



---

---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**“Evaluación del desgaste de las descargas de  
una casa de bombas en un centro de refinación  
de petróleo”**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:  
Ingeniero Químico**

**PRESENTA:**

**Sergio Said Guzmán Pérez**

**Director de Tesis:**

**Dr. M. Javier Cruz Gómez**

**MEXICO, 2015.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios con todo mi corazón, por todo su amor incondicional y su gran poder que día a día puedo ver en mi vida, sin Él nada de esto sería posible.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi alma mater, que desde el CCH ha sido parte de mi formación como profesional.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por ser mi casa estos últimos seis años, por todos los conocimientos adquiridos en sus aulas, las experiencias y risas que quedan en mi memoria, recordare con mucha felicidad los momentos que pasé en sus instalaciones.

Agradezco al Dr. Javier Cruz por ser el asesor de este trabajo y especialmente al Dr. Néstor Noé López Castillo por sus comentarios, recomendaciones y observaciones que permitieron que este trabajo se concluyera.

También agradezco a mis sinodales, I.Q. Olga Berenice Benítez López, M. en C. Ana Lilia Maldonado Arellano y M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejada, por su valioso tiempo, comentarios y observaciones en la aprobación de este trabajo.

Agradezco al grupo de trabajo CEASP<sup>4</sup>A por la oportunidad de incursionar en el mundo laboral, a los ingenieros, Martín Colon, Luis Alarcón, Gerardo Aldana, Adrián y Oscar Santos por compartir sus conocimientos y por los consejos que me han dado en este tiempo, a mis amigos Uriel “Chino fiestero” Cetina, Ricardo “Perita” Sánchez, Jane Lynx, Joecolet, Yasser “Labios cerrados”, Marquito y Flor por los buenos tiempos compartidos en la torre de ingeniería así como en los viajes de trabajo a campo en donde sacamos provecho de los viáticos ;).

A mis amigos de la oficina, Chiquilín, Octavio, Güero, José, Charly y mi amigo Dorian que se nos adelantó en el camino, sé que haya donde está sigue chuleando tal como Octavio y Chiquilín le enseñaron.

A mi pandilla de la FES, Krosty, Zack, Inocencia, Richard, Manuel, Julio Cesar Alonso Santiago, Cesar, Rubén, Julio “Nabo”, Dianita, Chelito, Blanca Flor, Rita, Chucho “El Roto”, Chucho “El Ferras”, Rogelio, Ana Celina, Jain, y demás amigos, agradezco las risas que pudimos compartir que fueron muchas, así como los días en “El triángulo” y “La Maroma” de los cuales tenemos muchas anécdotas que contar, ya que los libros siempre estarán ahí para consultarlos, pero los momentos no se repiten.

Un agradecimiento especial más al buen, Omar Ortiz Ortiz “Lupillo”, por su amistad brindada, a pesar de los desacuerdos que pudimos tener en el transcurso



de la carrera, sé que siempre pude contar contigo para cualquier momento, así mismo sabes que siempre seré tu padrino y tu maestro en todo.

Agradezco a los miembros de mi iglesia Bethel, en especial al Hno. Bonilla y la Hna. Josefina por siempre tenerme en sus oraciones y estar pendiente de mí, también agradezco al grupo de jóvenes que se han convertido en mis amigos y por compartir la experiencia de tener a Cristo en nuestras vidas.

A mi amada Fran, gracias por acompañarme y apoyarme en esta etapa de mi vida, llegaste en el momento que debías de llegar, ni antes ni después, Dios supo premiarme contigo, te has metido en mi corazón y sé que yo en el tuyo, este es apenas el principio de los muchos triunfos que tendremos juntos.

A mi hermano Edgar por los regaños, consejos y el tiempo compartido, gracias por todo el apoyo que me has brindado, aunque estés en otra parte del planeta sabes que te siento justo aquí a mi lado.

A mi hermana Luisa Anais por su cariño incondicional, por las risas interminables, por ser mi mano derecha y cómplice, porque siempre estás dispuesta a escucharme y sé que a pesar de que intentas demostrar ser una persona con carácter fuerte, tienes un gran corazón y mucho amor para dar.

A mi amado padre Aarón Guzmán Flores, por ser la persona más inteligente que conozco, por salir de las adversidades siempre con entereza, por siempre demostrarnos que con trabajo y perseverancia todas las cosas son posibles, por tener los consejos adecuados en cualquier situación y sobre todo por ese sentido del humor tan característico que gracias a Dios pude heredar de él.

Por último le doy infinitas gracias a mi madre Ana María Pérez Aguirre, por ser la mejor mujer que Dios me pudo dar por madre, por hacerme ver que el trabajo es importante para ser una gran persona, por sus regaños que me hicieron volver al redil cada vez que perdía el camino, por ser siempre el motor de mi vida, alentarme en los momentos difíciles y ser la primera en felicitarme en los logros obtenidos, gracias por siempre cuidar de mí, porque siempre en cada momento piensa en sus hijos y su esposo, siempre dispuesta a cocinar mi platillo favorito, sé que el amor es el más grande secreto de sus recetas, por eso y por mucho te amo Mamá.

Dedico también este trabajo a las personas que no están con nosotros, en especial a mi abuelita Petra y mi abuelita María Luisa, sé que están orgullosas de su gordo ahí donde están.

***“Dad gracias en todo, porque esta es la voluntad de Dios para con vosotros en Cristo Jesús.” 1ª Tesalonicenses 5:1***



## ÍNDICE.

ABREVIATURAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Objetivo general:.....	12
1.2 Objetivos particulares:.....	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Seguridad Industrial.....	13
2.1.1 Accidentes Industriales.....	14
2.2 Administración de la seguridad de los procesos. (ASP).....	17
2.3 Integridad Mecánica.....	18
2.4 Marco Normativo.....	20
2.4.1 Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores. (DG-SASIPA-IT-0204).....	20
2.4.1.1 Definiciones.....	21
2.4.1.2 Secuencia para el registro, análisis y programación preventiva de espesores.....	21
2.4.1.3 Preparativos para la medición de espesores.....	24
2.4.1.4 Unidades de control críticas.....	25
2.4.1.5 Análisis preliminar de espesores.....	25
2.4.1.6 Análisis estadístico formal.....	26
2.4.1.7 Uso de resultados.....	28
2.4.2 Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación. (GPEI-IT-0201).....	29
2.4.2.1 Programación de la revisión.....	30
2.4.2.2 Procedimiento para el control de desgaste de niplería. (GPI-IT-4200).....	31
2.4.2.3 Localización de los puntos de calibración y medios para la calibración.....	31
2.4.3 Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en instalaciones en operación (DG-GPASI-IT-0903).....	33



2.4.4 Procedimiento para efectuar la inspección de tuberías de proceso y servicios auxiliares en operación. (GPASI-IT-0209).....	35
2.4.4.1 Clasificación de Tuberías.....	35
2.4.4.2 Periodos de inspección.....	36
2.5 SIMECELE .....	37
2.6 Transporte y Distribución de Hidrocarburos. ....	41
CAPÍTULO III. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS. ....	43
3.1 Información Recopilada. ....	43
3.2 Casa de Bombas No. 4 .....	43
3.3 Censo de Circuitos.....	45
3.4 Censo Unidades de Control. ....	46
3.4.1 Selección de Unidades de Control.....	47
3.5.1 UC-CB4TUL-008.....	49
3.5.2 UC-CB4TUL-033.....	56
3.5.3 UC-CB4TUL-039.....	60
3.6 Ubicación de los espesores mínimos encontrados en las unidades de control. ....	64
3.6.1 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-008 .....	65
3.6.2 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-033 .....	66
3.6.3 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-039. ....	68
3.7 Comparación de las unidades de control. ....	69
3.7.1 Comparación de la velocidad de desgaste promedio. ....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	72
ANEXO A. Análisis estadístico formal para determinar la velocidad ajustada (D <sub>máx</sub> ), vida útil estimada (VUE), fecha de retiro probable (FRP) y fecha de próxima medición de espesores (FPME). ....	76
ANEXO B. DIAGRAMAS DE IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE CONTROL. ....	78
ANEXO C. CENSO DE UNIDADES DE CONTROL.....	97
BIBLIOGRAFÍA. ....	100



## **ABREVIATURAS.**

<b>ERW</b>	Electric resistance welding. (Soldadura por resistencia eléctrica)
<b>FPME</b>	Fecha de próxima medición.
<b>FRP</b>	Fecha de retiro probable.
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>IMAC</b>	Integridad mecánica y aseguramiento de calidad.
<b>mpa</b>	Milésimas de pulgada por año.
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos.
<b>PND</b>	Pruebas no destructivas.
<b>PR</b>	Pipas de reparto.
<b>ROMP</b>	Residencia de operación marítima y portuaria.
<b>SIMECELE</b>	Sistema de medición y control de espesores en líneas y equipos.
<b>SSPA</b>	Sistema de seguridad, salud y protección ambiental.
<b>TAR</b>	Terminal de Almacenamiento y Reparto.
<b>TED</b>	Trampa de envío de diablos.
<b>TV</b>	Tanque Vertical.
<b>URV</b>	Unidad recuperadora de vapor.
<b>VUE</b>	Vida útil estimada.



## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Principales causas de los desastres. ....	15
Figura 2. Localización de puntos de calibración en arreglos típicos de niplería. ...	33
Figura 3. Árbol de tareas SIMECELE. ....	38
Figura 4. Pantalla de bienvenida SIMECELE. ....	39
Figura 5. Esquema del sistema de transporte por ducto. Fuente [NRF-030-PEMEX-2009]. ....	42
Figura 6. Recepción y envío de productos. ....	44
Figura 7. Porcentaje de niveles medidos de la UC-CB4TUL-008. ....	50
Figura 8. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008 (Punto de mayor desgaste) ....	52
Figura 9. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008 (Engrosamiento) ....	54
Figura 10. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008 (Espesores por debajo del L.R.) ....	55
Figura 11. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033 (Espesores por arriba del espesor nominal) ....	57
Figura 12. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033 (Punto de mayor desgaste) ....	59
Figura 13. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033 (Engrosamiento) ....	59
Figura 14. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033 (Espesores por arriba del espesor nominal) ....	60
Figura 15. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039 (Engrosamiento y Desgaste) ....	61
Figura 16. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039 (Mediciones > Espesor nominal) ....	62
Figura 17. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039 (Mediciones cercanas o por debajo del límite de retiro) ....	63
Figura 18. Ejemplo de Isométrico de la Casa de Bombas No. 4. ....	64
Figura 19. UC-CB4TUL-008 Isométrico 11 de 11 (Niveles 425 al 458) ....	65
Figura 20. UC-CB4TUL-033 Isométrico 03 de 09 (Niveles 59 al 86) ....	67
Figura 21. UC-CB4TUL-039 Isométrico 07 de 11 (Niveles 253 al 299) ....	69





## **ÍNDICE DE TABLAS.**

Tabla 1. Los 15 mayores desastres industriales en relación con los daños materiales (Hasta el año 2006) .....	15
Tabla 2. Los mayores desastres industriales en relación con el número de víctimas (Hasta el año 2006).....	16
Tabla 3. Criterios generales en la revisión de tornillería.....	34
Tabla 4. Intervalos de inspección máximos recomendados en tuberías. ....	36
Tabla 5. Información Recopilada de la Casa de Bombas No. 4 .....	43
Tabla 6. Censo de Circuitos de la Casa de Bombas No. 4 .....	45
Tabla 7. Unidades de Control seleccionadas para el análisis. ....	48
Tabla 8. Registro de los últimos expedientes de medición.....	49
Tabla 9. Niveles Críticos de la UC-CB4TUL-008.....	51
Tabla 10. Resumen del análisis estadístico de niveles críticos de la UC-CB4TUL-008. ....	53
Tabla 11. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-008. ....	54
Tabla 12. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-033. ....	57
Tabla 13. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-039. ....	61
Tabla 14. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-008 Poliducto Tula – Toluca 16” .....	65
Tabla 15. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-033 Poliducto Tula – Azcapotzalco 12”.....	66
Tabla 16. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-039 Poliducto Tula – Azcapotzalco 16” .....	68
Tabla 17. Comparación de las unidades de control de acuerdo a sus condiciones de operación.....	70



## **RESUMEN.**

En esta tesis se realizó la evaluación de la medición de espesores de tres unidades de control pertenecientes al sistema de poliductos de una casa de bombas pertenecientes a la misma refinería, estas unidades de control se seleccionaron y cumplen con los mismos parámetros, manejan los mismos fluidos y cada una de ellas en teoría está construida del mismo material, por lo cual el objetivo fue evaluar el desgaste en cada una de las unidades de control y relacionarlo con las condiciones de operación para observar cual presenta el mayor desgaste.

Las tres unidades de control fueron resultado de la implementación del Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) dentro de la casa de bombas. De esta implementación también se obtuvieron dibujos de cada unidad de control y la actualización de los diagramas de tubería e instrumentación.

Además cada unidad de control dentro del análisis contaba con un expediente de inspección con al menos dos fechas de medición de espesores, esa información se cargó en el SIMECELE, el cual, con base en un análisis estadístico arroja resultados tales como; velocidad de desgaste, velocidad de desgaste promedio, gráficas de velocidad de desgaste, fecha de próxima medición de espesores, fecha de retiro probable y vida útil estimada.

Esta información fue utilizada para estudiar la tendencia de la velocidad de desgaste de las unidades de control evaluadas, los gráficos se utilizaron para encontrar anomalías que pasarán desapercibidas durante el análisis estadístico efectuado por el software.

Por último, se relacionaron las velocidades de desgaste promedio con las condiciones de operación para determinar cuál de las unidades de control estudiadas tiene el mayor desgaste en los espesores de pared y las condiciones a la cual es operada.

Al final de la comparación de unidades de control se obtuvo como resultado que la unidad de control correspondiente al poliducto Tula-Toluca de 16” que opera a la



*“Evaluación del desgaste de las descargas de una casa de bombas en un centro de refinación de petróleo”*



mayor presión de las tres, es en efecto la que presenta la mayor velocidad de desgaste promedio.



## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

En México la industria de la refinación tiene diversos retos, entre los que destacan el aumento en la demanda de gasolinas y demás productos refinados del petróleo así como la distribución de los mismos por todo el país, esta demanda está íntimamente relacionada al desarrollo económico del país y el compromiso en el cuidado del ambiente a través de la elaboración de combustibles más limpios, garantizando la seguridad de las personas y de la instalación.

Así es como han cobrado importancia los aspectos relacionados con la seguridad industrial, uno de los más importantes es la prevención de accidentes por pérdidas de contención en las líneas y equipos de proceso, esto se logra a partir de mantener en buen estado la integridad mecánica de la instalación industrial.

Para que esto sea posible, es necesario realizar trabajos de inspección técnica para recopilar la información necesaria, a partir de la cual se pueda realizar la programación de nuevos planes de inspección, mantenimiento y posibles paros del proceso para la sustitución de accesorios, de tuberías o equipos.

Los trabajos de inspección realizados sobre una instalación industrial pueden variar de un proceso a otro, pues los fenómenos de desgaste de las líneas y equipos de proceso suelen variar por el tipo de material especificado para la línea y la naturaleza del servicio, siendo los más comunes; el radiografiado de uniones soldadas, inspecciones visuales y el análisis estadístico de los valores de medición de espesores de la pared de la tubería.

Actualmente existen herramientas, como el software SIMECELE, que fue desarrollado con base a las distintas normas de inspección técnica de los centros de refinación en México, este software realiza los cálculos para obtener la fecha de próxima medición, fecha de retiro probable y vida útil estimada, posteriormente administra la información de forma adecuada con el objetivo de realizar una planeación de próximos trabajos de inspección y mantenimiento confiable.



Dentro de los centros de refinación del petróleo, las casas de bombas tienen un papel primordial, ya que son las encargadas de suministrar la potencia requerida para que los compuestos derivados del petróleo, en especial las gasolinas, lleguen a las estaciones de consumo y a su vez al consumidor final.

El uso constante de estas líneas ocasionan que el material sufra desgaste, es por eso que debe de ser inspeccionado con los trabajos antes descritos, esto con el fin de reducir los accidentes dentro de las instalaciones, garantizando así la integridad física de las personas, la protección del medio ambiente y las instalaciones.

Es por eso que en el presente trabajo se realizó una evaluación del desgaste en las descargas de los poliductos de una casa de bombas, realizando el análisis de la medición de espesores como resultado de la implementación del Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) en la instalación.

### **1.1 Objetivo general:**

Evaluar el desgaste de las líneas que conforman la descarga de una casa de bombas con la información capturada en el Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE).

### **1.2 Objetivos particulares:**

- a) Realizar un análisis de la información capturada en el SIMECELE para cada unidad de control seleccionada, identificado desgaste o engrosamiento en las líneas.
- b) Establecer una relación del desgaste de los materiales con respecto a las condiciones de operación.
- c) Señalar los puntos de menor espesor dentro de las unidades de control analizadas.



## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Seguridad Industrial.**

La seguridad industrial es un área multidisciplinaria que tiene por objeto la protección contra siniestros que dañen a las personas, el medio ambiente y las instalaciones, así como la prevención y la disminución de los riesgos dentro de las plantas industriales. La industria química maneja sustancias que debido a su naturaleza representan un riesgo a la salud, además de que las condiciones de operación propias del proceso del que son parte, requieren una serie de medidas de seguridad para minimizar o anular los riesgos inherentes a dichos procesos dentro las instalaciones.

La experiencia dentro de la Industria química y petroquímica demuestra que la mayoría de los incidentes en los procesos industriales son el resultado de fallas o condiciones relacionadas con:

- Defectos del diseño/material.
- Procedimientos de operación.
- Poco o nulo entendimiento de la tecnología del proceso.
- Falta de mantenimiento preventivo.
- Modificaciones no autorizadas a los equipos y líneas pertenecientes al proceso.
- Programas de inspección deficientes.
- Inspecciones no realizadas en las fechas estipuladas.
- Falta de seguimiento en las inspecciones.
- Deficiencia en la supervisión.

La lista de los accidentes por causa de estas fallas o condiciones inadecuadas es innumerable, tales como la explosión de nube de vapor en Flixborough en 1974, la explosión de GLP en la ciudad de México en 1984, la liberación de materiales tóxicos en Bhopal en 1984, y el fuego y la liberación de radiación en Chernobyl<sup>1</sup>, han dejado muestra de que estos incidentes además de representar pérdidas



económicas, perjudican sustancialmente a las comunidades cercanas ya sea afectando los recursos naturales así como la irreparable pérdida de vidas humanas.

Es por este y otros motivos que aunque la industria deba de seguir satisfaciendo los criterios de rentabilidad económica para los cuales es necesaria la productividad, su optimización no puede en ningún caso, contrariar los requisitos esenciales de seguridad.<sup>2</sup>

Es necesario también que el personal involucrado esté mentalizado sobre la trascendencia económica y social de los accidentes, y cumplan con la normatividad y procedimientos existentes, ya que la seguridad dentro de las instalaciones no es sólo responsabilidad de los departamentos encargados de esta función, si no que todos los puestos de trabajo son corresponsables de la seguridad industrial, constituyendo esta tarea una parte esencial de sus labores.<sup>3</sup>

### **2.1.1 Accidentes Industriales.**

Dentro de los puntos que abarca la seguridad industrial está el disminuir los accidentes industriales mayores, entendiendo por estos, los que afectan directamente a las personas dentro y fuera de la planta, así como también al ecosistema. La mayor parte de estos accidentes son causados por emisiones o derrames de sustancias tóxicas o inflamables fuera y dentro de las instalaciones, así como de emisiones de grandes cantidades de energía que son acompañadas de explosiones, incendios y fuego, que aumentan la catástrofe del accidente, figura 1.



**Figura 1. Principales causas de los desastres.**

Las medidas de seguridad existentes en la industria hoy en día, exigen tener planes de contingencia que permiten reaccionar, mitigar e incluso evacuar durante cualquier fenómeno natural y sucesos accidentales, pero a pesar de estas medidas es imprescindible prevenir los accidentes, identificando los riesgos y las posibles fuentes de los mismos, evitando así su iniciación, propagación y magnificación.

El identificar los problemas de raíz y tener un plan para evitarlos, puede reducir significativamente los costos de reparación, así como los gastos derivados de indemnizaciones a las personas y el patrimonio afectados. En la tabla 1 se presentan los accidentes industriales más costosos en los últimos años.

**Tabla 1. Los 15 mayores desastres industriales en relación con los daños materiales (Hasta el año 2006).**

Fecha	Ubicación	Industria	Causa inicial	Costo (Millones de Dólares)
06/07/1988	Reino Unido	P. Petrolera	Explosión de vapores	1,503
23/10/1989	Estados Unidos	Petroquímica	Explosión de vapores	1,030
21/09/2001	Francia	Petroquímica	Explosión de vapores	888
20/01/2004	Argelia	Refinería	Explosión de vapores	845





15/03/2001	Brasil	P. Petrolera	Explosión de vapores	610
24/04/1988	Brasil	P. Petrolera	Fuego	546
25/06/2000	Kuwait	Refinería	Explosión de vapores	512
05/05/1988	Estados Unidos	Refinería	Explosión de vapores	398
09/11/1992	Francia	Refinería	Explosión de vapores	376
24/02/1986	Grecia	Refinería	Fuego	368
25/12/1997	Malasia	Petroquímica	Explosión	348
14/11/1987	Estados Unidos	Petroquímica	Explosión de vapores	340
23/07/1984	Estados Unidos	Refinería	Explosión de vapores	325
16/04/2001	Reino Unido	Refinería	Explosión de vapores	308
16/10/1992	Japón	Refinería	Explosión	232 <sup>1</sup>

Fuente: Elaboración Propia.

A pesar de lo impactante de la pérdida en activos, el gasto en reparaciones, las multas por afectaciones al medio ambiente, la consecuencia más grave de los accidentes industriales es la pérdida irreparable de vidas humanas. En la tabla 2 se presentan los accidentes con más víctimas (Muertes y heridos) en los últimos años.

**Tabla 2. Los mayores desastres industriales en relación con el número de víctimas (Hasta el año 2006).**

Fecha	Ubicación	Industria	Causa inicial	Número de víctimas
03/12/1984	India	Petroquímica	Isocianato de Metilo	25,000
19/11/1984	México	Depósito	GLP	6,400
26/07/1993	USA	Petroquímica	Acido	6,250
21/09/2001	Francia	Petroquímica	Nitrato de Amonio	3,000
03/11/1982	Afganistán	Transporte de Petróleo	Petróleo	2,000 <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia.



## **2.2 Administración de la seguridad de los procesos. (ASP)**

La mayoría de los países del mundo tienen una legislación en materia de seguridad industrial, aunque sólo en los países de “primer mundo” podemos encontrar una legislación integral.

La administración de la seguridad de los procesos tiene como principal objetivo prevenir y reducir los incidentes relacionados con los procesos de la empresa, la ASP proporciona los controles necesarios:

- Planeación y respuesta a emergencias
- Administración de cambios de tecnología
- Entrenamiento y desempeño
- Investigación y reporte de incidentes
- Contratistas
- Investigación de incidentes y accidentes
- Integridad mecánica
- Tecnología del proceso
- Procedimientos de operación y prácticas seguras
- Análisis de riesgos de procesos
- Aseguramiento de la calidad
- Auditorías
- Administración de cambios menores
- Administración de cambios de personal

Los principios y sistemas de administración de la seguridad de los procesos pueden ser efectivos para incrementar, no solo el grado de seguridad de la operación, sino la productividad, la rentabilidad y la calidad. Así como el ASP involucra las medidas para la prevención de incidentes, al mismo tiempo proporciona las actividades necesarias en caso de que ocurran dichos eventos.<sup>4</sup>

Actualmente en México, la empresa más importante del país, **PEMEX** cuenta con un macro proceso de seguridad llamado **SSPA** que proviene de las 12 mejores prácticas de Salud y Protección Ambiental propuesta por Dupont; dentro de este



gran proceso en 1998 se integra un Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA)<sup>5</sup> que es una herramienta administrativa enfocada al diagnóstico, evaluación, implantación y mejora continua del desempeño en las áreas encargadas de seguridad y protección, así como la creación de la cultura de seguridad y protección ambiental, que da prioridad al mantenimiento preventivo y no espera los incidentes para dar pie al mantenimiento correctivo.

### **2.3 Integridad Mecánica.**

Es un conjunto de actividades interrelacionadas enfocadas para asegurar la confiabilidad de equipos y tuberías, que cubre desde la fase de diseño, fabricación, instalación, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento, para garantizar que cumplan las condiciones de funcionamiento requeridas, con el propósito de proteger a los trabajadores, las instalaciones de los centros de trabajo y el medio ambiente.<sup>6</sup>

Las actividades varían según la industria, las normas aplicables y vigentes, el tipo de planta y la localización geográfica, aunque algunas características son comunes, tales como:

- Procedimientos de mantenimiento.
- Procedimiento para priorizar los equipos, para ayudar a asignar los recursos de manera óptima.
- Entrenamiento y desempeño del personal de mantenimiento.
- Procedimientos de aseguramiento y control de calidad.
- Inspecciones y pruebas a equipos y refacciones, incluyendo mantenimiento preventivo y correctivo.
- Incorporar, reconocer y aceptar, en general, las buenas prácticas de la ingeniería.
- La realización del diseño, fabricación, instalación, modificación, mantenimiento, reparación, desmantelamiento, inspección, entrega al



cliente deben de ser supervisadas, esta supervisión debe de ser efectuada por personal capacitado y procedimientos aprobados.

- Mantiene la documentación de servicio y otros registros que permitan el seguimiento constante de las actividades de integridad mecánica y de proporcionar información precisa a los usuarios del equipo, incluyendo la seguridad del proceso y otros elementos de gestión de riesgos.<sup>7</sup>

Las actividades que forman parte de la integridad mecánica son parte de los grandes esfuerzos de la industria para prevenir los accidentes y en mayor medida mantener la productividad; las normas y las regulaciones en la industria de varios países han ayudado a definir los requisitos de éstas actividades así como su aplicación, la integridad mecánica ha sido adoptada e implementada en la mayoría de las plantas de proceso de refinación del petróleo y las industrias relacionadas.

