	0.255	NA	NA	NA
10	0.253	0.250	0.254	0.267	0.252	<b>0.248</b>	0.270	NA	NA	NA
11	0.235	<b>0.231</b>	0.260	0.244	0.254	0.233	0.238	NA	NA	NA
12	0.270	0.268	0.272	0.276	0.271	<b>0.266</b>	0.274	NA	NA	NA
13	0.258	0.262	0.263	0.264	0.257	<b>0.255</b>	0.265	NA	NA	NA
14	0.271	<b>0.252</b>	0.255	0.239	0.255	0.280	0.270	0.090	0.270	0.180
15	<b>0.270</b>	0.278	0.273	0.280	0.275	0.276	0.278	0.090	0.271	0.181

UT1, UT2.....: Lectura Ultrasonica

UT AD.: Ultrasonido adyacente calculado a cada 90 grados del Pit,

Realizando 4 mediciones de espesor de pared calculando un promedio.

PG: Lectura del Pit Gage.

REM: Espesor de pared remante de la tubería.



Asesor: \_\_\_\_\_

**ING. LUIS CARLOS ZAMBRANO GARZON**

Level II Nondestructive Testing LP, MPI  
EMI, UT Qualcon Incorporated Livingston  
Tennessee – ASNT  
Matricula Profesional SN 23131710