### **2.3.1 Inspección Técnica.**

La Integridad mecánica está sujeta a un proceso de evaluación, del cual se encarga la inspección técnica, ésta se clasifica en tres tipos<sup>8</sup>:

- a) Inspección basada en tiempo: Se establecen periodos mínimos y máximos de inspección con base en el tiempo de vida útil de un equipo o línea de proceso establecidos a partir de la experiencia de plantas con procesos similares.
- b) Inspección basada en riesgo: Su objetivo es definir planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelaje probabilístico de la consecuencia de una falla (caracterización del riesgo).
- c) Inspección basada en estado: Todo tipo de pruebas no destructivas (PND) (radiografías, pruebas de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, medición de espesores por ultrasonido, etc.) que pueden ser realizadas en una instalación, ya sea con el proceso en operación o en algún paro total o parcial, con el objetivo de establecer la condición actual de la integridad



mecánica del componente a inspeccionar, por ejemplo, un tramo de línea o un equipo de proceso.

## 2.4 Marco Normativo.

En la industria petrolera de México, los trabajos de inspección propuestos anteriormente forman parte del concepto **IMAC** y se describen en el marco normativo vigente, que abarca pero no se limita a las normas que se presentan a continuación.

### 2.4.1 Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores. (DG-SASIPA-IT-0204)

El objetivo de ésta guía es: Predecir, detectar y evaluar oportunamente las disminuciones del espesor debajo de los límites permisibles, que puedan afectar la integridad mecánica de las tuberías y equipos en general, para tomar las medidas necesarias a fin de prevenir la falla de los mismos<sup>9</sup>.

El alcance de esta guía son las tuberías que *manejan o transportan hidrocarburos*, productos químicos o petroquímicos y sustancias tóxicas o agresivas, así como los tanques y recipientes donde son almacenen las sustancias antes descritas, también se puede aplicar este procedimiento a líneas y equipos no mencionados, cuando el centro de trabajo lo considere necesario.

Esta guía presenta excepciones a la hora de aplicar la misma, aquellos equipos que por sus características no pueden sujetarse a programas de medición de espesores independientemente de su fecha de reparación, incluyendo pero no limitándose a:

- Tuberías de calentadores.
- Fluxería de calderas.
- Haces de tubos de cambiadores de calor y tubería de enfriadores con aire.
- Accesorios internos de recipientes, tales como: platos de torres de destilación, serpentines, etc.



- Ductos de transporte enterrados, los cuales por ser inaccesibles se inspeccionan normalmente con otros procedimientos.
- Tuberías con envolventes.
- Tuberías de vidrio, PVC y/o barras de acero que vayan a ser maquinadas.

#### **2.4.1.1 Definiciones.**

Con el fin de normalizar el lenguaje utilizado y evitar confusiones se hacen las siguientes definiciones de los conceptos que se manejan dentro de ésta guía, las cuales además son fundamentales en la presente tesis.

- A. Circuito:** Se considera como <<circuito>>, el conjunto de líneas y equipos que manejen un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación.
- B. Línea:** Es el conjunto de tramos de tubería y accesorios (tee, codo, reducción, válvula, etc.) que manejan el mismo fluido a las mismas condiciones de operación. Normalmente esto se cumple para la tubería localizada entre dos equipos en la dirección de flujo.
- C. Equipos:** Son todos aquellos dispositivos (recipientes, intercambiadores de calor, tanques de almacenamiento, bombas, etc.) que conjuntamente con las líneas integran los circuitos.
- D. Unidad de control:** Se define como las secciones de circuito que tienen una velocidad de corrosión más o menos homogénea tal como de 0 a 8 mpa, de 8 a 15 mpa y de 15>mpa.

#### **2.4.1.2 Secuencia para el registro, análisis y programación preventiva de espesores.**

El personal que realice ésta actividad debe de ser capacitado y certificado como nivel II o III de acuerdo a la Práctica recomendada para la calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos o a la Norma mexicana NMX B-482 (Capacitación, Calificación de personal en ensayos no destructivos).



Los trabajos de medición de espesores y los correspondientes análisis de la estadística, constituyen un proceso cíclico, ya que cada uno aporta los datos necesarios para la ejecución del siguiente procedimiento, tal y como se describe a continuación:

- Los datos obtenidos en la medición se registran en un formato en el que se recopila la información junto con las anteriores mediciones. El conjunto de estos registros constituyen el “Registro de medición de espesores”.
- Se procede al análisis de los datos registrados, obteniéndose la información de velocidad de desgaste estadístico, fechas de próxima medición y de retiro probable, con la cual se estima cuando deben reemplazarse las piezas de acuerdo a su vida útil, para este paso se utiliza el formato denominado “Registro del análisis de la medición de espesores”.
- Con la información obtenida del análisis, por el SIMECELE o equivalente, se procederá a registrarlos en una base de datos, la cual será auditable en un formato específico.
- Cada mes se debe revisar la base de datos para ver qué unidades de control les toca medir espesores, preparando los isométricos o dibujos de inspección de líneas o equipos programados.
- Al ejecutar en campo el programa de medición se generan nuevos datos, los que al registrarse se consideran para repetir el nuevo ciclo.

Para la integración de los datos obtenidos, se debe de contar con el censo de las tuberías y equipos en cada centro de trabajo (planta), así mismo esta debe dividirse en circuitos de proceso y de servicios principales. Una vez que se tienen los circuitos, estos se dividirán en unidades de control de acuerdo a los siguientes criterios:

1. En muchos casos, la unidad de control será la línea, pero en otros casos la línea puede estar dividida en 2 o más unidades de control dependiendo de las velocidades de corrosión que se presenten.
2. En el caso de equipos:



- a) Cuando es un recipiente, las velocidades de desgaste se puedan considerar homogéneas, o bien, éstas sean menores de 15 milésimas de pulgada por año, se debe considerar como unidad de control el recipiente entero.
- b) En cambiadores de calor (haz de tubos), se consideran dos unidades de control, cuerpo y carrete.
- c) En cambiadores de calor (horquilla), se consideran dos unidades de control, una para el conjunto de piezas que manejan el fluido frío y otra para los que manejan el fluido caliente.
- d) En torres de destilación con velocidades de desgaste críticas, deben seccionarse en tantos tramos como sea necesario para tener unidades de control con velocidades de desgaste homogénea, por ejemplo; en torres de destilación primaria, se considera la sección del fondo, la de entrada de carga, la intermedia superior y la del domo.
- e) Los recipientes y torres con forro interior anticorrosivo (lining, clad u overlay, pinturas, refractarios, etc.) considerarlas como una sola unidad de control. Cuando éste recubrimiento sea parcial, tomar dos unidades de control: zona protegida y zona sin protección.
- f) En tanques de almacenamiento atmosférico, esferas y esferoides, considerar una unidad de control por anillo.
- g) Puede haber recipientes horizontales o verticales con zonas donde se concentra la corrosión, por ejemplo: acumuladores donde hay zona líquida y zona de vapores, o bien interfaces donde por la elevada velocidad de desgaste en una de ellas, conviene dividir en varias unidades de control el equipo.

Cada unidad de control debe de contar con la siguiente información:

- Dibujos isométricos de las líneas y desarrollo de equipos, que indiquen claramente las soldaduras y niveles de medición dándoles un número consecutivo de acuerdo a la dirección del flujo y/o lógico, los cuales, además deben contener un recuadro con datos de condiciones de diseño,





operación, especificación del material, diámetros, cédulas en su caso, espesor original y límite de retiro correspondiente, aislamiento (frío o caliente), como información mínima.

- Los arreglos de niplería de las tuberías y equipos, deberán de estar indicados en los dibujos con números arábigos, encerrados en un triángulo.
- Los arreglos de tornillería, deberán de estar indicados en los dibujos con números arábigos, encerrados en un rectángulo.
- Registro de medición de espesores.
- Registro del análisis de la medición de espesores, con datos tales como: velocidad de desgaste, fecha de retiro probable y fecha de próxima medición.

#### **2.4.1.3 Preparativos para la medición de espesores.**

Cada mes se debe de revisar el programa de medición de espesores, y por cada planta, unidad de proceso o instalación donde corresponda medir en ese lapso, se preparará un juego de isométricos y/o dibujos del equipo, mismo que debe usarse para localizar los niveles de medición. Esto constituirá el “Plan de medición de espesores”

Se debe de realizar un censo de todos los equipos de medición de espesores, en el cual se establecerá un programa de mantenimiento preventivo, calibración y certificación de su sistema con la finalidad de mantenerlos disponibles y confiables; incluyendo los patrones de calibración.

El equipo de inspección es una de las partes fundamentales para la confiabilidad de los resultados, por lo que, cuando menos una vez al año se deberá de revisar, calibrar y certificar su sistema en forma obligatoria, o antes si es así requerido.

La medición de todas las unidades de control, debe de efectuarse siempre al 100%, es decir, deben incluirse todos los puntos de control, cada vez que como resultado del análisis tengan que ser medidos los espesores de la unidad de control de que se trate, ésta medición incluye a las unidades de control críticas.



#### **2.4.1.4 Unidades de control críticas.**

Las unidades de control críticas, son todas aquellas que tengan una velocidad de desgaste mayor de 15 mpa promedio.

Para establecer la velocidad de desgaste de una unidad de control, con objeto de determinar su criticidad, el análisis debe de hacerse a partir de los valores de dos mediciones completas al 100% de sus puntos y dichas mediciones deben haberse efectuado con un intervalo mínimo de un año entre ellas.

Cuando no se tenga información sobre la velocidad de desgaste, se consideran como críticas aquellas unidades de control que de acuerdo con su historial, hayan presentado problemas de desgaste habiendo tenido que repararse o reponerse o se tomará como ejemplo plantas similares de la propia instalación o de otras.

En el caso de plantas nuevas debe considerarse el comportamiento de unidades de control equivalentes de otras plantas similares.

#### **2.4.1.5 Análisis preliminar de espesores.**

El análisis preliminar de los espesores medidos, debe efectuarse inmediatamente de acuerdo a la siguiente secuencia:

- a) Verificar que la unidad de control haya sido medida de acuerdo a las instrucciones
- b) Revisar cada una de las mediciones obtenidas comparándolas con el límite de retiro que corresponda y con el valor de la medición anterior, con objeto de comprobar si todos los puntos se comportan similarmente, efectuando la verificación inmediata de los valores “disparados” a favor o en contra, para así determinar la causa de dichos “disparos”
- c) Se debe comprobar el buen funcionamiento del equipo y así obtener los datos correctos, se deberá verificar lo siguiente:
  - El buen funcionamiento del equipo ultrasónico.
  - La calibración del equipo ultrasónico.
  - Las dimensiones y calibración del patrón de referencia.



- La temperatura de la prueba ultrasónica.
- El personal examinador.

El personal que realice la medición de espesores, deberá informar de inmediato al responsable de inspección técnica de la instalación, comunicando las desviaciones detectadas (espesor cercano o por debajo del límite de retiro, otro mecanismo de daño, etc.) para su análisis, toma de decisiones, generación de recomendaciones y reporte.

Los resultados de las mediciones realizadas, las cuales resulten por debajo del Límite de retiro establecido, deberán de ser verificados antes de la toma de decisiones.

#### **2.4.1.6 Análisis estadístico formal.**

El análisis estadístico formal, es el que se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable, de una unidad de control.

La cantidad mínima aceptada de valores de espesor en una unidad de control, será de 32 para que el análisis estadístico resulte confiable.

El análisis se lleva a cabo mediante el software de administración de las mediciones de espesores (SIMECELE) o equivalente siguiendo la secuencia de la memoria presentada.

1. Discriminación de valores de espesores no significativos.

Se debe revisar el registro de mediciones, comparando las parejas de valores de espesor de cada uno de los puntos entre dos fechas consecutivas, eliminando aquellos que no sean significativos, para lo cual se debe observar lo siguiente:

- a) Se eliminarán todos los valores que excedan en más del 5% de la anterior calibración. Los valores que presenten un incremento de espesor de 0 al 5% tendrán una velocidad de corrosión de 0.



2. Cálculo de la velocidad de desgaste por punto:

- a) Se tienen que obtener las diferencias entre los valores en las dos fechas consideradas, en cada una de las posiciones de medición de cada uno de los puntos de control (norte con norte, sur con sur, 1 con 1, 2 con 2, etc.)
- b) Para que sea aceptable el cálculo, debe de haber transcurrido cuando menos un año entre una pareja de fechas de medición. Con fechas más cercanas se obtienen errores inadmisibles.
- c) En el análisis se consideran todas las parejas de valores de espesores, incluyendo aquellas cuyas diferencias sean “cero”, ya sea por engrosamiento, o porque no exista desgaste.
- d) La velocidad de desgaste por punto debe calcularse de acuerdo a la ecuación 1, en el Anexo A.

3. Los cálculos de la velocidad de desgaste promedio ( $D_{prom}$ ) y la velocidad máxima ajustada ( $D_{max}$ ) se realizan de acuerdo a la ecuación 2 y 3, en el Anexo A, respectivamente.

4. Determinación del mínimo espesor actual.

Con el fin de contar con los datos necesarios para el cálculo de la vida útil estimada (**VUE**), fecha de próxima medición (**FPME**) y fecha de retiro probable (**FRP**), se requiere seleccionar el punto que tenga el espesor más bajo en cada uno de los diferentes diámetros de las secciones que compongan la unidad de control, dichos espesores se denominarán “ $e_k$ ” y la fecha de medición correspondiente “ $f_k$ ”.

5. Determinación de la Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP).

- a) Los valores de desgaste puntual, desgaste promedio y desgaste promedio máximo ajustado, se calculan para toda la unidad de control,



- sin embargo, la VUE, FPME y FRP se calculan para cada grupo de diámetros de la unidad de control. Ver ecuaciones 4, 5 y 6 del Anexo A.
- b) En el caso de que el lapso entre la última medición y la fecha de próxima medición sea menor de un año, el siguiente análisis se debe de hacer comparando los datos que se obtengan en esta última fecha, con los datos de la medición anterior que corresponda, para que la diferencia de ambas sea de un año o mayor.
  - c) La fecha de próxima medición será aquella que resulte más cercana, de la calculada para los diferentes diámetros.

#### **2.4.1.7 Uso de resultados.**

A continuación se describirá el uso que se le da a los resultados obtenidos:

La velocidad de desgaste sirve para determinar:

- Criticidad del circuito.
- Programas de pruebas a martillo en reparaciones.
- Determinación de vida útil estimada.

Vida útil estimada: Este resultado da una idea de cuándo es necesario solicitar los materiales requeridos para el cambio de las piezas de la unidad de control.

- Si la vida útil que se obtenga es menor o igual a 1.5 años, se procede a emplazar la pieza, línea o equipo según el caso, empleando el formato adecuado y continuar vigilando la unidad de control de acuerdo al resultado del análisis.
- Si la vida útil obtenida resulta mayor de 1.5 años, se debe proceder en la forma siguiente:
  - a) Si se tienen los mayores desgastes en puntos diseminados en diversas partes de la unidad de control, deben analizarse estos puntos agrupados en una unidad de control independiente, que tenga el mismo número con la terminación CR, que indica que es crítico y de acuerdo al resultado programar la siguiente medición.



b) En el caso de que los mayores desgastes se encuentren localizados en ciertos puntos agrupados entre sí, se deben separar estos valores del análisis general de la unidad de control, analizando el resto por separado. Los puntos anormales se deben vigilar por separado, agrupándolos como una unidad de control independiente. Conviene analizar materiales y cualquier situación que provoque anomalías en el flujo dentro de la línea como puede ser: un directo, un injerto, un cambio de dirección brusco, una reducción, válvula reductora de presión, un punto de inyección (de agua, inhibidor u otros), etc.

- Fecha de próxima medición de espesores: Esta fecha sirve para programar la próxima medición de la unidad de control en el programa general.
- Fecha de retiro probable: Con base en esta fecha, se deben efectuar los emplazamientos, siempre y cuando para tal fecha falten por transcurrir 1.5 años o menos.

#### **2.4.2 Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación. (GPEI-IT-0201)**

Este procedimiento tiene por objetivo cubrir las actividades necesarias para llevar a efecto la revisión de los arreglos básicos de niplería en líneas y equipos de proceso, estáticos y dinámicos, así como el control posterior de cambios y/o modificaciones, incluyendo su registro, en las plantas que se encuentran en operación.

La revisión a que se refiere este procedimiento, deberá hacerse a todas las piezas que integran los arreglos básicos de niplería en líneas y equipos de proceso de las plantas en operación, a fin de que los mismos estén contruidos y armados de acuerdo a la norma correspondiente<sup>10</sup>.

Fundamentalmente, las características de construcción que se necesitan comprobar en el campo en los arreglos básicos de niplería son:

- Espesores, cédulas o “librajes” (límites de presión).



- Longitud de nipples y coples (medios coples).
- Construcción y estado físico de las cuerdas (hembras y machos).
- Materiales.
- Estado físico en general de cada pieza.
- Estado de las soldaduras.
- Tipos de tapones y bolsas termopozo.

#### **2.4.2.1 Programación de la revisión.**

Debido a que este procedimiento implica el desarmado de los arreglos roscados, las revisiones tendrán que efectuarse con la planta o el circuito fuera de operación. Por tal motivo, la revisión deberá ajustarse al tiempo programado de paro, jerarquizado por la niplería de circuitos y equipos más importantes o críticos. El periodo de revisión de niplería en circuitos y equipos críticos debe realizarse cada 1.5 años, y para los no críticos deberán revisarse cada 5 años (de acuerdo al procedimiento de la evaluación del diagnóstico de estado físico de la planta de proceso).

Los periodos de calibración de la niplería, serán los mismos que los del circuito o equipo donde van armados, de tal manera, que al calibrar la tubería de un circuito, o un equipo, al mismo tiempo se calibrará su niplería, a excepción de aquellos arreglos, cuyas determinaciones de desgaste acusen una velocidad mayor registradas en las líneas o equipos donde vayan armados, en este caso los periodos de calibración de la niplería serán dictados de acuerdo a su propio desgaste.

Todos los datos de la revisión deberán registrarse en los formatos correspondientes para cada arreglo básico, los cuales se mencionan a continuación:

- Arreglo Cople-Niple-Válvula.
- Arreglo Cople-Tapón,
- Arreglo Cople-Termopozo.
- Arreglo Orificio-Tapón.



- Arreglo Orificio-Niple-Válvula.
- Arreglo Orificio-Codo de cola-Niple-Válvula.
- Arreglo Especial.

Cada formato tiene en forma detallada el instructivo para la revisión que se pretende hacer. En él debe anotarse la identificación del arreglo, el cual deberá hacerse invariablemente acompañado del dibujo isométrico de la línea o del equipo.

#### **2.4.2.2 Procedimiento para el control de desgaste de niplería. (GPI-IT-4200)**

El objetivo de este procedimiento es cubrir las actividades necesarias para medir y mantener un control del desgaste de la niplería básica en circuitos y equipos de proceso de unidades en operación.

Para llevar el control del desgaste de los arreglos de niplería, se deberán efectuar mediciones periódicas de los espesores, tales mediciones en los arreglos básicos, deberán realizarse por medios no destructivos<sup>11</sup>.

#### **2.4.2.3 Localización de los puntos de calibración y medios para la calibración.**

Básicamente, se prevén dos puntos sobre la línea o equipo a dos pulgada del cople o de la pieza macho roscada dentro del orificio, dos puntos en el cople (opuestos en el sentido del flujo).

Los dos puntos sobre la línea o equipo junto al cople o pieza macho roscada dentro del orificio, son necesarias, ya que nos dan una idea del desgaste que hay en la base soldada del cople, se puede tener un desgaste acentuado por la erosión que causa la turbulencia del fluido.

Deben incluirse dos puntos de calibración por cada pieza susceptible de calibrarse en aquellos arreglos con un número de piezas mayores a los arreglos básicos típicos.



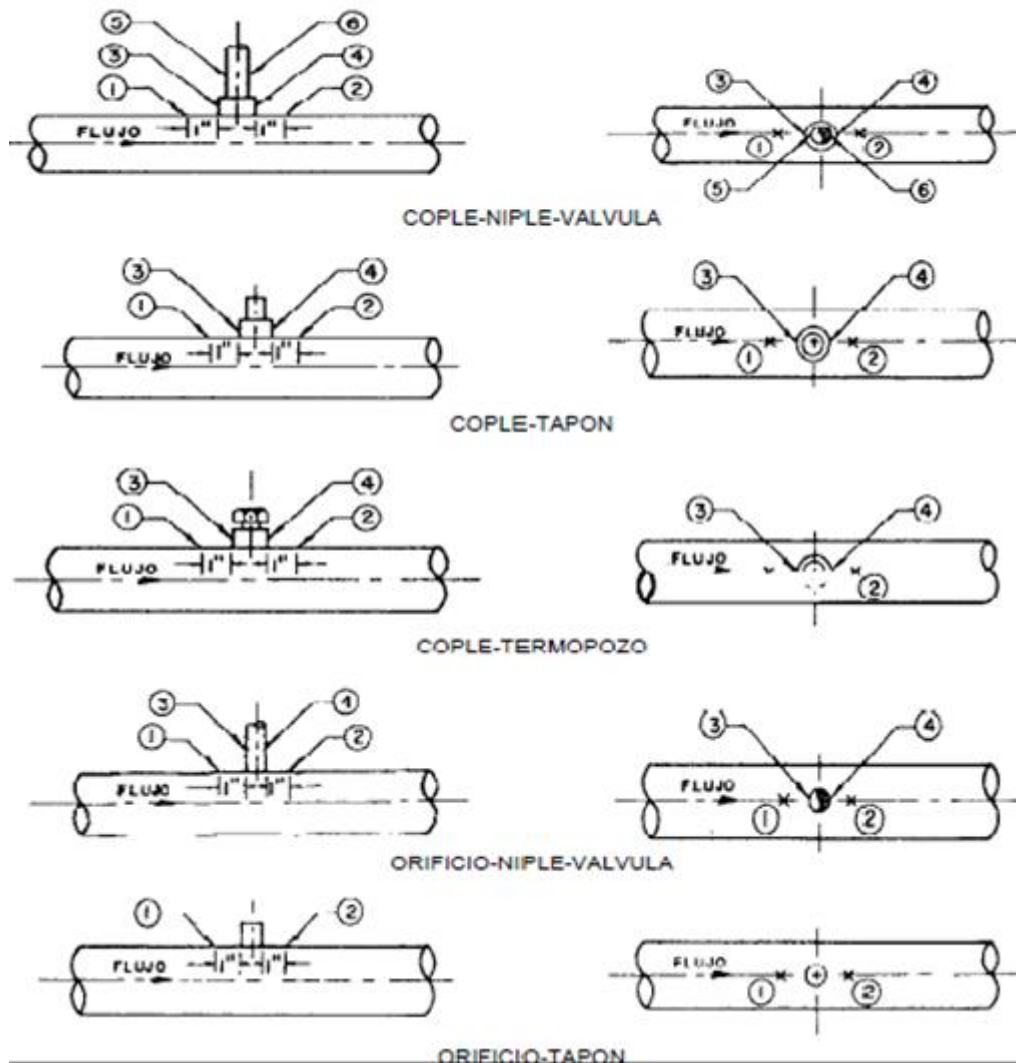


Los medios para llevar a cabo la calibración son:

- Aparatos ultrasónicos.
- Calibradores mecánicos, cuando sea posible desarmar los arreglos.
- Métodos radiográficos, cuando sea necesario, por alta o baja temperatura, por no poder sacar el equipo en operación, etc.

En la figura 2 se muestran los puntos de calibración en los arreglos típicos de niplería.

### LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CALIBRACIÓN EN ARREGLOS BÁSICOS TÍPICOS DE NIPLERÍA



**Figura 2. Localización de puntos de calibración en arreglos típicos de niplería.**

#### 2.4.3 Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en instalaciones en operación (DG-GPASI-IT-0903)

El objetivo de este procedimiento es evaluar el estado físico de la tornillería de las tuberías y equipos de las instalaciones, a fin de detectar oportunamente daños o fallas, e implementar las acciones correctivas para garantizar la hermeticidad de todas las uniones bridadas<sup>12</sup>.



La tornillería a la cual se refiere este procedimiento, es la siguiente:

- Espárragos de juntas bridadas.
- Tornillos o espárragos colocados en las válvulas de bloqueo, cualquiera que sea el tipo de estas, incluyendo válvulas de control, de alivio y checks.
- No incluye la tornillería instalada en los internos de los equipos.

Debido a que la agresividad del medio ambiente en cada lugar es variable, los periodos de revisión no son iguales, debiendo ser más cortos en aquellos centros de trabajo donde sea mayor la corrosión exterior; inclusive hay instalaciones de un mismo centro de trabajo que por su ubicación, tienen condiciones más severas de corrosión ambiental que otras del mismo centro.

Para fijar los criterios generales, las revisiones deben hacerse de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.

**Tabla 3. Criterios generales en la revisión de tornillería.**

Grado de Corrosión	Descripción	Periodo de Revisión
1) Leve	Se observan oxidados, pero la cuerda del espárrago no se ve desgastada en forma apreciable.	5 Años
2) Moderada	Se observan depósitos de corrosión en algunas partes del espárrago y los hilos de la rosca se ven con cierto desgaste, pero todavía con profundidad suficiente.	4 Años
3) Alta	El espárrago prácticamente ya no cuenta con rosca en alguna sección, pero se alcanzan a ver todavía los hilos.	3 Años
4) Severa	El espárrago ya se ve en algunas zonas sin su diámetro original. Se observa acinturamiento y por supuesto los hilos de la rosca ya no existen.	2 Años <sup>3</sup>

Fuente: Norma DG-GPASI-IT-0903.

Cuando se tenga suficiente información estadística de varias revisiones o mediciones con testigos de corrosión, y dependiendo de las condiciones de cada centro de trabajo, los periodos de revisión se deben optimizar y ajustar.



#### **2.4.4 Procedimiento para efectuar la inspección de tuberías de proceso y servicios auxiliares en operación. (GPASI-IT-0209)**

Este procedimiento establece los criterios para efectuar la inspección de tuberías de plantas de proceso y servicios auxiliares en operación, con el objeto de conocer su estado físico y programar su cambio en caso de deterioro, a fin de mantenerlas en buen estado, seguras y confiables<sup>13</sup>.

##### **2.4.4.1 Clasificación de Tuberías.**

A continuación se mencionan las tres diferentes clases de tubería según el fluido que transportan.

##### **Tuberías Clase 1:**

Se clasifica así a todas aquellas tuberías que por su tipo de fluido presenten el potencial más alto de riesgo que pueda afectar la seguridad o el medio ambiente, si llegara a presentarse una fuga. Incluye los siguientes fluidos:

- I. Fluidos inflamables auto refrigerados y que pueden inducir fracturas frágiles.
- II. Fluidos presurizados que puedan vaporizarse rápidamente durante su liberación, creando vapores que se puedan congregarse y formar una mezcla explosiva. Por ejemplo, derrames de etano, propano y butano.
- III. Ácido sulfhídrico (concentraciones superiores a 3% en peso) en una corriente gaseosa.
- IV. Ácido clorhídrico anhidro.
- V. Ácido fluorhídrico.
- VI. Tuberías que estén sobre o cercanas a caminos públicos o mantos acuíferos.

##### **Tuberías Clase 2:**

Se clasifica así a la mayoría de las tuberías de proceso y servicios auxiliares, que manejan los siguientes productos:

- I. Hidrocarburos que vaporizan lentamente en el mismo lugar durante su liberación.



- II. Hidrógeno, gas combustible y gas natural.
- III. Ácidos y cáusticos fuertes.

### **Tuberías Clase 3**

Se clasifica así a todos aquellos fluidos que son inflamables pero que no vaporizan significativamente cuando se derraman y no están localizados en áreas de alta actividad, y son los siguientes:

- I. Hidrocarburos que no vaporizan significativamente durante su liberación.
- II. Destilados y productos hacia y desde áreas de almacenamiento y carga.
- III. Ácidos y cáusticos fuera de áreas de proceso.

#### **2.4.4.2 Periodos de inspección.**

El intervalo entre las inspecciones de tubería se debe establecer y mantener usando los siguientes criterios:

- a) La velocidad de corrosión y los cálculos de vida remanente.
- b) La clasificación de las tuberías de acuerdo al servicio.
- c) Los requerimientos jurisdiccionales aplicables.
- d) El juicio del inspector o especialista de corrosión basado en las condiciones de operación, historia de las inspecciones anteriores, resultados de la inspección actual, etc.

La tabla 4 muestra los intervalos de inspección máximos recomendados para las tres categorías de tuberías, para los puntos de inyección y para las tuberías con interfase suelo-aire.

**Tabla 4. Intervalos de inspección máximos recomendados en tuberías.**

<b>Tipo de Circuito</b>	<b>Medición de Espesores</b>	<b>Inspección Visual Externa</b>
Clase 1	5 años	5 años
Clase 2	10 años	5 años
Clase 3	10 años	10 años



Puntos de inyección	3 años	Según clase
Interfase suelo-aire	- - -	Según clase <sup>4</sup>

Fuente: Norma GPASI-IT-0209

## 2.5 SIMECELE

El Sistema de medición y control de espesores en líneas y equipos es un sistema que conjunta y aprovecha las nuevas tecnologías para mejorar la administración y control de la información, así como en las actividades relacionadas con la integridad mecánica de los equipos en las instalaciones de procesamiento de petróleo en México, este sistema ha sido desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México con base en la normatividad propuesta y vigente.

La implementación de este sistema en los centros de trabajo, impacta en la mejora de las prácticas de la administración de la información de la integridad mecánica en las instalaciones, tales como:

1. Disponibilidad de la información a través de la tecnología del proceso en la intranet.
2. Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
3. Actualización rápida y sencilla de los diagramas isométricos de inspección.
4. Control y administración del trabajo de inspección, que mejorará la eficacia en el trabajo cotidiano de medición de espesores en líneas y equipos.

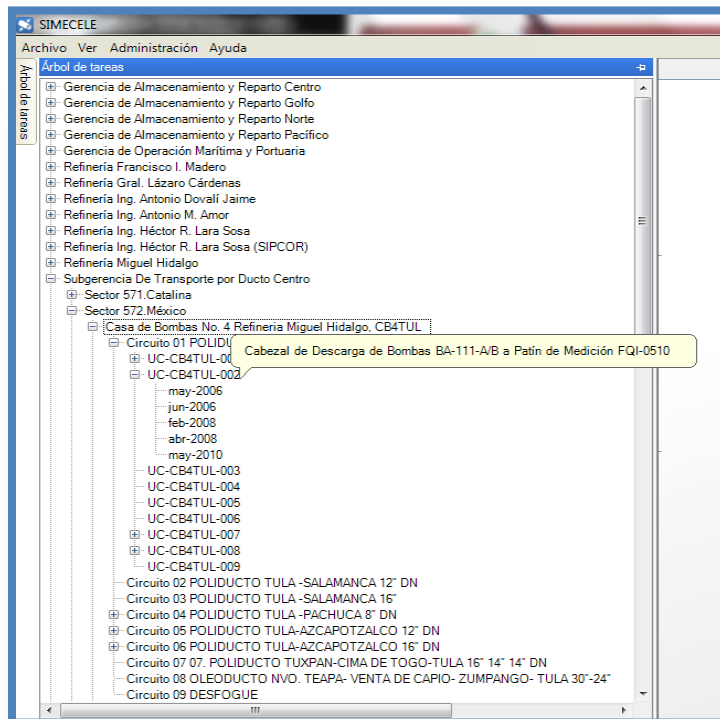
Este sistema, es una herramienta de trabajo diario involucrado en tareas tales como: inspección técnica, evaluación de la integridad mecánica, análisis de la medición de espesores en líneas y equipos; está centrado en colaborar con el suministro de información confiable y rápida para el personal encargado de las inspecciones así como para monitorear los avances en los programas de inspección técnica de espesores y ser la fuente de información para la toma de decisiones.

Con el fin de tener un acceso rápido a la planta o instalación con la que se va a trabajar, el software cuenta con un árbol de tareas (Figura 3), el cual se puede



encontrar en la ventana principal, este árbol de tareas agrupa los centros de trabajo (Gerencias, Subgerencias, Refinerías, Estaciones de bombeo, **TARS**, **ROMPS**, Sector, Circuito, Unidad de Control, etc.) y hace una jerarquización para que sea fácil encontrar el elemento con el que se pretende trabajar.

Los procesos de consulta, captura y demás trabajos necesarios para la administración de la inspección, pueden ser accedidos desde el árbol de tareas.



**Figura 3** Árbol de tareas SIMECELE.

La ventana principal cuenta también con una pantalla de bienvenida (Figura 4), en la cual se encuentran los módulos que permiten la generación y consulta de la información relacionada con la inspección técnica; así como la administración y control los trabajos de inspección. Estos módulos están en una mejora continua, identificando los posibles errores, esto se logra a través del día a día así como de la experiencia y criterios del personal de los centros de trabajo.



**Figura 4. Pantalla de bienvenida SIMECELE.**

Los 6 módulos disponibles para trabajar con el SIMECELE pueden ser consultados oprimiendo el botón en cada una de las opciones correspondientes, a continuación se describe cada módulo.

- **Capturar o editar información:** Permite ingresar nuevos datos al sistema y editar la información contenida en el mismo, este módulo abrirá el “Menú de capturas del SIMECELE”, desde el cual se puede acceder a la captura y edición de nuevas unidades de control (líneas y equipos), inspecciones, equipos de medición, personal, etc.
- **Consultar información:** Permite acceder, de manera rápida a la información con respecto a la administración de la medición de espesores, este módulo abrirá el menú de consulta, desde el cual se puede revisar la información de próximas fechas de inspección, características sobre las unidades de control, así como el resumen de información de alguna planta en particular del centro de trabajo.





- **Ver isométricos en intranet:** Esta opción creará un enlace a través de la intranet con una aplicación alojada dentro de un sitio web de la intranet corporativa, este sistema cuenta con información para diagramas técnicos inteligentes (SIDTI), en el cual se podrán consultar los isométricos, diagramas de tubería e instrumentación y los diagramas de flujo de proceso de las instalaciones del centro de trabajo.
- **Ver o crear reportes:** Permite crear y consultar los reportes para cada inspección, de las unidades de control que se requieran, los reportes se generan de acuerdo a la norma DG-SASIPA-IT-00204 y pueden ser impresos desde el SIMECELE. Este módulo desarrolla el análisis estadístico de los datos, resultado de la medición de espesores, y con los cuales se obtiene la fecha de próxima medición, la fecha de retiro probable y la vida útil, esto de acuerdo a la normatividad vigente.
- **Ver o cargar especificaciones de material:** Permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue construida cada instalación, cada especificación contiene los datos de materiales, cédulas y detalles de tuberías, niplería, bridas y válvulas con las que fue diseñada una sección específica de la instalación; así como los fluidos que se manejan y las condiciones máximas de operación (presión y temperatura).
- **Hacer o editar un isométrico:** Está opción abrirá una ventana del programa AutoCAD® donde, dependiendo de la instalación, estarán disponibles las plantillas necesarias para realizar los isométricos y dibujos de inspección técnica, esto con la ayuda de la barra de herramientas QITDraw perteneciente al SIMECELE.

Una vez que las unidades de control son capturadas en SIMECELE, se puede consultar o editar la información de las inspecciones, también se pueden crear reportes por cada unidad de control donde, se muestra un resumen de las



inspecciones, fechas de próxima medición, fecha de retiro probable, además de mostrar los niveles normales y críticos, la memoria de cálculo antes mencionada, calibraciones de niplería, emplazamiento y solicitud de fabricación de ser necesarios, entre otros.

## 2.6 Transporte y Distribución de Hidrocarburos.

En la industria del petróleo, además de la extracción y de la refinación de productos, es importante contar con un sistema de distribución y reparto, eficiente y seguro.

En México el sistema de distribución se da por medio de una red de transporte por ducto para cubrir la demanda de petrolíferos y cuya longitud total es de 14,182 km, misma que se divide en 5,198.7 km de oleoductos y 8,992.7 km de poliductos.<sup>15</sup>

El sistema de ductos transporta los productos subterráneamente, tomando como punto de partida la refinería donde el crudo es transformado en productos, estos salen de la refinería por las trampas de envío y son impulsados gracias a las bombas de la casa de bombas, los productos llegan y pasan a través de las estaciones de bombeo, las cuales son las encargadas de dar impulso a los productos para que puedan llegar al siguiente destino que son las **TAR**, aunque también pueden llegar a otra planta o refinería que necesite de los productos, en la figura 5 se puede observar el esquema del sistema de distribución.

Finalmente, los productos refinados que llegan a las TAR y son almacenados en tanques atmosféricos, siendo la máxima de 30,000 barriles, dependiendo del tipo de producto que se trate, las terminales se encargan también de distribuir estos productos por medio de **PR**, estas pipas transportan los productos a otras terminales donde el sistema de ductos no llega, así como a las estaciones de servicio donde el producto está a la disposición de los clientes finales.

A pesar de los múltiples robos de combustibles, aún en la actualidad el transporte de petróleo y sus productos derivados por ducto es de suma importancia en el país y la manera más viable de que estos compuestos lleguen a los diversos puntos a través de la República Mexicana.

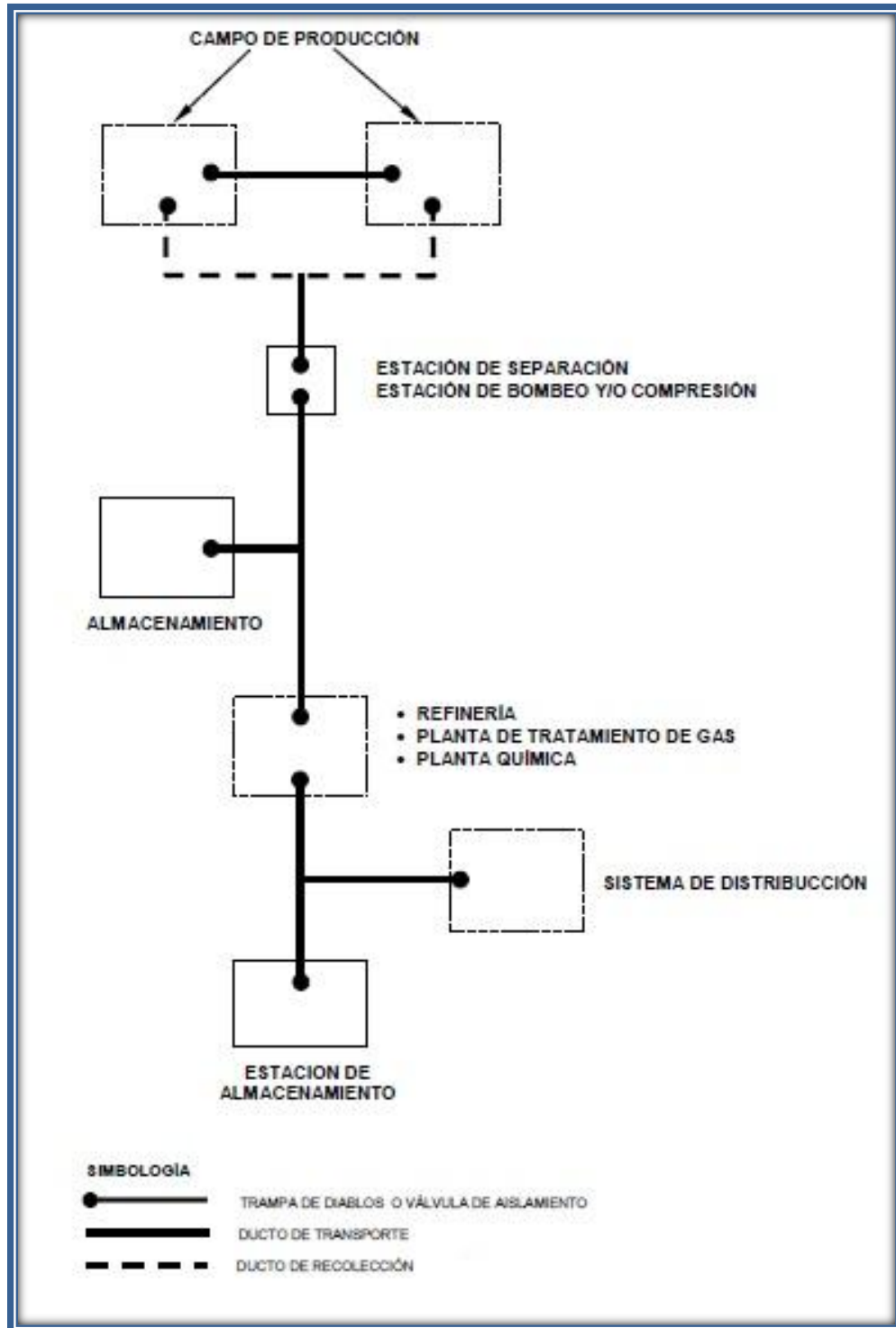


Figura 5. Esquema del sistema de transporte por ducto.  
Fuente [NRF-030-PEMEX-2009]



## CAPÍTULO III. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS.

En el presente capítulo se describen las actividades que se realizaron durante la implementación del SIMECELE en una instalación perteneciente al sistema de transporte por ducto dentro de una planta de refinación; así como el análisis y comparación de las unidades de control pertenecientes a la descarga de los circuitos seleccionados.

### 3.1 Información Recopilada.

El primer paso de la implementación fue recopilar y analizar la información relacionada con la medición preventiva de espesores de la Casa de Bombas No.4, la información que se utilizó para la implementación del SIMECELE se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5. Información recopilada de la Casa de Bombas No. 4.**

No.	Descripción	Revisión	Fecha
1	Diagramas de Flujo de Proceso.	S/R	Julio 2005
2	Diagramas de Tubería e Instrumentación	S/R	Julio 2005
3	Expedientes para la medición preventiva de espesores de tubería	S/R	Varias

Fuente: Elaboración propia

S/R: Sin Revisión

### 3.2 Casa de Bombas No. 4

Para los fines de ésta tesis se tomó en cuenta información de la casa de bombas No. 4, ubicada en el interior de la refinería “Miguel Hidalgo”, en el municipio de Tula de Allende, Hidalgo y la cual pertenece al Sector Ductos México de la Subgerencia de Transporte por Ducto Centro, en ésta instalación operan 6 poliductos de salida de productos refinados, así como un oleoducto de entrada.

Los productos que pueden transportar los poliductos son cualquiera de los siguientes: Diésel, Turbosina, Gasolina tipo “Magna”, Gasolina tipo “Premium”, Gasolina de lavado, Crudo y Gas.



La finalidad principal de la casa de bombas es la regulación, medición y bombeo de combustibles a la zona centro del país, por tal motivo, está conformada por las siguientes áreas:

- Subestación de Potencia Principal y Auxiliar.
- Recepción y envío (Trampas de diablos). Figura 6.
- Cuarto de Control.
- Casa de Motobombas.
- Área de Cabezales 1 (Conectada directamente a las líneas de productos).
- Área de Cabezales 2 (Bombeo de envío).

Dado que la demanda de hidrocarburos destilados en el centro del país ha tenido el mayor crecimiento, la distribución que brinda el sistema de ductos de la Refinería “Miguel Hidalgo” resulta estratégico para el abastecimiento requerido.



***Figura 6. Recepción y envío de productos en la refinería.***



### 3.3 Censo de Circuitos.

Una vez recopilada la información y considerando los criterios descritos en la norma DG-SASIPA-IT-00204, se identificaron los circuitos presentes en la instalación. Como resultado de la división se obtuvieron 8 circuitos, la tabla 6 nos muestra el censo de circuitos.

**Tabla 6. Censo de Circuitos de la Casa de Bombas No. 4**

Número	Circuito	Descripción	Servicio
01	Poliducto Tula - Toluca 16”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos.	Refinados
02	Poliducto Tula - Salamanca 12”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos.	Refinados
03	Poliducto Tula - Salamanca 16”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos	Refinados
04	Poliducto Tula - Pachuca 8”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos	Refinados
05	Poliducto Tula- Azcapotzalco 12”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos.	Refinados
06	Poliducto Tula- Azcapotzalco 16”	De Casa de Bombas a área de trampas de envío de Diablos.	Refinados
07	Oleoducto Nuevo. Teapa- Venta de Carpio- Zumpango- Tula 30”-24”	De Trampas de recibo de diablos a TV-74, 75, 76, 68, 69, 83, 92, 99, 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12	Crudo
08	Desfogue	De cabezales de descarga a fosa	Recuperados

Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de las instalaciones pertenecientes al sistema de transporte y reparto de hidrocarburos, cada poliducto, oleoducto, ducto de gas, línea de desfogue, URV y TV es considerado un circuito dentro de las instalaciones y debe de ser dividido en unidades de control.



Para la elaboración del censo de circuitos, se trabajó con los diagramas de flujo de proceso, en los cuales los circuitos fueron identificados con un código de colores, para facilitar su ubicación dentro del diagrama; estos diagramas se pueden consultar en el Anexo B.

### 3.4 Censo Unidades de Control.

Después de dividir la Casa de Bombas en circuitos, se definieron las unidades de control de cada circuito tomando en cuenta los criterios descritos en la norma DG-SASIPA-IT-0204.

Se espera que una unidad de control sea una sección de tubería o equipo con una velocidad de corrosión más o menos homogénea, algunos de los mecanismos por los cuales se da una variación en la velocidad de corrosión puede ser: cambios de condiciones de operación (presión y temperatura), cambios de materiales, mezcla de servicios, cambios de fase, etc. Además la división de unidades de control debe obedecer a un criterio de practicidad dado que, una unidad de control, es también la unidad básica del trabajo de inspección; por lo que a petición de los ingenieros responsables dentro de la instalación se suelen hacer cortes de unidades de control en válvulas que son fácilmente localizables en campo.

A partir de lo anterior, y con base a la descripción del proceso de cada poliducto y oleoducto, la división general de cada uno de ellos siguió la siguiente lógica:

- Cabezal de succión.
- Cabezal de descarga de bombas a patín de medición.
- Patín de medición.
- De patín de medición a probador.
- De probador a patín de medición.
- De Patín de medición a succión de Bombas.
- De descarga de Bombas a sección de **TED**.
- TED.



Cabe señalar que para algunos poliductos no se podía realizar la división anterior, ya que carecían de algunos elementos, sobre todo de la secciones de patín de medición y probador de productos.

### **3.4.1 Selección de Unidades de Control.**

Como resultado de la división de los 8 circuitos se obtuvieron un total de 47 unidades de control, que forman parte de la Casa de bombas en cuestión. El censo de unidades de control completo se puede consultar en el Anexo C y los diagramas de identificación de unidades de control se pueden consultar en el Anexo B.

Sin embargo, para el análisis de la rapidez del desgaste efectuado en ésta tesis solo se consideraron las unidades de control que forman parte de la última descarga de cada circuito, por dicho motivo y de acuerdo a la división general, las unidades de control seleccionadas para el presente trabajo se encuentran dentro de la categoría de “Descarga de bombas a sección de TED”.

Además de lo anterior se usaron los siguientes puntos para discriminar las unidades de control:

- Se consideraron solo las unidades de control que al momento del análisis contaran con por lo menos dos inspecciones, ya que sin ellas es imposible realizar la evaluación de la rapidez de desgaste en las líneas.
- Se consideraron los circuitos que tuvieran sección de descarga hacia trampas de diablos, por ese motivo los circuitos de entrada a las instalaciones no fueron considerados para este trabajo.
- Para que se pudiera hacer un mejor análisis, se escogió solo la sección de poliductos, ya que manejan productos refinados dependiendo de las necesidades de la instalación.

Siguiendo esta lógica, las unidades de control pertenecientes a los circuitos 02, 03, 07 y 08 fueron excluidas de la selección, ya que al momento de la realización de este trabajo no se encontraban inspecciones capturadas, además los circuitos





07 y 08 no son parte de la sección de poliductos, ya que corresponden al oleoducto y al desfogue respectivamente.

Como resultado se obtuvieron 3 unidades de control que corresponden a los circuitos, 01, 05 y 06. Las unidades de control seleccionadas para el análisis se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Unidades de Control seleccionadas para el análisis.**

CIRCUITO	UNIDAD DE CONTROL	DESCRIPCIÓN	DIAGRAMA DE REFERENCIA
01. Poliducto Tula -Toluca 16”	008	De descarga de bombas BA-110A/B a sección de TED	No. –E-F.21283-18121-106L/ 099/ 100/ 087
05. Poliducto Tula-Azcapotzalco 12”	033	De descarga de las bombas BA-115A/B a TED	No. –E-F.21283-18121-106E/ 106F/ 100/ 099/ 094 108A/ 108/ 109
06. Poliducto Tula-Azcapotzalco 16”	039	De descarga de bombas BA-1/ 2/ 3 TED	No. –E-F.21283-18121-106B/ 106C/ 106D/ 106F 100/ 099/ 094

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5 Análisis estadístico y gráfico de las Unidades de control.

Al momento de realizar el presente trabajo, cada una de las unidades de control seleccionadas, cuentan con un expediente de medición de espesores, el cual fue previamente cargado al SIMECELE.

Para el fin de este análisis es muy importante que cuente con dicho expediente y como mínimo dos fechas de inspección y medición de espesores, con una diferencia mínima de un año, ya que si solo cuentan con una inspección sería imposible calcular el valor de velocidad de desgaste, la vida útil y la fecha próxima de retiro de la unidad de control con la metodología descrita en el presente trabajo.



Las últimas dos fechas de medición para cada una de las unidades de control en cuestión se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8. Registro de los últimos expedientes de medición.**

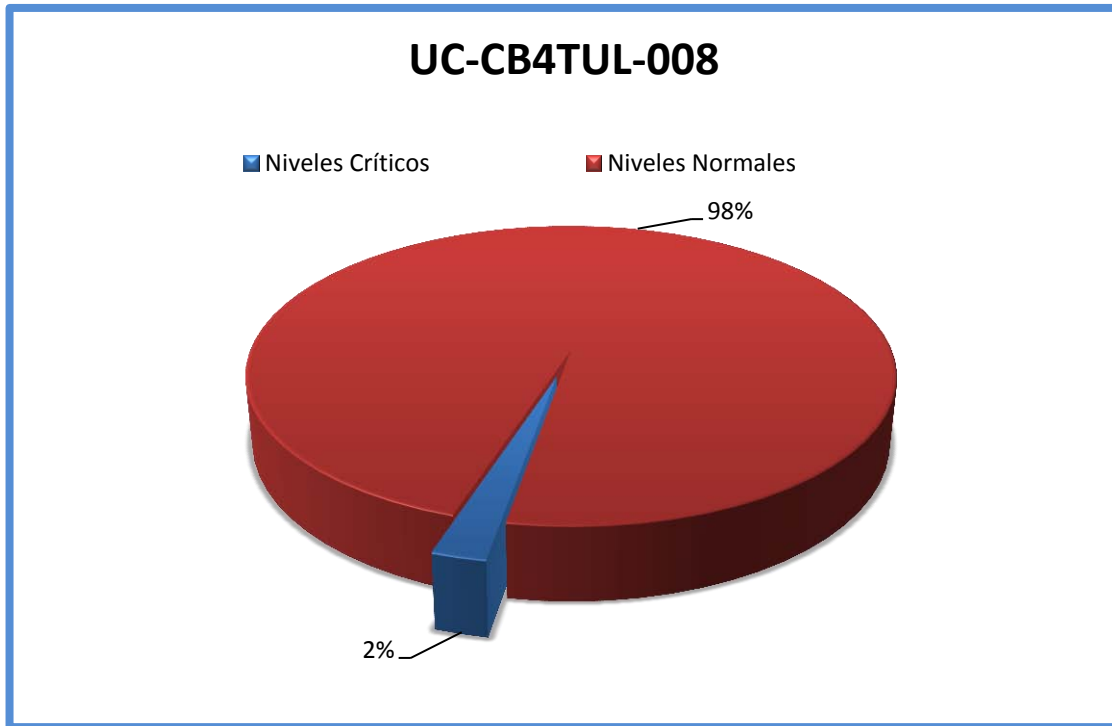
Unidad de Control	Fechas de expediente	
008	Febrero 2008	Septiembre 2014
033	Febrero 2008	Agosto 2014
039	Mayo 2010	Agosto 2014

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5.1 UC-CB4TUL-008.

Con base en el expediente comparativo de inspecciones sabemos que ésta unidad de control que pertenece al Poliducto Tula – Toluca de 16” está conformada por 458 niveles de inspección de tubería, de los cuales, en Febrero de 2008 solo 42 cuentan con medición, en comparación de Septiembre de 2014 donde los niveles con medición fueron 445; esta unidad de control cuenta además con un expediente de medición previo que data de Junio de 2006 y el cual cuenta con 430 niveles con medición, como se mencionó anteriormente, el cálculo de la velocidad de desgaste necesita de dos mediciones, por lo tanto, los niveles medidos en Septiembre de 2014 y que no contengan valor en Febrero de 2008 utilizaron para el cálculo correspondiente los valores en el expediente de Junio 2006, pudiendo entonces analizar 425 del total de 458 niveles de la unidad de control.

De estos niveles, el SIMECELE hace la separación entre “Normales” y “Críticos”, entendiendo como niveles críticos aquellos donde la velocidad de desgaste es mayor a 15 mpa, cabe mencionar que solo se requiere que una posición de las cuatro posibles tenga una velocidad de desgaste mayor para que el SIMECELE considere el nivel crítico en su totalidad. En la figura 7 se muestra el panorama general de los niveles medidos en esta unidad de control.



**Figura 7. Porcentaje de niveles medidos de la UC-CB4TUL-008.**

Con este panorama se sabe que solo el 2% de los niveles medidos son críticos, esto corresponde a solo 10 niveles de medición, en la tabla 9 se puede ver el desglose de los niveles considerados como críticos.



**Tabla 9. Niveles Críticos de la UC-CB4TUL-008.**

Nivel	Posición	Espesor 1 [mils]	Espesor 2 [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]	Nivel	Posición	Espesor 1 [mils]	Espesor 2 [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]
13	Norte	833	707	19.34	211	Norte	886	771	14.03
	Sur	764	845	-		Sur	960	789	20.87
	Fuera (Codo)	722	747	0		Oriente	972	791	9.88
	Dentro (Garganta)	828	836	0		Poniente	902	800	12.45
19	Oriente	675	680	0	280	Norte	862	734	15.62
	Poniente	638	621	2.61		Sur	834	748	10.49
	Fuera (Codo)	829	614	33.01		Arriba	726	725	0.12
	Dentro (Garganta)	734	808	-		Abajo	781	739	5.13
45	Norte	793	903	-	301	Norte	772	729	5.25
	Sur	935	765	26.1		Sur	744	714	3.66
	Fuera (Codo)	799	-	-		Arriba	804	725	9.64
	Dentro (Garganta)	789	927	-		Abajo	850	706	17.57
186	Norte	781	742	4.76	325	Norte	855	729	15.38
	Sur	753	695	7.08		Sur	710	724	0
	Arriba	802	722	9.76		Arriba	704	769	-
	Abajo	867	693	21.23		Abajo	829	802	3.29
202	Norte	674	813	-	337	Norte	782	682	12.2
	Sur	715	736	0		Sur	811	765	5.61
	Arriba	714	786	-		Arriba	830	684	17.82
	Abajo	726	788	-		Abajo	802	684	14.4

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 9 muestra los valores que se consideraron para el cálculo de la velocidad para cada posición del nivel de medición en cuestión.

Se puede observar que a pesar de que algunos puntos de medición presentan un desgaste aparentemente “normal” son considerados dentro del análisis porque, como ya se mencionó, basta que un solo punto presente una velocidad de



desgaste mayor a las 15 mpa para que el nivel completo sea considerado dentro de la categoría de “críticos”, los puntos que sobrepasan las 15 mpa se pueden localizar dentro de la tabla por estar sombreados con rojo.

Se encuentran además posiciones que presentan una velocidad de desgaste igual a cero, esto es debido a que el último registro del espesor presenta un “engrosamiento” menor o igual al 5%, estos puntos se pueden identificar dentro de la tabla por estar sombreados en amarillo. Hay también niveles que no presentan ningún valor dentro del campo de la velocidad de desgaste puntual, esto es porque según el último registro hay un engrosamiento mayor al 5% con respecto a la medición anterior, por lo cual, al momento de efectuar el análisis los puntos que tienen esta condición no son tomados en cuenta. Se habla de engrosamiento cuando el espesor obtenido en la medición es mayor al espesor nominal, o mayor con respecto al espesor de la medición anterior.

Se observa un desgaste por encima de las 15 mpa en 9 de los 10 niveles considerados críticos, los valores de este desgaste van de las 15.38 mpa a las 33.01 mpa, este último valor corresponde al tercer nivel en un codo, el desgaste tan alto en este punto es explicable debido a que es en esa posición donde hay un cambio de flujo y, por lo tanto, el desgaste sería mayor. (Figura 8).

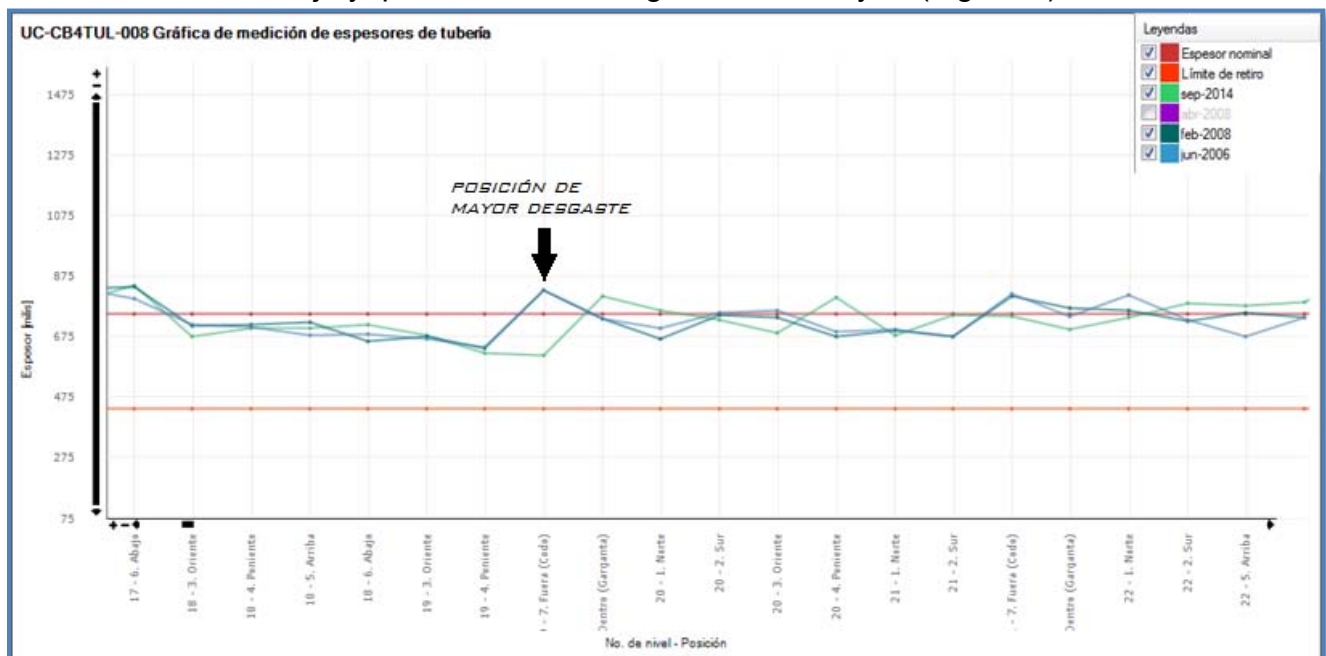


Figura 8. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008. (Punto de mayor desgaste)



Por el contrario a los demás niveles en la categoría de críticos dentro de esta unidad de control, el nivel 202 se considera crítico porque en tres de los cuatro puntos el cálculo de la velocidad de desgaste no se efectuó debido a que hay un engrosamiento mayor al 5% con respecto a la medición anterior y el único valor restante tiene un engrosamiento igual o menor al 5%, por lo cual, el SIMECELE no calculó la velocidad de desgaste de este nivel ya que a partir de la información obtenida por la última medición se engrosó la tubería.

En la tabla 10 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el análisis estadístico formal para los niveles críticos, el cual descarta valores de espesores significativos tales como aquellos que excedan en 5% o más el valor de la calibración anterior y considera que las posiciones que presenten un incremento hasta del 5% tendrán una velocidad de corrosión con valor de 0. Después de la exclusión de valores no significativos, el SIMECELE calculó una velocidad de desgaste promedio de 11.1 milésimas de pulgada por año.

**Tabla 10. Resumen del análisis estadístico de niveles críticos de la UC-CB4TUL-008.**

Inspección	Septiembre 2014
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	11.1
Velocidad de desgaste máxima ajustada (mpa)	13.6
Vida útil estimada (años)	19.5
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	Septiembre 2019
Fecha de retiro probable (FRP)	Marzo 2034
Espesor Mínimo encontrado	614 milésimas de pulgada

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que la vida útil estimada calculada es de 19.5 años a partir de Septiembre del 2014 y que nos predice que la fecha en que probablemente se deberá de retirar será en Marzo de 2034, esto si el desgaste en estos puntos sigue como hasta ese momento, también se programa la próxima medición de espesores en Septiembre de 2019 esto para seguir monitoreando el comportamiento de estos niveles dentro de la unidad de control.



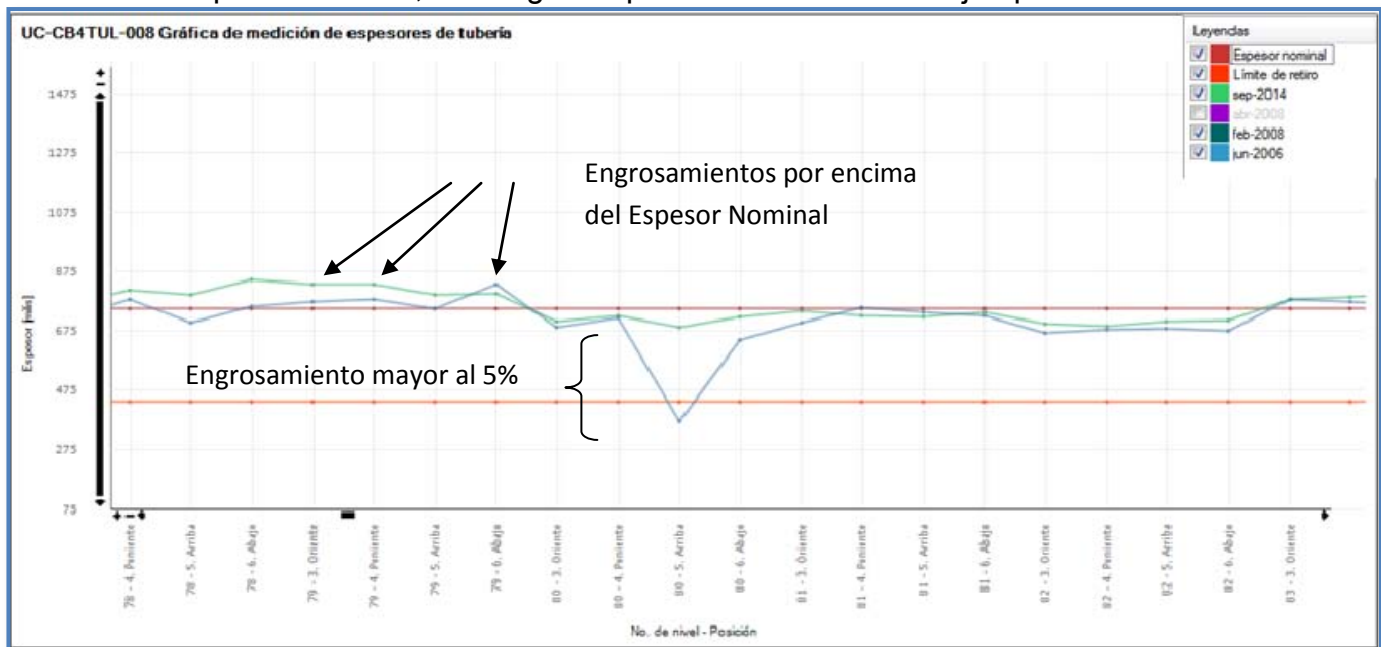
Por otro lado, el SIMECELE también realizó un análisis estadístico de los niveles normales de la UC-CB4TUL-008, el resumen de dicho análisis se presenta en la tabla 11.

**Tabla 11. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-008.**

Inspección	Septiembre 2014
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	1.9
Velocidad de desgaste máxima ajustada (mpa)	4.3
Vida útil estimada (años)	5.5
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	Julio 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	Marzo 2020
Espesor Mínimo encontrado	414 milésimas de pulgada

Fuente: Elaboración Propia.

En comparación, la velocidad de desgaste promedio en los niveles normales es menor que en los niveles críticos siendo de 1.9 mpa, pero a pesar de eso la fecha de próxima medición está programada para Julio 2016 y la vida útil estimada es de 5.5 años, lo cual sugiere que los niveles “normales” de esta unidad de control, necesitan mayor atención debido a que no se observa una tendencia de desgaste en los niveles de medición, si no por el contrario encontramos valores por encima del espesor nominal, en la figura 9 podemos observar un ejemplo.



**Figura 9. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008. (Engrosamiento)**



Estos engrosamientos pueden deberse a errores humanos en la toma de las mediciones, ya que se pueden observar niveles que en la inspección anterior se encontraban por debajo o cercano al límite de retiro y en la última medición engrosaron para encontrarse muy cerca de su espesor nominal.

Además de esto, se encontró otra anomalía dentro de esta unidad de control, como se mencionó antes, hay niveles de medición en los que no se realizó el cálculo de la velocidad de desgaste porque no contaban con un valor de espesor en una fecha anterior, debido a eso SIMECELE no los marca como críticos a pesar de que algunos de ellos están cerca o incluso por debajo del límite de retiro como se muestra en la figura 10.

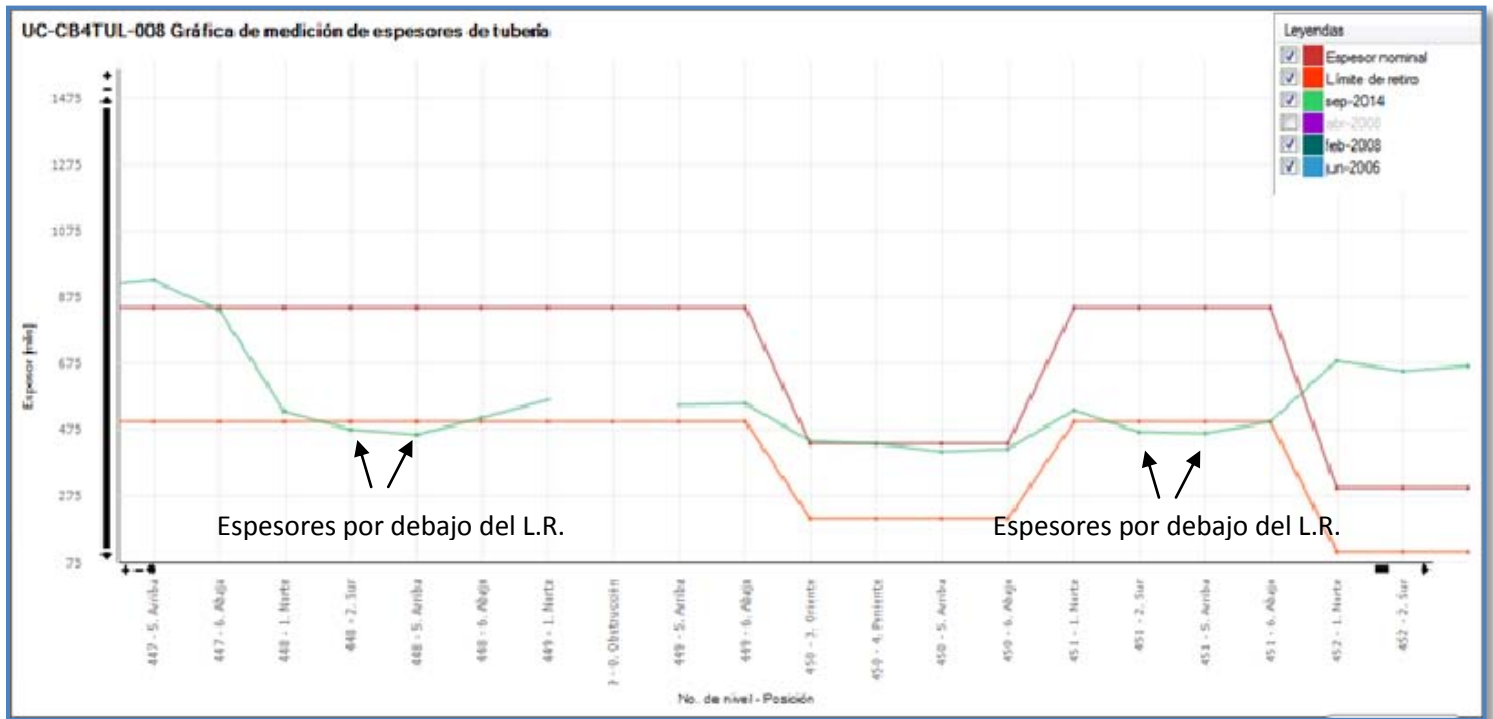


Figura 10. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-008. (Espesores por debajo del L.R.)





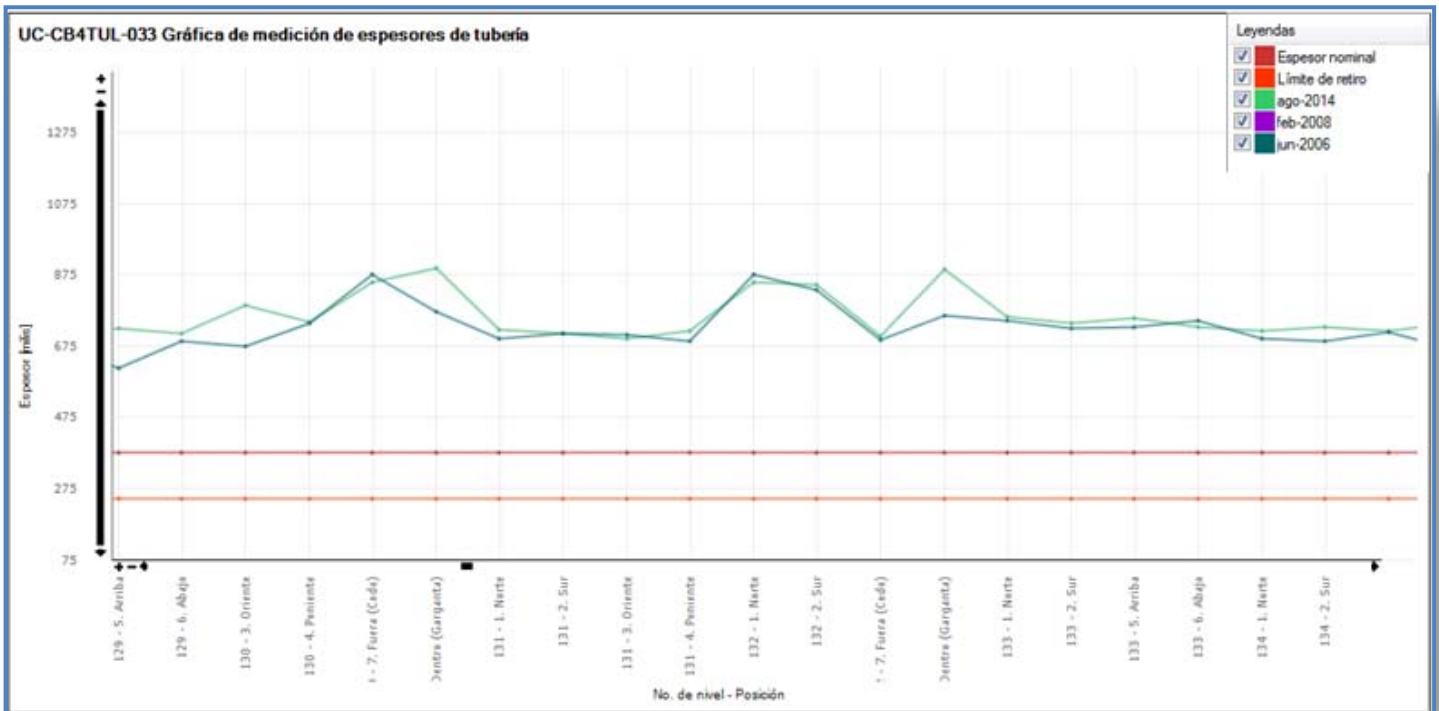
### **3.5.2 UC-CB4TUL-033.**

Esta unidad de control corresponde al poliducto Tula – Azcapotzalco de 12” y es conformada por 508 niveles de tubería, dentro del expediente de medición de espesores cuenta con tres fechas registradas, Junio de 2006, Febrero de 2008 y Agosto de 2014.

En lo que respecta al registro de Junio de 2006 solo 403 de los niveles cuenta con medición de acuerdo con su expediente, lo que representa el 80%, sin embargo en Febrero de 2008 el registro es muy pobre ya que solo cuenta con 47 niveles medidos lo que representa el 9.25% de la unidad de control, por último, la fecha de Agosto de 2014 es la más completa en cuanto a niveles medidos con un total de 502, dejando sin medir solo 6 niveles.

Para el análisis solo se incluyeron los niveles de medición que contarán con dos registros de medición de espesores, estos fueron 403 niveles de tubería, se compararon los valores recientes (Agosto 2014) y las mediciones previas según sea el caso (Junio 2006 o Febrero 2008).

En el caso de esta unidad de control, el análisis estadístico que realizó el SIMECELE no arrojó ningún nivel crítico para Agosto de 2014, esto debido a que la mayoría de las mediciones están por encima del límite de retiro y aparentemente no registran una velocidad de desgaste por encima de las 15 mpa, esto tiene su explicación en que la mayoría de las mediciones están arriba del valor del espesor nominal como se muestra en la figura 11.



**Figura 11. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033. (Espesores por arriba del espesor nominal).**

Ya que no se encontraron niveles críticos aparentemente, SIMECELE realizó el análisis para los niveles de medición considerándolos como “Normales” y en la tabla 11 se presenta un resumen de dicho análisis.

**Tabla 12. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-033.**

Inspección	Septiembre 2014
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	1.3
Velocidad de desgaste máxima ajustada (mpa)	1.3
Vida útil estimada (años)	21.3
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	Agosto 2019
Fecha de retiro probable (FRP)	Diciembre 2035
Espesor Mínimo encontrado	306 milésimas de pulgada

Fuente: Elaboración Propia.

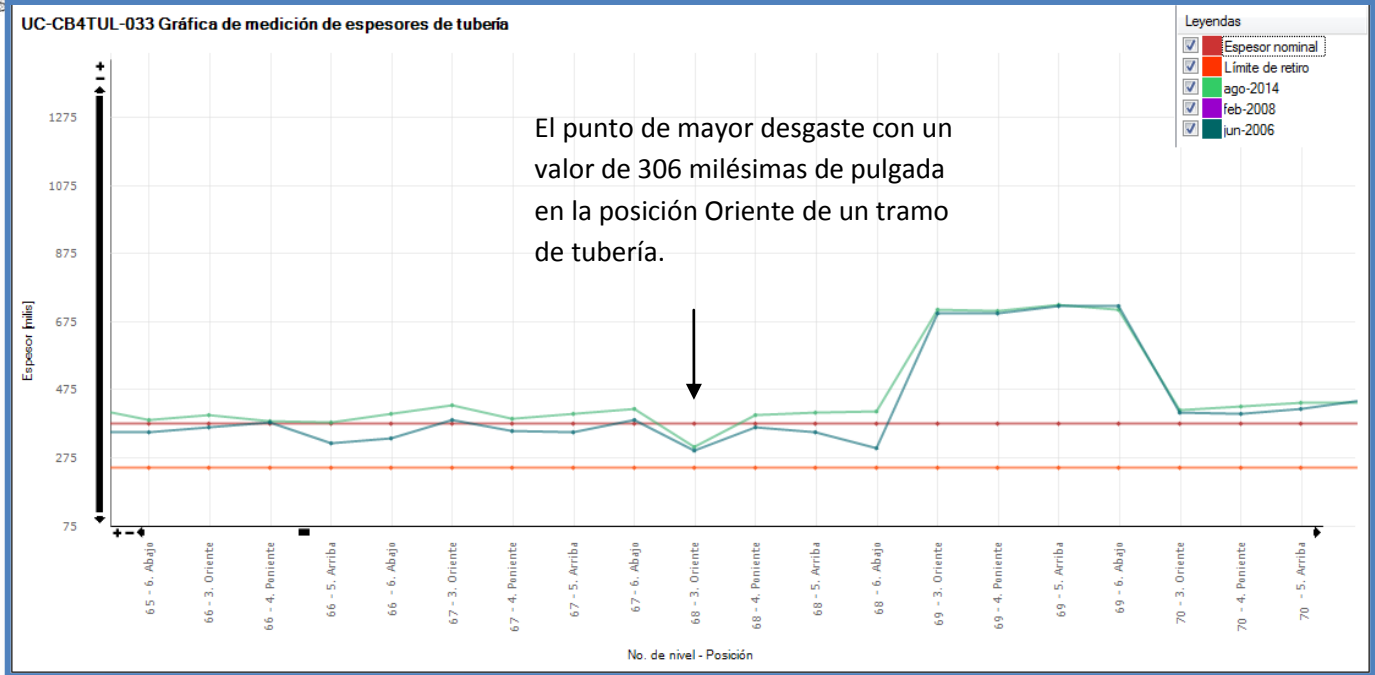
Estos datos nos indican que el promedio de la velocidad de desgaste en los niveles de medición de esta unidad de control es de 1.3 mpa, la cual es una cifra aceptable ya que está muy por debajo de las 15 mpa. Por consecuencia, la fecha de próxima medición está programada cinco años a partir de la última medición



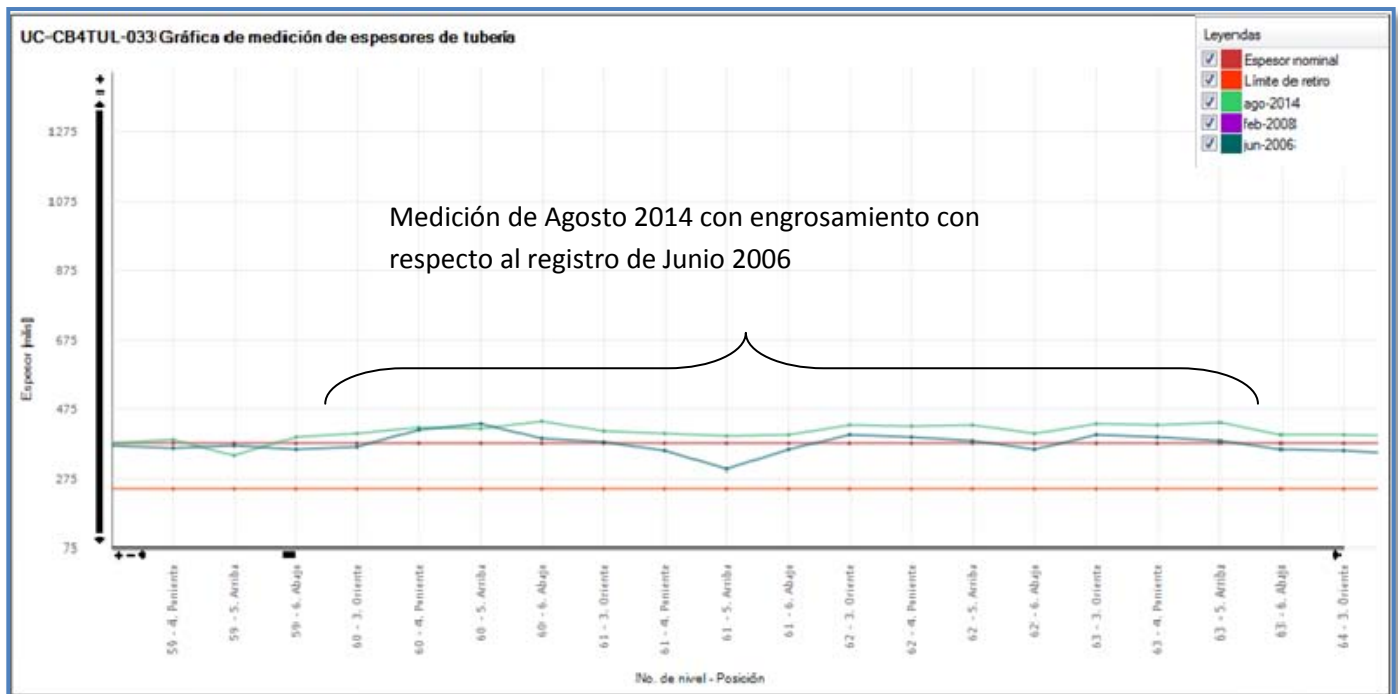
realizada, cabe destacar que este es el plazo máximo de años que SIMECELE otorga para realizar la siguiente medición, por último, el análisis nos revela que la tubería se tendría que cambiar en Diciembre de 2035, estimando la vida de esta unidad de control en 21 años a partir del último registro. El espesor mínimo encontrado es de 306 milésimas de pulgada y se puede observar en la figura 12.

A pesar del panorama que se observó en el resumen del análisis efectuado por el SIMECELE, esta unidad de control presenta algunos problemas dentro de los niveles considerados como “normales”.

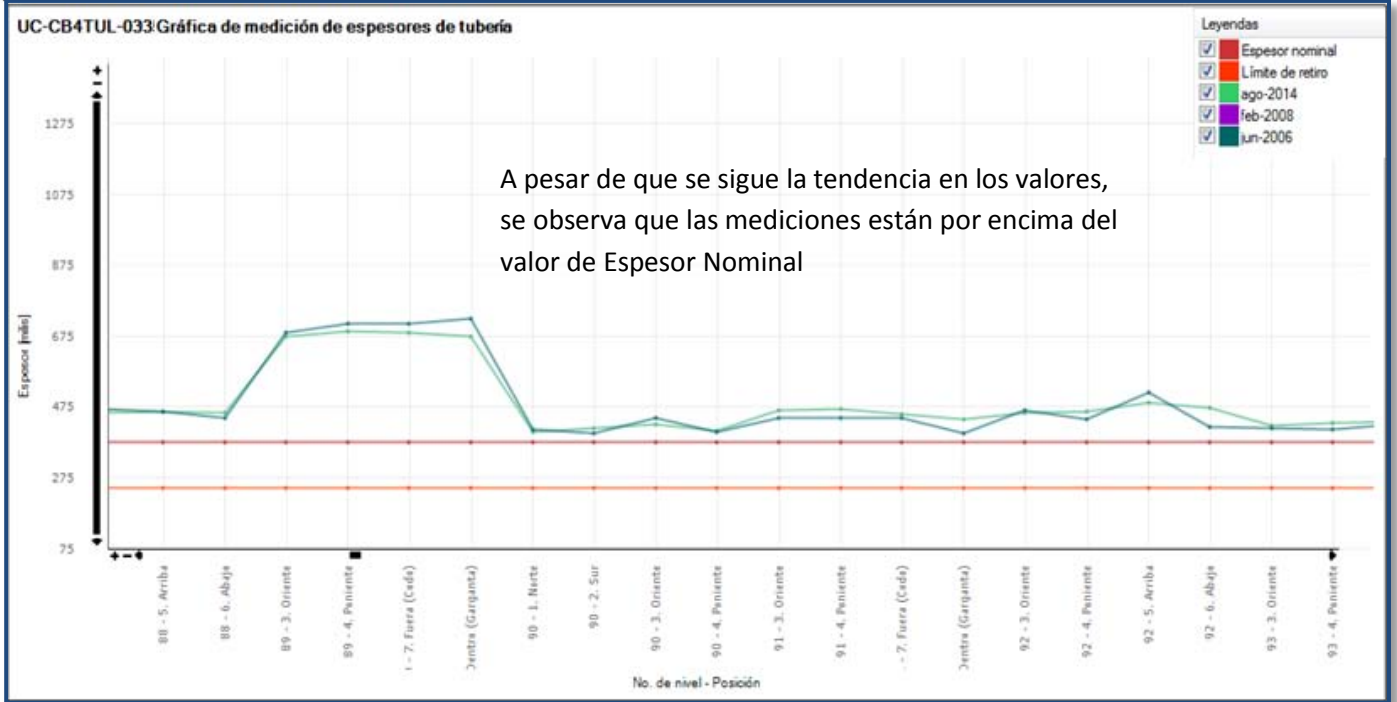
Aunque se puede observar la tendencia del desgaste en algunos niveles, es común encontrar engrosamientos en las mediciones presentadas en Septiembre de 2014 en comparación con las mediciones de referencia (figura 13), pero lo más alarmante aún es que una gran parte de estas mediciones en cualquiera que sea el año del expediente están por encima del espesor nominal (figura 14), esto se debe a que los datos de espesor nominal y límite de retiro son asociados a un tipo de material que posiblemente no es del que estén hechas las tuberías, este es un mal del que padecen muchas de las instalaciones que conforman el sistema de transporte por ducto en México, ya que no hay certeza en el material que se ocupa para la construcción de las instalaciones.



**Figura 12. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033. (Punto de mayor desgaste)**



**Figura 13. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033. (Engrosamiento).**



**Figura 14. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-033. (Espesores por arriba del espesor nominal).**

Sin embargo, en esta unidad de control no se encontraron en los expedientes capturados, espesores que estén cerca o por debajo del límite de retiro, esto probablemente a la anomalía relacionada con el tipo de material capturado en el SIMECELE.

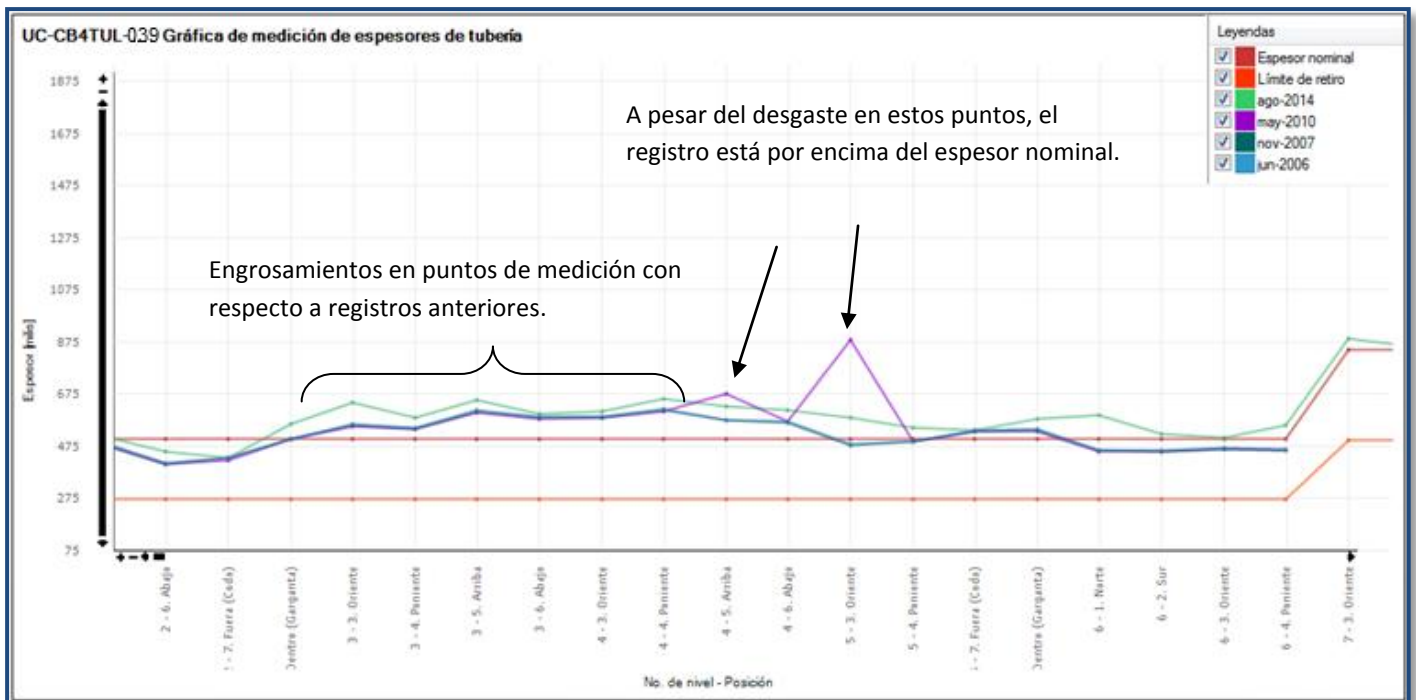
### 3.5.3 UC-CB4TUL-039.

La unidad de control 039 corresponde al poliducto de 16 pulgadas Tula – Azcapotzalco, son 485 los niveles de medición que conforman la estructura de esta unidad de control, el expediente cuenta con cuatro fechas de medición registradas: Junio de 2006, Noviembre de 2007, Mayo de 2010 y Agosto de 2014.

Es de mencionar que en la medición efectuada en Agosto de 2014 todos los niveles de medición fueron medidos, en comparación con las mediciones anteriores donde en cada una de ellas solo hay registro de que la medición de espesores se efectuó en 55 niveles representando así solo un 11 % del total.



El análisis estadístico efectuado por el SIMECELE para la medición de Agosto de 2014 no arroja ningún nivel de medición crítico para esta unidad de control, se nota engrosamientos en los puntos de medición con respecto a las mediciones anteriores y aunque hay algunos puntos que si presentan desgaste estos están por encima del espesor nominal (figura 15).



**Figura 15. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039. (Engrosamiento y Desgaste).**

Al igual que con la UC-CB4TUL-033, el análisis efectuado por el SIMECELE no encontró niveles críticos, se revisó la información para los niveles normales, en la tabla 13 se muestra un resumen estadístico para Agosto de 2014.

**Tabla 13. Resumen del análisis estadístico de niveles normales de la UC-CB4TUL-039.**

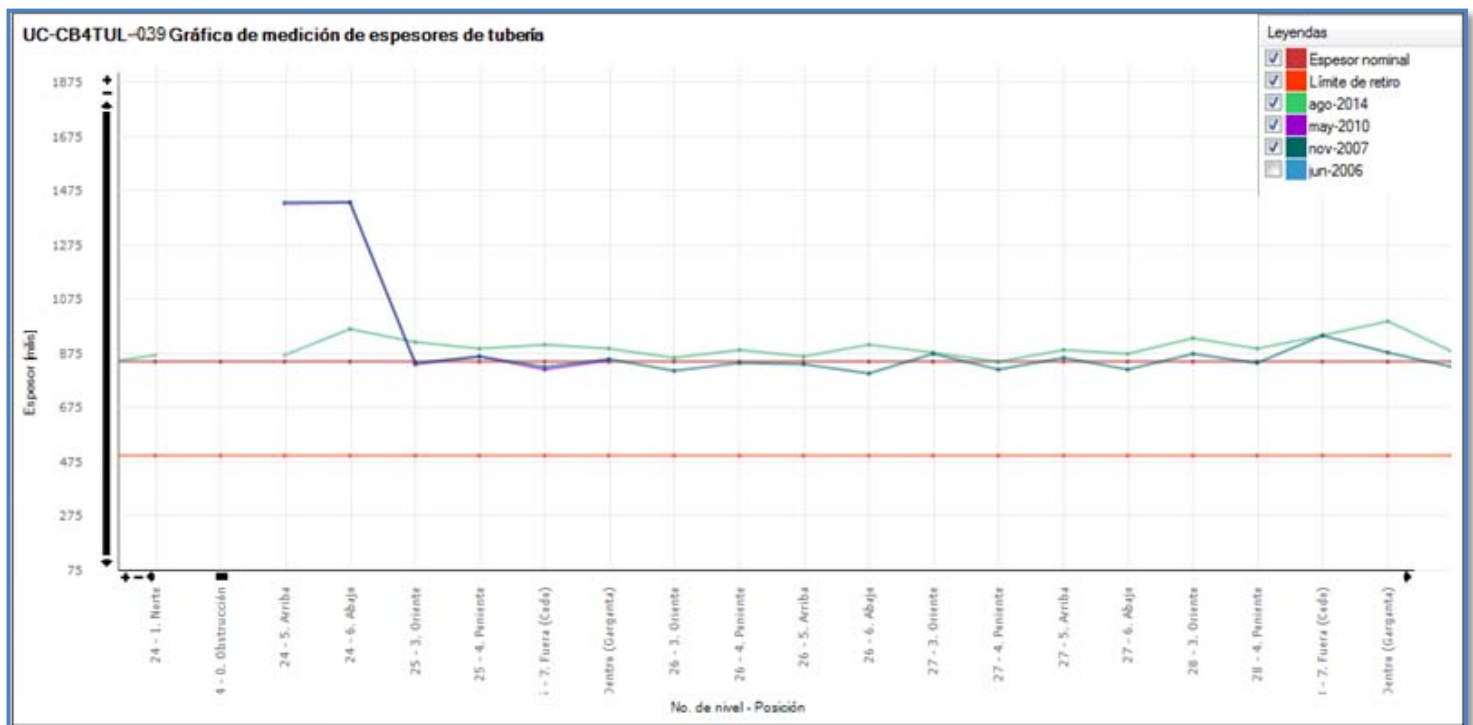
Inspección	Agosto 2014
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	1.6
Velocidad de desgaste máxima ajustada (mpa)	1.8
Vida útil estimada (años)	91.9
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	Agosto 2019
Fecha de retiro probable (FRP)	Julio 2106
Espesor Mínimo encontrado	393 milésimas de pulgada

Fuente: Elaboración Propia.



La velocidad de desgaste máxima ajustada es la que se ocupó para hacer el análisis, esta es de 1.8 milésimas de pulgada por año, lo cual es un desgaste aceptable en la tubería, también nos indica que la fecha de retiro probablemente sea en Julio de 2106 y por lo tanto una vida útil de 92 años; como aparentemente no hay alertas en esta unidad de control, nuevamente el SIMECELE otorga el lapso de 5 años para la próxima medición, teniéndose que efectuar ésta en Agosto de 2019.

Al momento de revisar el comportamiento de los espesores en esta unidad de control se encontró, que la mayoría están por encima del espesor nominal capturado en la especificación de material, como se puede observar en la figura 16.

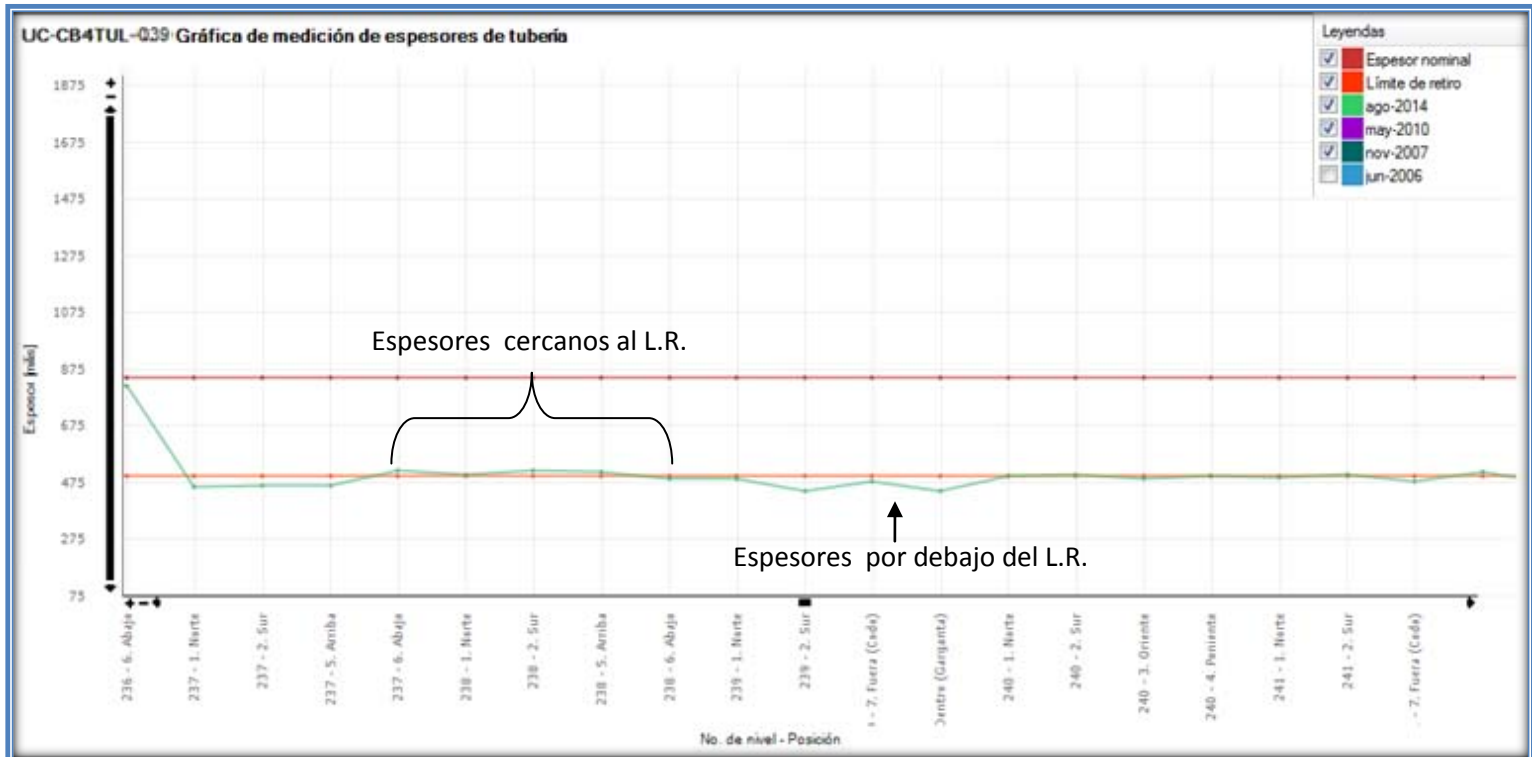


**Figura 16. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039. (Mediciones > Espesor nominal).**

Se puede observar que a pesar de que hay engrosamiento en las mediciones, los valores de mediciones anteriores a Agosto de 2014 también están por encima del espesor nominal capturado para la unidad de control, esta anomalía se repite en gran parte de la unidad de control.



En otra sección de la gráfica se observó que los valores que arrojó la medición están muy cerca o por debajo del límite de retiro, recordando que el límite de retiro se define como: el mayor espesor resultante entre el espesor requerido por la presión interna y el espesor mínimo requerido por condiciones estructurales de seguridad del componente, en la figura 17 se puede observar el comportamiento en estos niveles.



**Figura 17. Gráfica de la velocidad de desgaste UC-CB4TUL-039 (Mediciones cercanas o por debajo del límite de retiro).**

Este es un comportamiento que no se espera al realizar este análisis, ya que el valor de la medición tiene que estar fluctuando dentro de los parámetros definidos: Espesor nominal y límite de retiro para ser considerados como “normales”, en este caso estos niveles no están dentro del parámetro de “críticos” por el hecho de que no hay un registro válido anterior para comparar, esto a pesar de que si hay una inspección anterior a Agosto de 2014.





### 3.6 Ubicación de los espesores mínimos encontrados en las unidades de control.

A partir de los resultados del análisis estadístico efectuado por el SIMECELE, se ubicaron los espesores mínimos presentes en cada una de las tres unidades de control analizadas, estos puntos de medición se localizaron dentro de los isométricos realizados para la implementación del SIMECELE en el centro de trabajo para tener un panorama más amplio y entender el porqué del desgaste diferente en estos niveles de medición en comparación de los demás.

Cabe destacar que los isométricos, como se mencionó anteriormente, son representaciones gráficas de la conformación de las tuberías del centro de trabajo, por eso son de gran ayuda para identificar los niveles de medición de interés y relacionarlos con el expediente de medición correspondiente. En la figura 18 se puede observar un ejemplo de un isométrico.

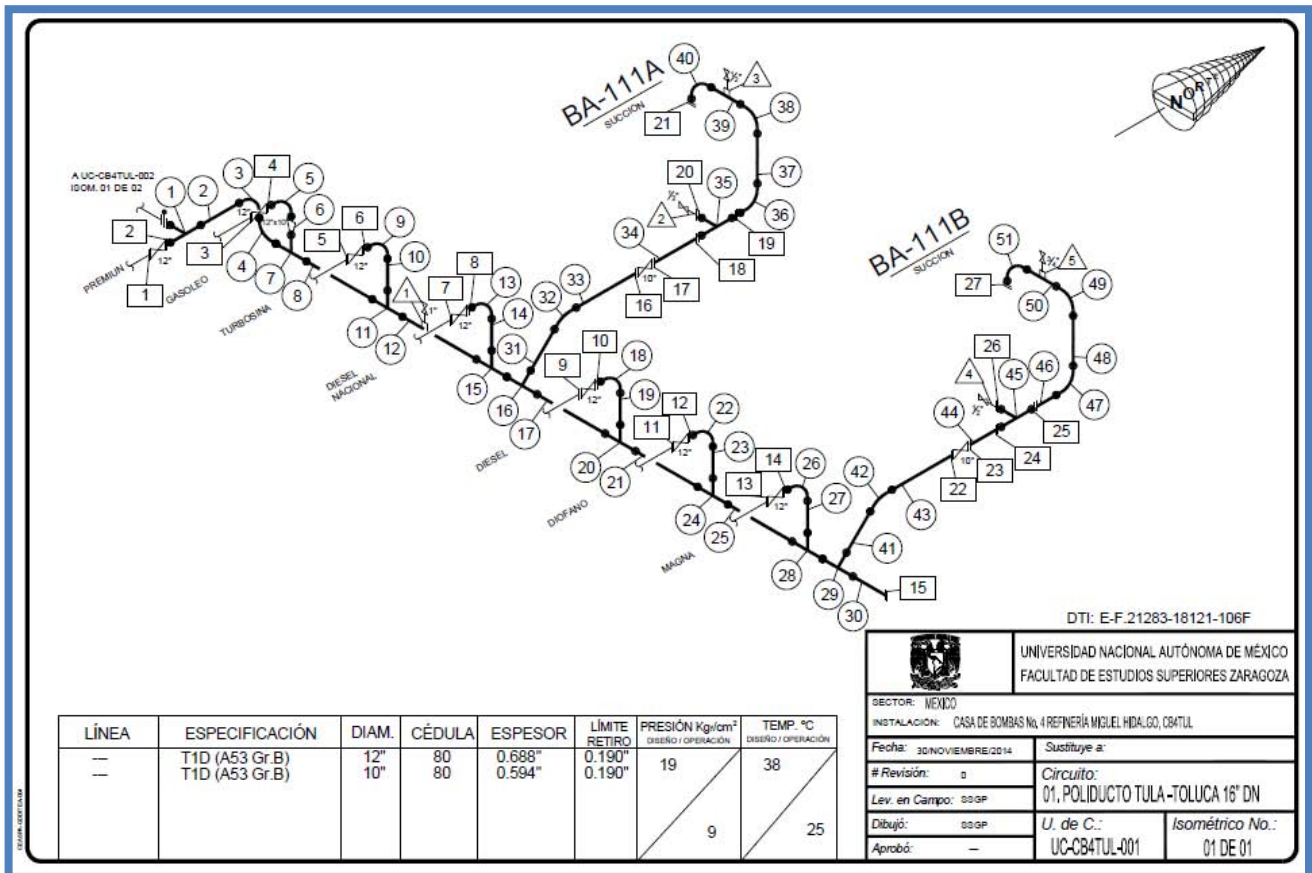


Figura 18. Ejemplo de isométrico de la Casa de Bombas No. 4.



### 3.6.1 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-008

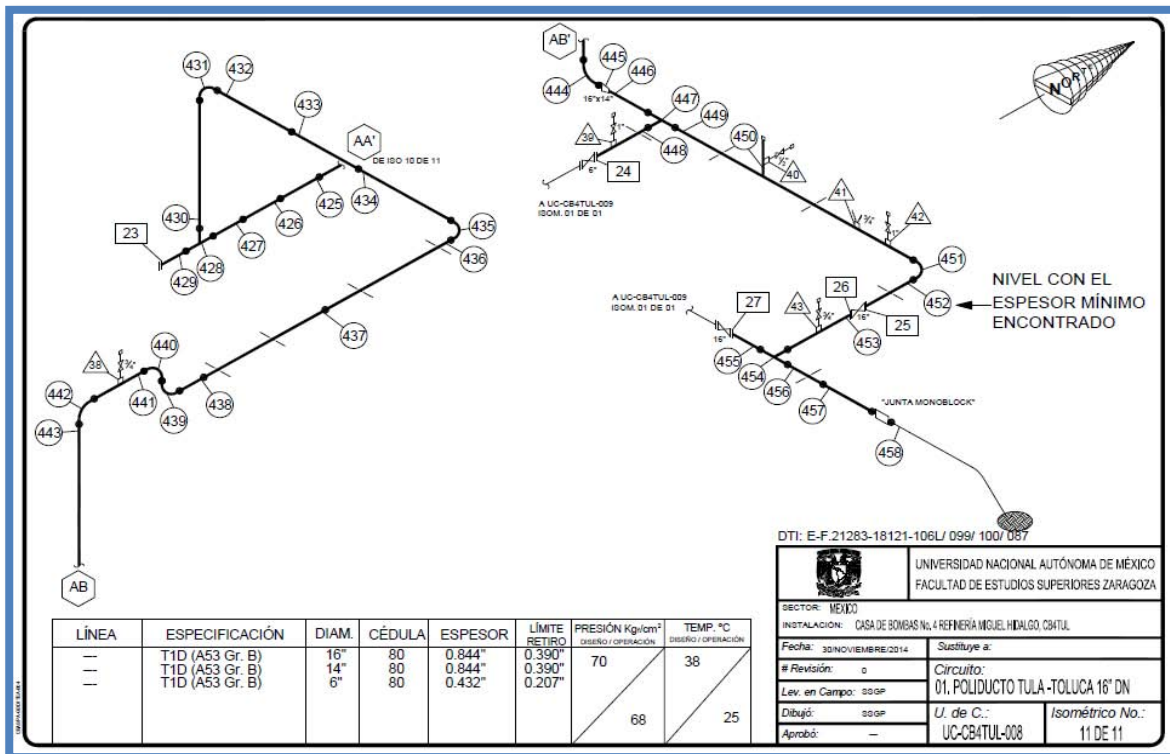
Para la unidad de control correspondiente al poliducto Tula – Toluca de 16” que cuenta con 458 niveles de medición, el análisis estadístico formal para niveles normales arrojó un espesor mínimo encontrado de 414 milésimas de pulgada, la tabla 14 nos muestra los detalles.

**Tabla 14. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-008. Poliducto Tula – Toluca 16”.**

Inspección	Espesor Mínimo encontrado	Fijada con base en la lectura del nivel	Posición
Septiembre 2014	414	452	Abajo

Fuente: Elaboración Propia.

Según el comparativo de las inspecciones de esta unidad de control que se puede consultar en el SIMECELE, el nivel 452 corresponde a un tramo de tubería de 16 pulgadas de diámetro, con un espesor nominal de 844 milésimas de pulgada y un límite de retiro de 390 milésimas de pulgada, en la figura 19 podemos encontrar su ubicación dentro del plano isométrico correspondiente.



**Figura 19. UC-CB4TUL-008 Isométrico 11 de 11 (Niveles 425 al 458).**



En la figura 19 podemos observar que el nivel corresponde a un tramo de tubería que se encuentra a la salida de la estación, para ser exactos en la línea de salida regular de producto, esta línea está en constante uso ya que el flujo es continuo por esa zona, además este tramo de tubería está justo después de un codo, lo cual supone un cambio en el flujo, mayor turbulencia y por ende mayor desgaste en las paredes del material.

A pesar de ser el espesor mínimo encontrado en esta unidad de control con 412 milésimas de pulgada, aún está por encima de su límite de retiro, el cual para el diámetro de 16” es de 390 milésimas de pulgadas, siendo aún funcional con 22 milésimas de pulgada de distancia y con una velocidad de desgaste promedio de 1.9 milésimas de pulgada en teoría aun tendría 11 años bajo las mismas condiciones de operación.

### 3.6.2 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-033

Como se mencionó anteriormente la unidad de control del poliducto Tula – Azcapotzalco de 12” cuenta con 508 niveles de medición, en los cuales después del análisis estadístico formal se encontró que el espesor mínimo encontrado es de 306 milésimas de pulgadas en la tabla 15 se dan más detalles.

**Tabla 15. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-033 Poliducto Tula – Azcapotzalco 12”.**

Inspección	Espesor Mínimo encontrado	Fijada con base en la lectura del nivel	Posición
Agosto 2014	306	68	Oriente

Fuente: Elaboración Propia.

Este espesor fue encontrado en el nivel 68 y es un tramo de tubería recto de 12 pulgadas de diámetro con un espesor nominal de 375 milésimas de pulgada y un límite de retiro de 246 milésimas de pulgada.

De acuerdo con el resultado del análisis estadístico formal, la velocidad de desgaste promedio de esta unidad de control es de 1.3 milésimas de pulgada por año por lo cual partiendo de que aún hay 60 milésimas de pulgada entre el espesor mínimo encontrado y el límite de retiro y de la velocidad de desgaste



promedio podemos pronosticar que si el comportamiento de esta unidad de control se mantiene como hasta ahora, se estiman 45 años de funcionalidad en este tramo de tubería, en la figura 20 podemos observar el nivel antes mencionado dentro del isométrico correspondiente.

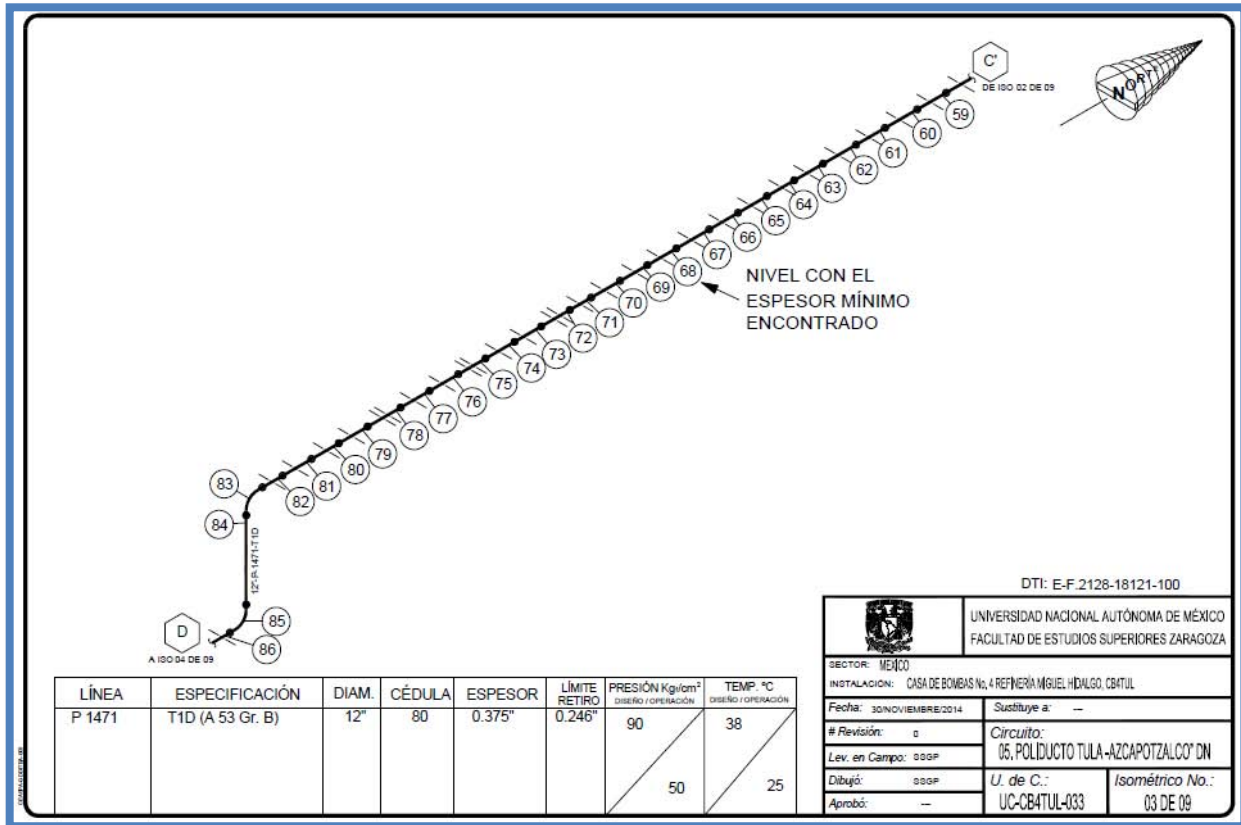


Figura 20. UC-CB4TUL-033 Isométrico 03 de 09 (Niveles 59 al 86).

En esta unidad de control, el nivel que presentó el espesor mínimo encontrado fue en un tramo recto de tubería tal como se muestra en la figura 20.

El nivel no tiene alguna característica especial que indiqué el porqué del espesor mínimo, ya que está ubicado entre tramos rectos, no está ubicado cerca de un accesorio como un codo o una tee y por ende no hay un cambio de flujo o algún otro factor de turbulencia cerca, a parte del flujo normal del poliducto.



### 3.6.3 Espesor mínimo encontrado en la UC-CB4TUL-039.

Por último la unidad de control 039 que corresponde al poliducto Tula – Azcapotzalco de 16” de diámetro cuenta con 485 niveles de medición de estos el mínimo espesor registrado que se encontró después del análisis estadístico de los niveles normales fue de 393 milésimas de pulgada la tabla 16 nos muestra los detalles.

**Tabla 16. Espesor mínimo encontrado UC-CB4TUL-039 Poliducto Tula – Azcapotzalco 16”**

Inspección	Espesor Mínimo encontrado	Fijada con base en la lectura del nivel	Posición
Agosto 2014	393	293	Fuera (Codo)

Fuente: Elaboración Propia

El espesor mínimo encontrado corresponde al nivel 293 que es un accesorio tipo codo de 16” de diámetro y que según el expediente de medición tiene un espesor nominal de 844 milésimas de pulgada y un límite de retiro de 225, el resultado del análisis estadístico arrojó un valor de 1.6 milésimas de pulgada para esta unidad de control, con lo cual se prevé que el tiempo de funcionalidad de este accesorio es de por lo menos 100 años antes que llegue al límite de retiro, cosa que se tiene que corroborar con las mediciones siguientes. Como se mencionó este nivel es un accesorio tipo codo en el cual se produce un cambio de flujo y por ende es expuesto a turbulencia, lo cual probablemente ocasiona que se desgaste más, en la figura 21 se puede observar la representación gráfica de este nivel dentro del isométrico correspondiente.

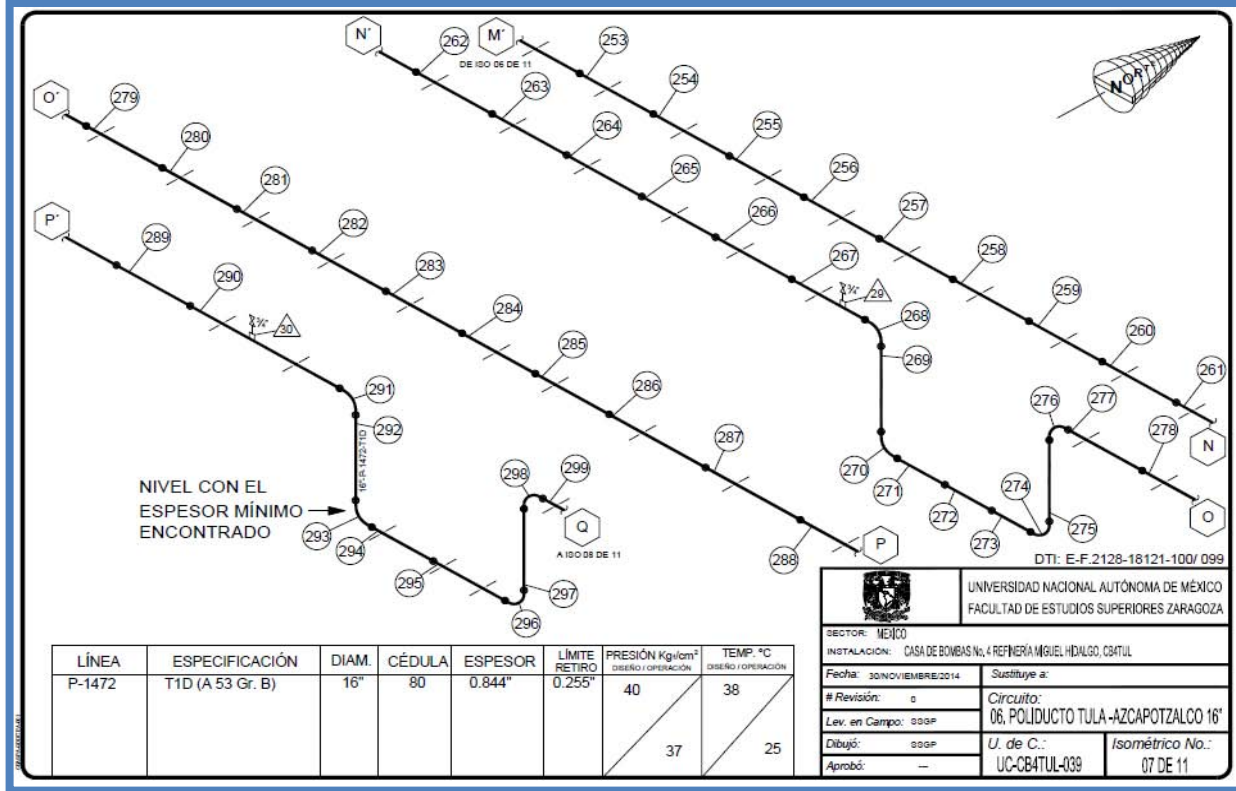


Figura 21. UC-CB4TUL-039 Isométrico 07 de 11 (Niveles 253 al 299).

### 3.7 Comparación de las unidades de control.

Después de efectuar el análisis estadístico y gráfico de las unidades de control por separado se compararon entre sí para definir cual tuvo el mayor desgaste de acuerdo a sus condiciones de operación.

A continuación se presenta la comparación entre las unidades de control pertenecientes a la salida de los poliductos, como se pudo observar en los apartados anteriores cada unidad cuenta con una velocidad de desgaste promedio correspondiente al último año en que se realizó la inspección, la comparación se realizó para determinar en cuál de las tres unidades de control se presentó el mayor desgaste.

#### 3.7.1 Comparación de la velocidad de desgaste promedio.

Como se explicó anteriormente las unidades de control que se comparan en el presente trabajo corresponden a poliductos que transportan productos destilados del petróleo como: Gasolinas (magna y premium), diésel, gas, etc.



Estos poliductos son operados de acuerdo a los planes de abastecimiento de la refinería, también es importante mencionar que de acuerdo a los expedientes de medición y los dibujos de inspección mecánica, el material de estas líneas es Acero A 53 Gr. B, fabricado con acero al carbono de calidad estructural, utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (**ERW**) y se usa principalmente para la conducción a alta presión de agua, vapor, petróleo, aire presurizado y fluidos no corrosivos.<sup>16</sup> Cumpliendo así con la norma de referencia NRF-030-PEMEX-2009.

Bajo esta premisa se realizó la comparación entre las unidades de control, tal como se muestra en la tabla 17.

**Tabla 17. Comparación de las unidades de control de acuerdo a sus condiciones de operación.**

Unidad de Control	Presión de Operación Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura de Operación °C	Velocidad de desgaste promedio
008	68.0	25	1.9 mpa
033	50.0	25	1.3 mpa
039	37.0	25	1.6 mpa

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la tabla 17, la temperatura de operación promedio en cada una de las unidades de control es la misma, lo que varía es la presión de operación promedio en cada poliducto, se observa también que la unidad de control 008 correspondiente a el Poliducto Tula – Toluca de 16” tiene el valor más grande de velocidad de desgaste promedio con 1.9 milésimas de pulgada por año y también es el ducto que maneja mayor presión de operación promedio con 68 Kg/cm<sup>2</sup>.

De esta manera la unidad de control 008 es la que presenta el mayor desgaste en las tuberías de las tres unidades de control analizadas en el presente trabajo, y como se esperaba el poliducto con mayor presión de operación presentó la mayor velocidad de desgaste promedio.



*“Evaluación del desgaste de las descargas de una casa de bombas en un centro de refinación de petróleo”*



Aunque en el caso contrario la unidad de control 033 correspondiente al Poliducto Tula – Azcapotzalco de 12” que presentó menor velocidad de desgaste promedio no es la unidad de control que maneja la menor presión de operación.





## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Las casas de bombas son esenciales en el proceso de transportación de los productos refinados, y al igual que otras plantas y equipos son vulnerables a diferentes mecanismos de daño que perjudican su integridad física. Las condiciones de operación a las que son sometidas ocasionan daños que pueden evaluarse a través de técnicas de inspección. La medición de espesores es una práctica de inspección que permite analizar el desgaste de las tuberías.

La implementación del Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos en la Casa de Bombas No. 4 sirvió como vehículo para realizar el análisis presentado en este trabajo, durante la implementación del SIMECELE se presentaron varias dificultades que al final influyeron en el alcance de esta tesis, la recopilación de la información correspondiente a los expedientes de medición fue una de las mismas, ya que en este centro de trabajo en particular no se cumple adecuadamente con el plan de inspección trazado, lo cual da como resultado unidades de control con expedientes incompletos, o con expedientes de control sin valores pero aun así validados dentro del sistema, creyendo así que se tiene bajo control la instalación cuando en realidad no es así.

Es por esto que con la información recopilada y analizada en el SIMECELE se obtuvieron las gráficas de las velocidades de desgaste en las cuales se realizó el análisis gráfico de las mediciones en cada unidad de control, estos gráficos resultaron ser una herramienta adecuada para la rápida identificación de los conflictos en la medición o captura, observando las tendencias de las mediciones actuales comparadas con las mediciones anteriores.

También se obtuvo la información de vida útil estimada (VUE), fecha próxima de medición de espesores (FPME) y la fecha de retiro probable (FRP) para niveles normales, ya que a pesar de que en la unidad de control 008 se realizó también el análisis para niveles de medición críticos, no fue posible en las otras unidades de control ya que de acuerdo a la información recopilada y capturada no existía esa condición en dichas unidades de control, lo cual con el análisis gráfico se



demonstró que no es del todo cierto, con esto se cumplió el objetivo principal de este trabajo así como el primer objetivo particular.

Las anomalías que se encontraron en las unidades de control analizadas fueron principalmente:

- Valores de medición por encima del espesor nominal de la tubería.
- Valores de medición por debajo del límite de retiro de la tubería.
- Valores de medición por encima de los valores de medición anterior (engrosamiento).
- Niveles de medición que no contaban con valor en los expedientes actuales a pesar de que en años pasados si contaban con datos en esos niveles.
- Niveles de medición con valores cercanos al límite de retiro que no fueron considerados como “críticos” por no tener un valor de referencia en la medición anterior.

La implementación del SIMECELE también trajo como resultado la digitalización de 112 isométricos de la Casa de Bombas No. 4, mismos que muestran la representación gráfica de la conformación de las tuberías, de estos isométricos 31 corresponden a las unidades de control analizadas, 11 de la unidad de control 008, 9 de la unidad de control 033 y 11 de la unidad de control 039, los cuales sirvieron para ubicar los niveles con el espesor mínimo dentro de los polductos analizados.

Por último se cumplió con el objetivo de comparar las unidades de control entre sí y relacionar las condiciones de operación con la velocidad de desgaste promedio dentro de las mismas. Se esperaba que la unidad de control que manejara la mayor presión presentara el mayor desgaste, el resultado fue el esperado ya que la unidad de control 008 que opera con la mayor presión (68 kg/cm<sup>2</sup>) tiene la velocidad de desgaste más alta del análisis (1.9 mpa) de las tres unidades de control del presente trabajo.

A continuación se presentan las anomalías y recomendaciones particulares para cada unidad de control:



- UC-CB4TUL-008:

Esta unidad de control es la única del análisis que presento unidades de control críticas, esto se debe a que hay un mayor apareamiento de los datos, es decir que hay datos de la medición actual que tienen un dato de una medición anterior, con esto se pudo ver mejor la tendencia de los datos y el desgaste en los mismo.

Además en esta unidad de control se recomienda una nueva medición de espesores que verifique los valores de la última inspección, ya que un gran porcentaje de los mismos presentan engrosamiento, en algunos casos este engrosamiento es mayor al 5% lo cual invalida el cálculo de la rapidez de desgaste.

- UC-CB4TUL-033:

Esta unidad de control presento una gran inconsistencia en los valores registrados en el software, a pesar de que para la última medición el porcentaje de niveles medidos fue casi del 100 % se tendría que hacer una revisión de esta unidad de control, ya que las mediciones se encuentran por encima del espesor nominal registrado para la unidad de control, esto puede ser por que el material capturado y del cual se toman los datos de espesor nominal y límite de retiro no es el mismo material del cual está construida la tubería.

Se recomienda verificar la especificación de la tubería para poder corroborar si hay algún cambio con respecto a los valores en SIMECELE, y de ser así cambiarlos a la brevedad para mejorar el seguimiento en esta unidad de control, ya que si se observa tendencia de desgaste en las mediciones.

A pesar de que la fecha de próxima medición está programada para Agosto 2019 se recomienda hacer una medición a la brevedad para observar si la tendencia es consecuente con las nuevas especificaciones de la tubería.

- UC-CB4TUL-039:

Esta unidad de control presento engrosamientos en la medición con respecto a las fechas anteriores, además dichos engrosamientos están por encima del valor de



espesor nominal, otra de las anomalías que presento esta unidad de control fueron los espesores aparentemente cercanos al límite de retiro.

La causa de que los espesores se encuentren por encima del espesor nominal y los valores cercanos o por debajo del límite de retiro puede ser que sea que del mismo modo que con la unidad de control anterior, la especificación de tubería cargada y utilizada en SIMECELE no sea la misma que tiene la tubería de este poliducto.

Además se recomienda que se efectuó una nueva medición en Agosto del 2015 para observar la tendencia en los niveles ya que a pesar de que en la última inspección se midieron el total de los 485 niveles de medición correspondientes a esta unidad de control solo se pudo comparar el 11%, esta nueva medición mostrara un panorama más completo del desgaste en estos niveles.

En general los problemas que se presentan son errores humanos:

- Inspecciones incompletas.
- Inspecciones no realizadas.
- Datos erróneos en las especificaciones de tubería facilitadas.

Estas inconsistencias dentro de la instalación son muy recurrentes dentro de los centros de trabajo encargados del transporte de hidrocarburos en el país, ya que a pesar de suma importancia la integridad de las tuberías en ocasiones se omiten o postergan la realización de las inspecciones correspondientes ya sea por falta de personal, tiempo o presupuesto.

Este último rubro es importante ya que en ocasiones la mayoría del presupuesto destinado a este departamento de la refinación en México es utilizado en las indemnizaciones que resultan de las fugas por tomas clandestinas en los ductos, dejando así en último lugar la compra de tubería nueva de acuerdo a la norma correspondiente, cuando esto sucede es usual que se utilice retacería sobrante de la refinería o algún otro centro de trabajo de la misma dependencia.



## ANEXO A. Análisis estadístico formal para determinar la velocidad ajustada ( $D_{\max}$ ), vida útil estimada (VUE), fecha de retiro probable (FRP) y fecha de próxima medición de espesores (FPME).

A. Cálculo de la velocidad de desgaste punto ( $d$ ).

$$d = \frac{e_i - e_f}{f_f - f_i} \quad (1)$$

Dónde:

$d$  = Velocidad de desgaste puntual [mpa]

$f_f$  = Fecha de la medición más reciente [años]

$f_i$  = Fecha de la medición anterior [años]

$e_i$  = Espesor obtenido en la fecha  $f_i$  [milésimas de pulgada]

$e_f$  = Espesor obtenido en la fecha  $f_f$  [milésimas de pulgada]

B. Cálculo de la velocidad de desgaste promedio ( $D_{prom}$ ).

$$D_{prom} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + \dots + d_n}{n} \quad (2)$$

C. Cálculo de la velocidad máxima ajustada ( $D_{max}$ ).

$$D_{max} = D_{prom} + 1.28 \frac{D_{prom}}{\bar{n}} \quad (3)$$

Dónde:

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  = Velocidades de desgaste correspondientes a cada punto [mpa]

$n$  = Número de valores de velocidades de desgaste que intervienen en el cálculo.

$D_{prom}$  = Promedio aritmético de las velocidades de desgaste [mpa]

$D_{max}$  = Velocidad de desgaste máxima ajustada estadísticamente [mpa]

1.28 corresponde al valor de la “t” Student para una población infinita con 90% de confiabilidad.



D. Cálculo de la vida útil estimada (VUE).

$$VUE = \frac{e_k - L_r}{D_{max}} \quad (4)$$

E. Cálculo de la Fecha de próxima medición (FPME).

$$FPME = f_k + \frac{VUE}{D_{max}3} \quad (5)$$

F. Cálculo de la Fecha de retiro probable (FRP).

$$FRP = f_k + VUE \quad (6)$$

Dónde:

$L_r$  = Límite de retiro [mpa]

$e_k$  = Espesor más bajo encontrado en la última medición [mpa]

$f_k$  = Fecha de última medición [años]



## ANEXO B. DIAGRAMAS DE IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE CONTROL.

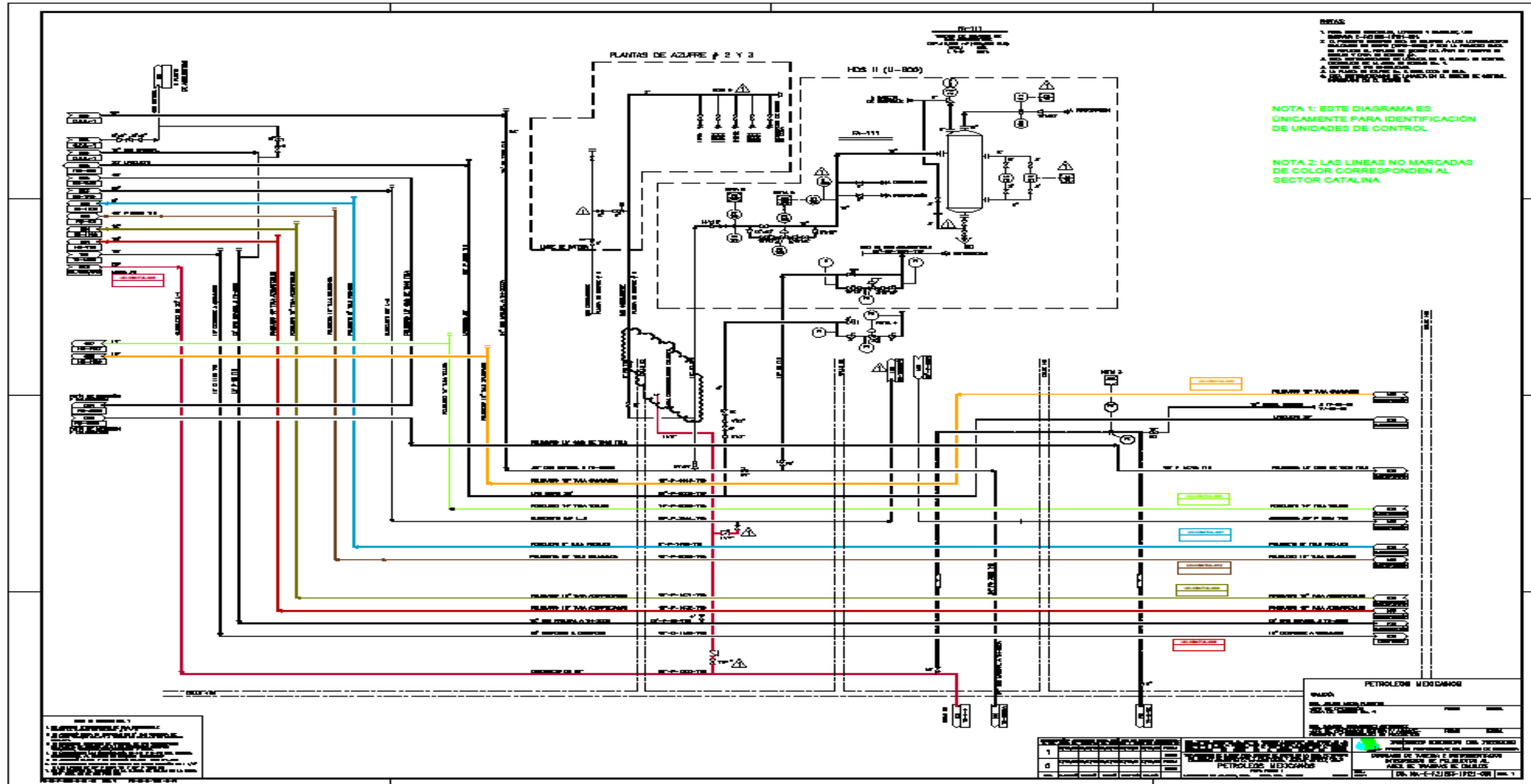


Diagrama E-F.21283-18121-099.





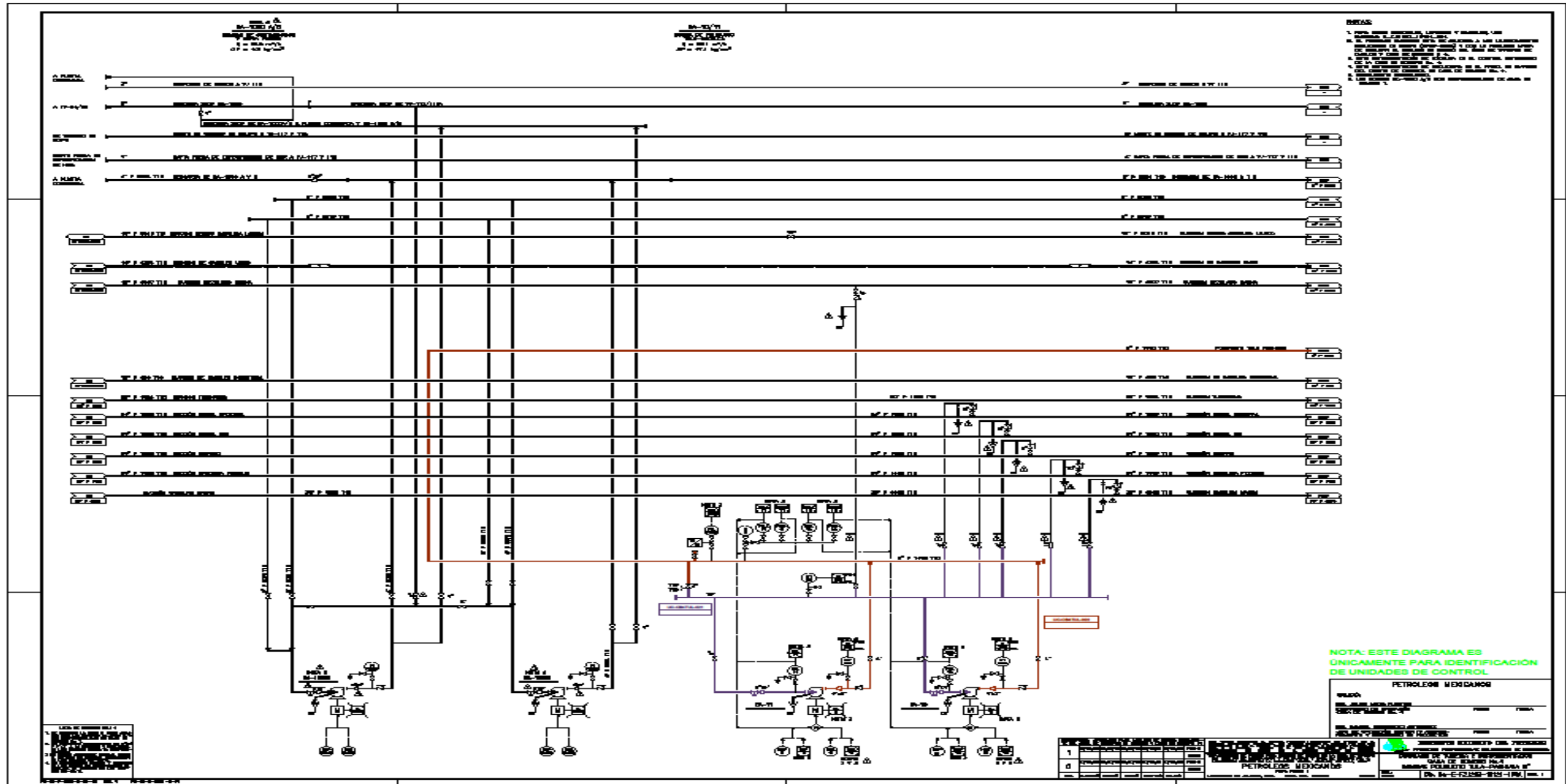


Diagrama E-F.21283-18121-106A.



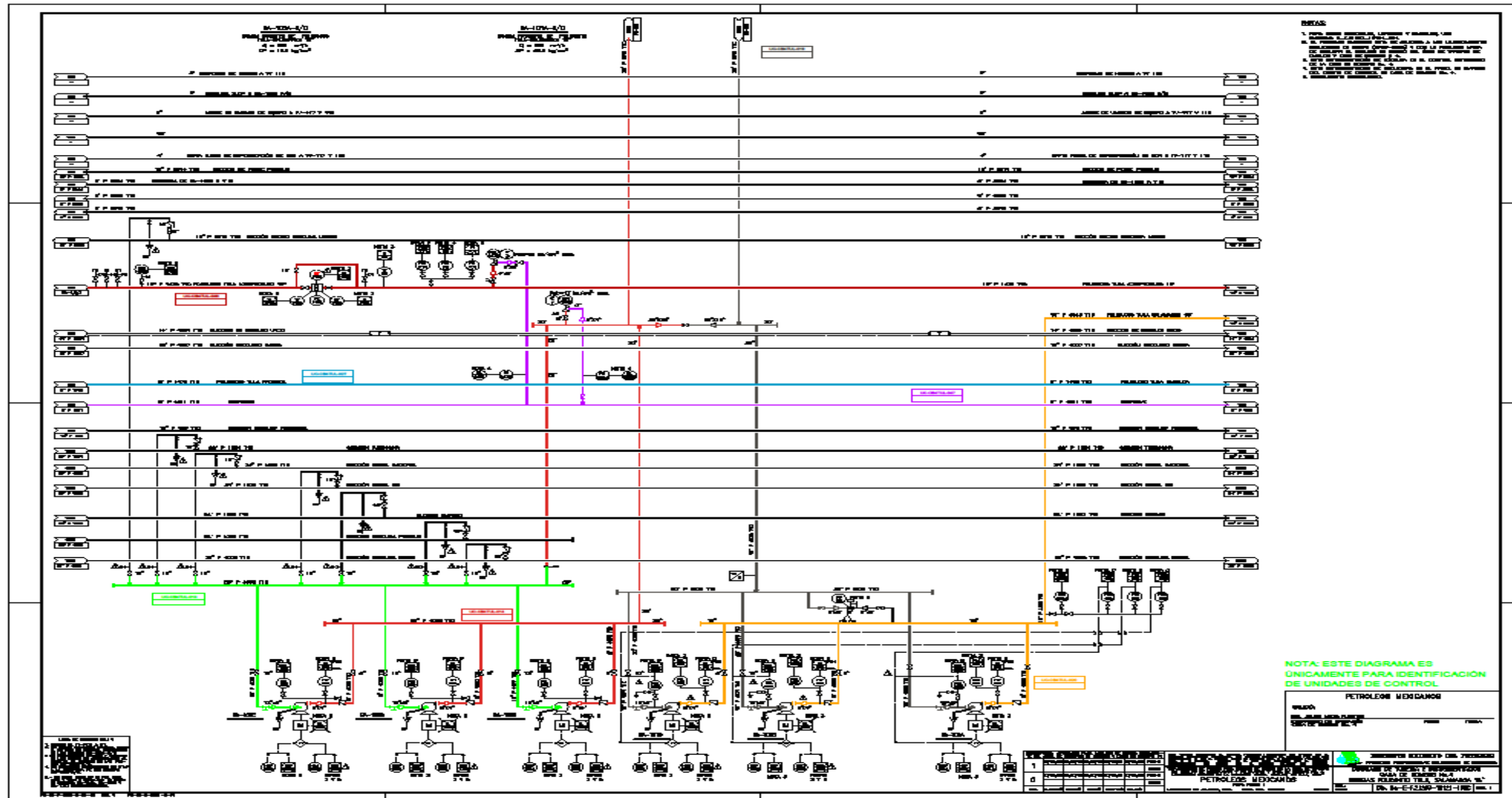


Diagrama E-F.21283-18121-106C.

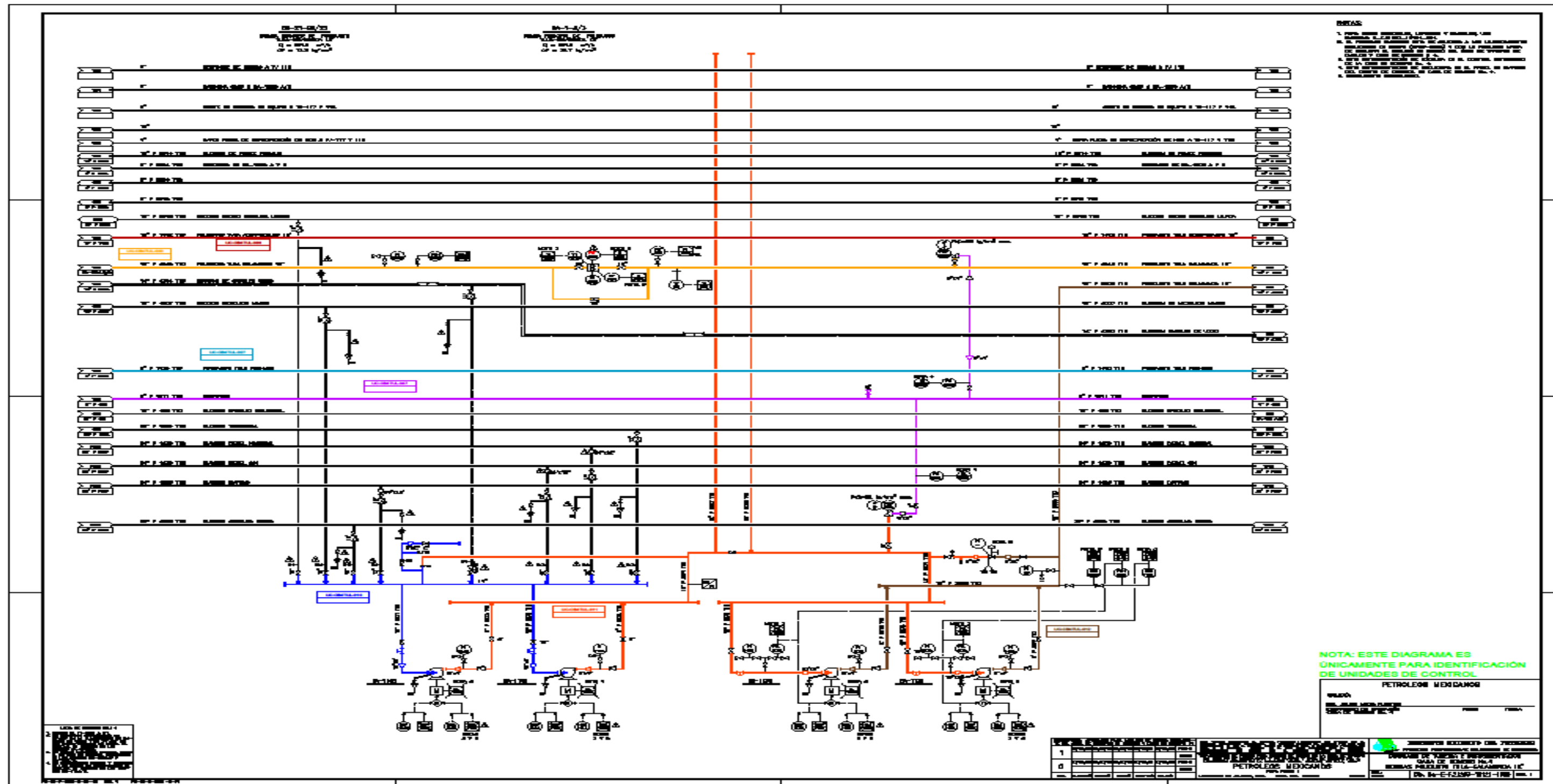


Diagrama E-F.21283-18121-106D.

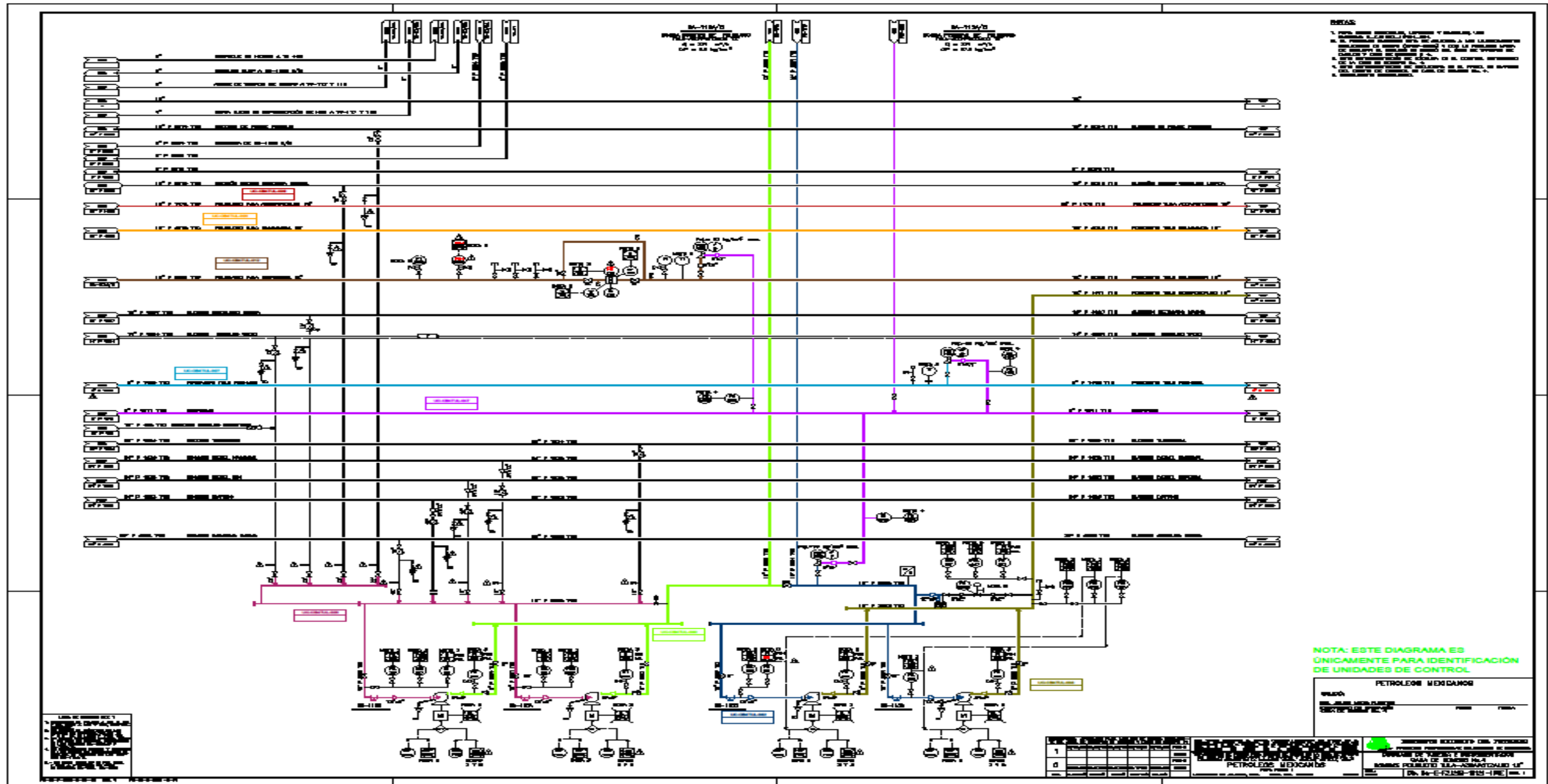


Diagrama E-F.21283-18121-106E.



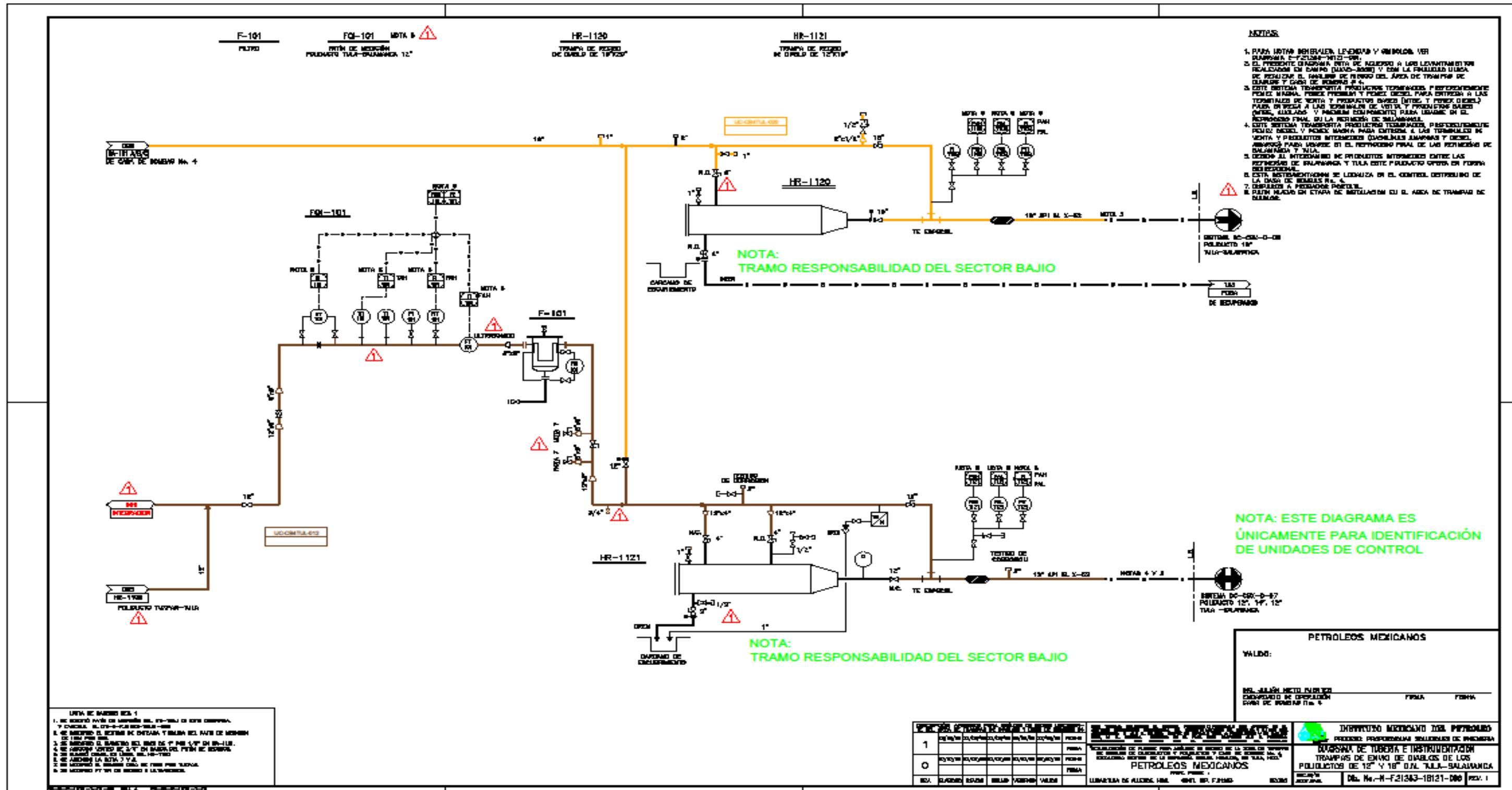


Diagrama N-F.21283-18121-086.





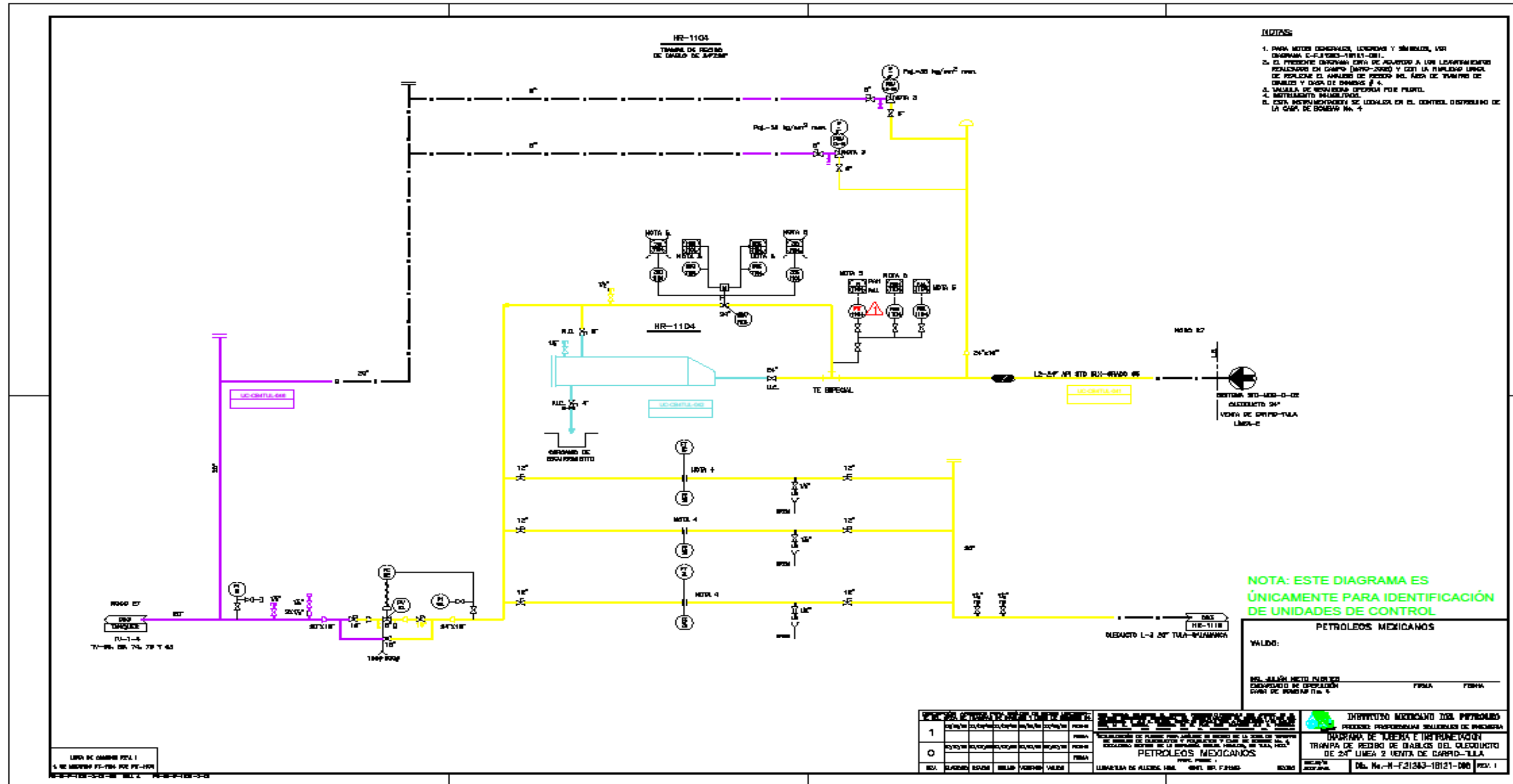


Diagrama N-F.21283-18121-088.

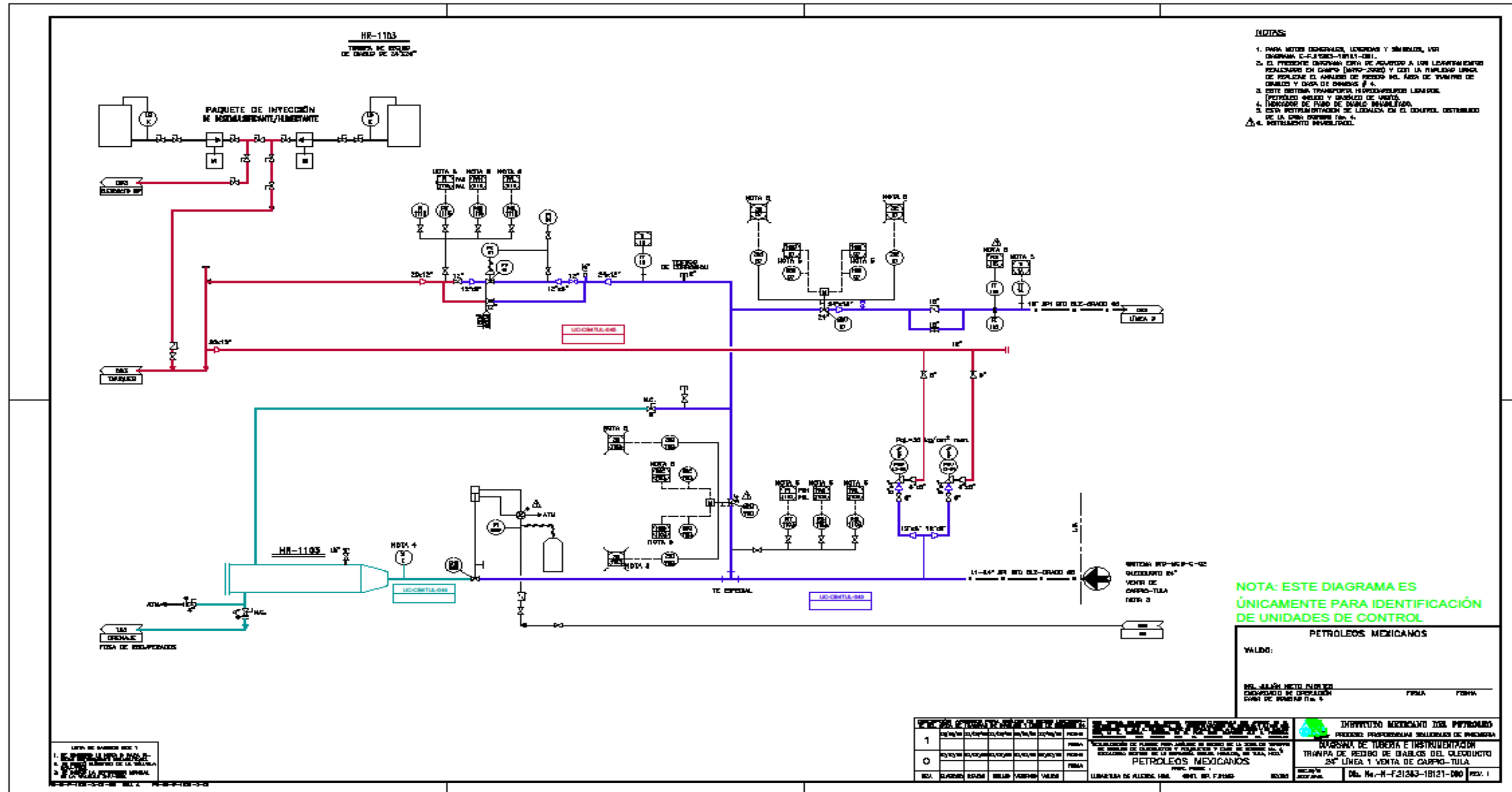


Diagrama N-F.21283-18121-090.

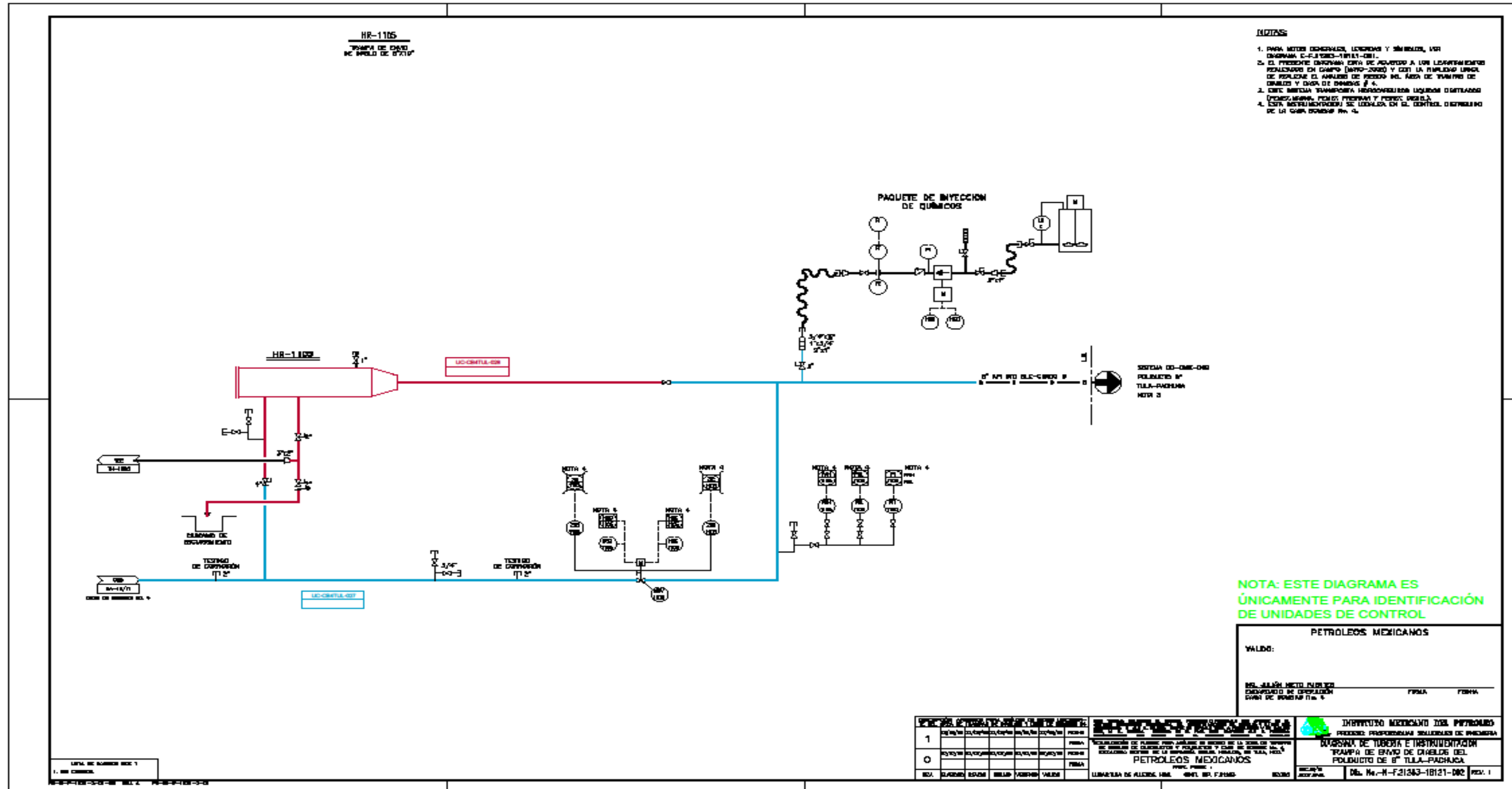


Diagrama N-F.21283-18121-092.





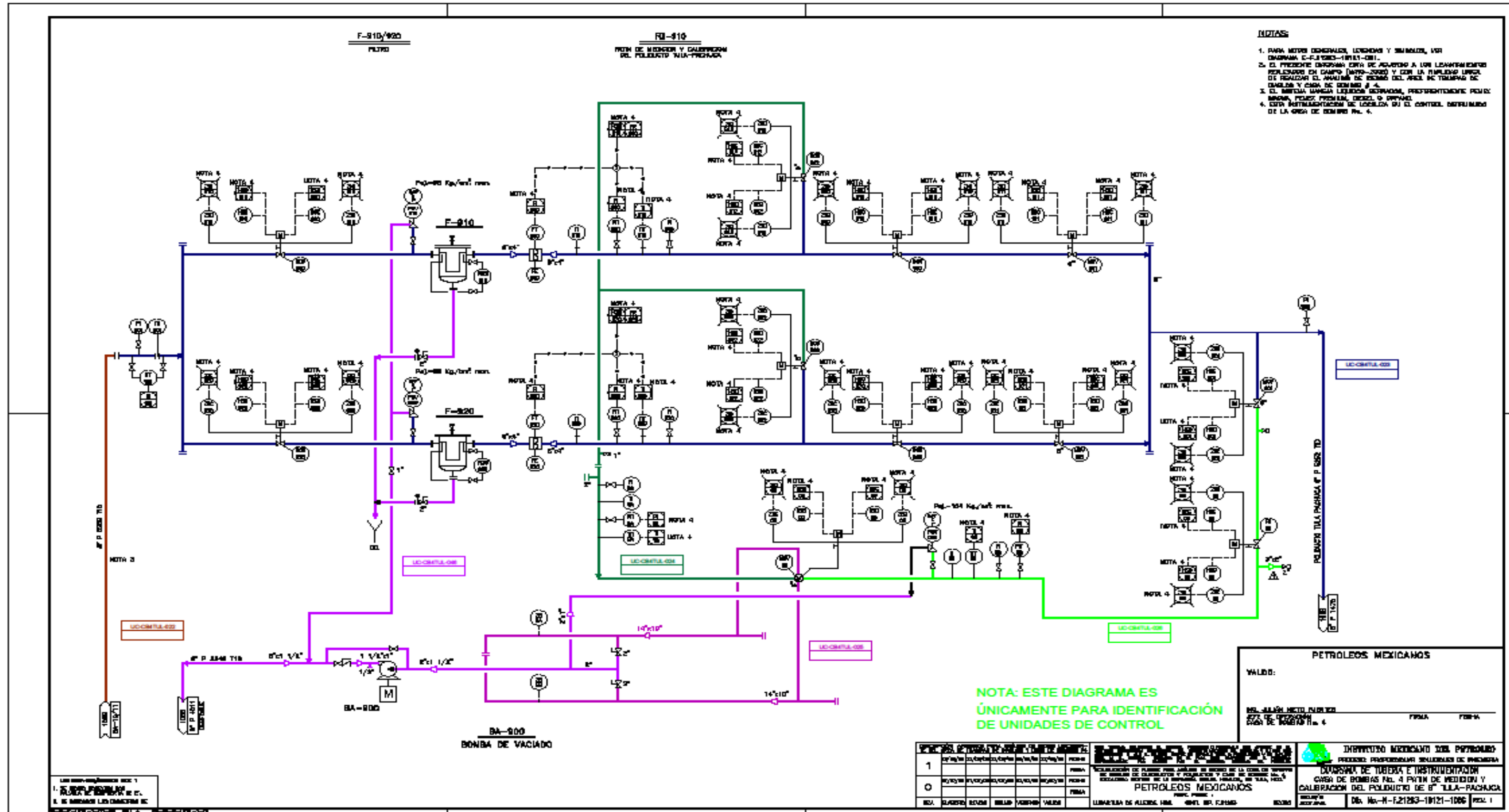
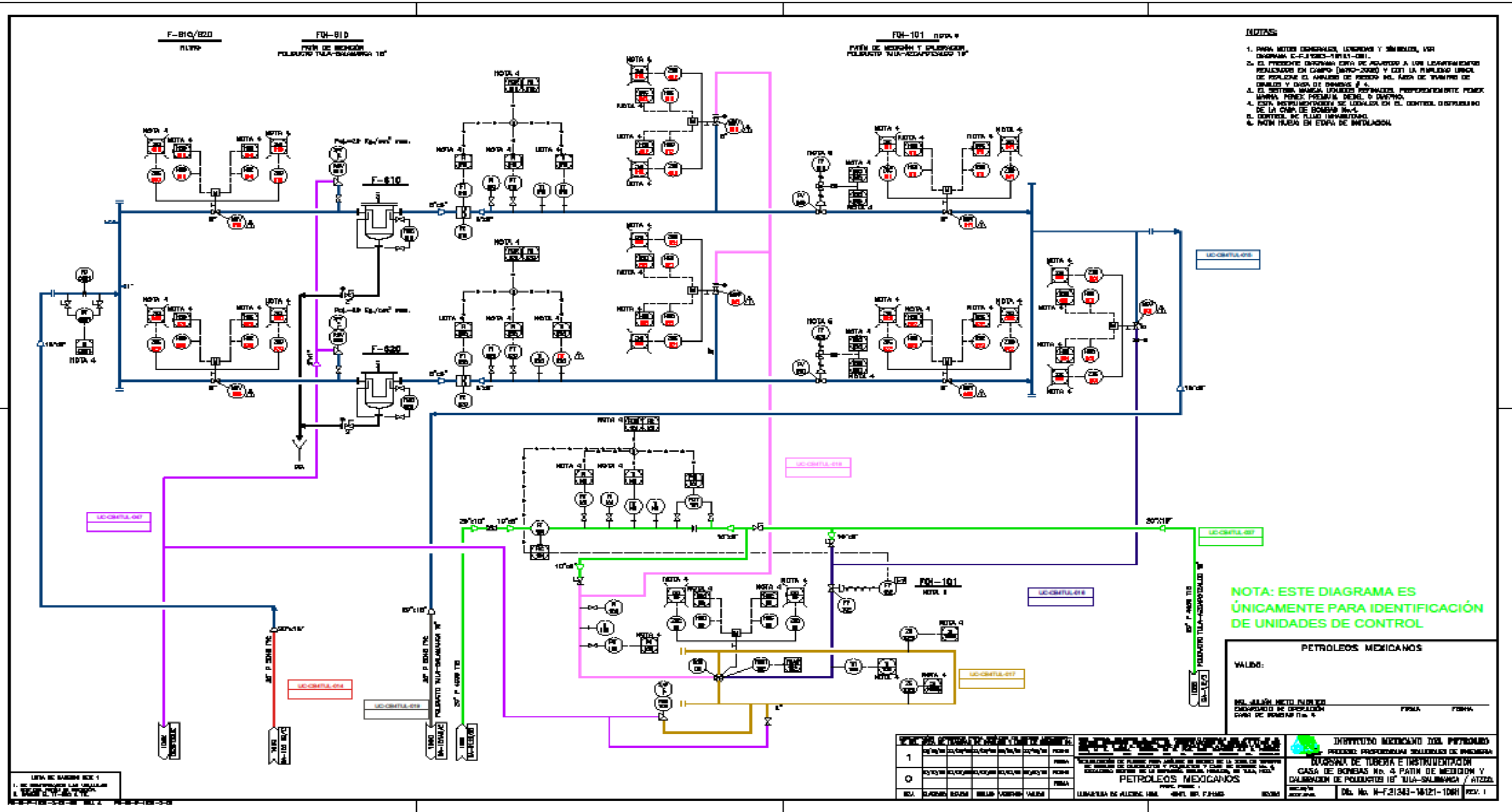


Diagrama N-F.21283-18121-106G.



- NOTAS:**
1. PARA METAS GENERALES, LEYENDAS Y SIMBOLOS, VER DIAGRAMA C-F-31023-18121-081.
  2. EL PRESENTE DIAGRAMA ESTA DE ACUERDO A LOS LEVANTAMIENTOS REALIZADOS EN CAMPO (MAYO-2002) Y CON LA AYUDA DE LOS PLANOS UNICA DE PRODUCCION EL ANALISIS DE PRESION DEL AREA DE TRAMITE DE CONTROL Y DATA DE DISEÑO # 4.
  3. EL SISTEMA MANGA UNIDADES DESTINADAS PROPORCIONARTE PORMAYOR MAYOR PORESI PREVENIR DEBELO DISEÑO.
  4. ESTA INSTRUMENTACION SE LOCALIZA EN EL CONTROL DISEÑADO DE LA CASA DE BOMBAS No.4.
  5. CONTROL DE FLUIDO IMPULSIONAL.
  6. PATIN NUEVA EN ETAPA DE INSTALACION.

**NOTA: ESTE DIAGRAMA ES ÚNICAMENTE PARA IDENTIFICACIÓN DE UNIDADES DE CONTROL**

**PETROLEOS MEXICANOS**

VALIDO: \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_ FIRMA \_\_\_\_\_

DEL SECCION METROLOGIA  
CENTRO DE OPERACION  
CASA DE BOMBAS No. 4

<b>INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL</b> INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL		<b>INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL</b> INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL INSTRUMENTACION DE UNIDADES DE CONTROL	
1	...	...	...
0	...	...	...
...	...	...	...

Diagrama N-F.21283-18121-106H.

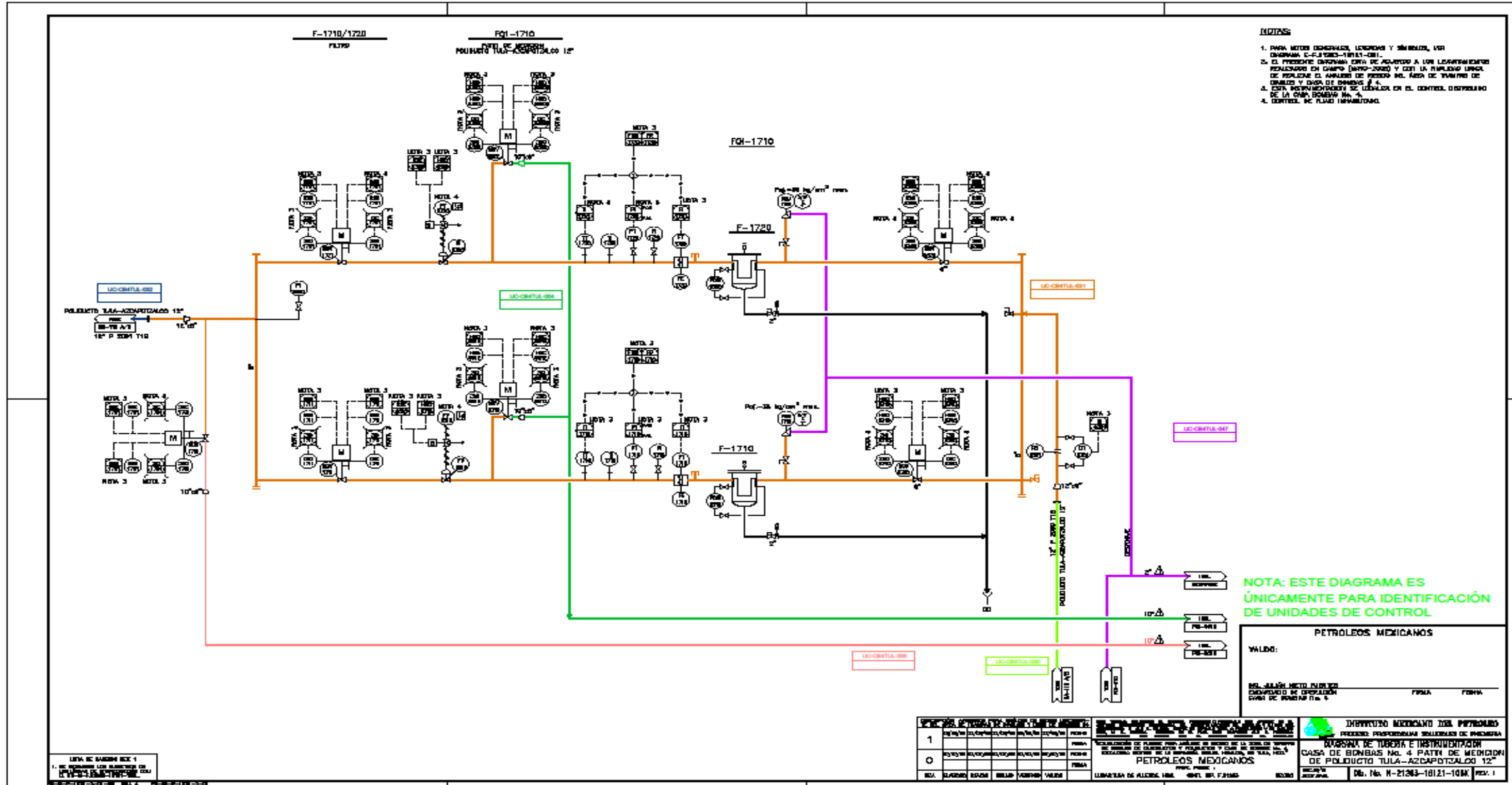


Diagrama N-F.21283-18121-106K.



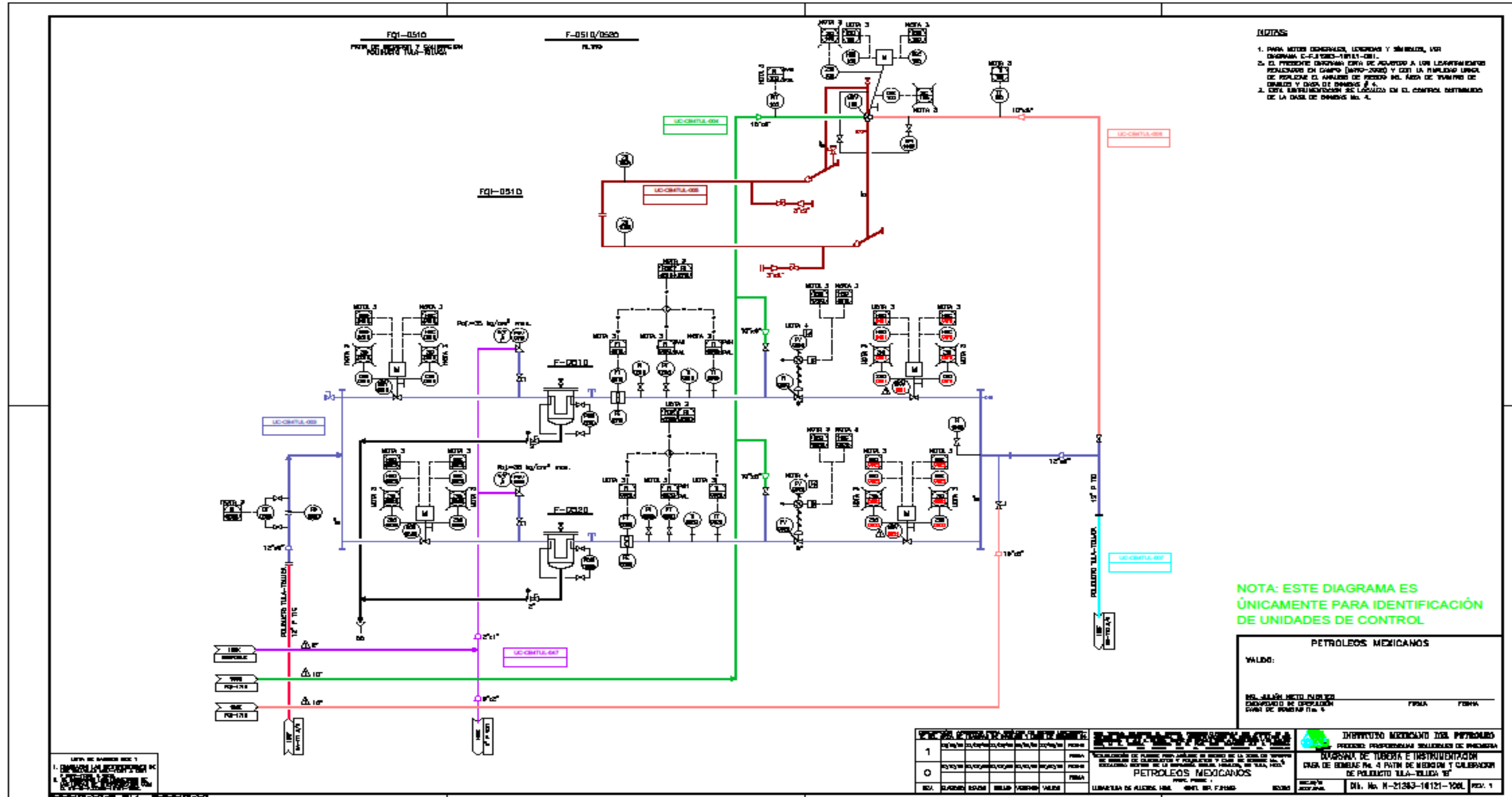


Diagrama N-F.21283-18121-106L.



## ANEXO C. CENSO DE UNIDADES DE CONTROL.

**Tabla C-1 Censo de Unidades de Control de la “Casa de Bombas No. 4 de la Refinería “Miguel Hidalgo”.**

CIRCUITO	UNIDAD DE CONTROL	DESCRIPCIÓN	No. DE DIAGRAMA
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-001	Cabezal de Succión de Bombas BA-111-A/B	E-F.2128-18121-106F
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL -002	Cabezal de Descarga de Bombas BA-111-A/B a Patín de Medición FQI-0510	E-F.2128-18121-106F/ 106L
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-003	Patín de Medición FQI-0510	E-F.2128-18121-106L
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-004	De Patines de Medición FQI-0510 y FQI-1710 a Probador	E-F.2128-18121-106L/ 106K
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-005	Probador FQI-1710	E-F.2128-18121-106L
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-006	De Probador FQI-1710 a Patín de Medición FQI-0510	E-F.2128-18121-106L/ 106F
01. POLIDUCTO TULA -TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-007	De patín de medición FQI-0510 a Succión de Bombas BA-110A/B	E-F.2128-18121-106L/ 106F
01. POLIDUCTO TULA-TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-008	De Descarga de Bombas BA-110A/B a Sección de TED	E-F.2128-18121-106L/ 099/ 100/ 087
01. POLIDUCTO TULA-TOLUCA 16” DN	UC-CB4TUL-009	TED	E-F.2128-18121-087
02. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 12” DN	UC-CB4TUL-010	Cabezal de Succión de Bombas BA-114A/B	E-F.2128-18121-106D
02. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 12” DN	UC-CB4TUL-011	De Descarga de Bombas BA-114A/B a Succión de Bombas BA-113A/B	E-F.2128-18121-106D
02. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 12” DN	UC-CB4TUL-012	De Descarga de Bombas BA-113A/B a Trampa de Envío de Diablos	E-F.2128-18121-106D/ 106E/106F/099/100/ 108/108A/086
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16” DN	UC-CB4TUL-013	Cabezal de Succión de Bombas BA-105A/B/C	E-F.2128-18121-106C
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16” DN	UC-CB4TUL-014	De Descarga de Bombas BA-105A/B/C a Patín de Medición FQI-610	E-F.2128-18121-106C/ 106H
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16” DN	UC-CB4TUL-015	Patín de Medición FQI-610	E-F.2128-18121-106H
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16” DN	UC-CB4TUL-016	De Patines de Medición FQI-610 y FQI-101 a Probador	E-F.2128-18121-106H



*“Evaluación del desgaste de las descargas de una casa de bombas en un centro de refinación de petróleo”*



03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16" DN	UC-CB4TUL-017	Probador del Patín FQI-101	E-F.2128-18121-106H
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16" DN	UC-CB4TUL-018	De Probador del Patín FQI-101 a Retorno del Patín FQI-610	E-F.2128-18121-106H
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16" DN	UC-CB4TUL-019	De Patín de Medición FQI-610 a Succión de las Bombas BA-101A/B/C	E-F.2128-18121-106C
03. POLIDUCTO TULA-SALAMANCA 16" DN	UC-CB4TUL-020	De Descarga de Bombas BA-101A/B/C a Trampa de Envío de Diablos	E-F.2128-18121-106C/ 106D/106E/106F/100/ 099/ 086
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-021	Cabezal de Succión Bombas BA-10/ 11	E-F.2128-18121-106A
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-022	De Descarga de Bombas BA-10/ 11 a Patín de Medición	E-F.2128-18121-106A/B
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-023	Patín de Medición FQI-910	E-F.2128-18121-106G
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-024	De Patín de Medición FQI-910 a Probador	E-F.2128-18121-106G
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-025	Probador del Patín de Medición FQI-910	E-F.2128-18121-106G
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-026	De probador a Patín de Medición FQI-910	E-F.2128-18121-106G
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-027	De Patín de Medición FQI-910 a TED	E-F.2128-18121-106G/ 106B/106C/106D/106E/ 106F/100/099/092
04. POLIDUCTO TULA-PACHUCA 8" DN	UC-CB4TUL-028	TED	E-F.2128-18121-092
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-029	Cabezal de Succión de las Bombas BA-116A/B	E-F.2128-18121-106E
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-030	De Cabezal de Descarga de las Bombas BA-116A/B al Patín de Medición FQI-1710	E-F.2128-18121-106E/ 106K
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-031	Patín de Medición FQI-1710	E-F.2128-18121-106K
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-032	De Patín de Medición FQI-1710 a Succión de las Bombas BA-115A/B	E-F.2128-18121-106K/ 106E/106F/100/099/ 094/108A/108/109
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-033	De descarga de las Bombas BA-115A/B a TED	E-F.2128-18121-106E/ 106F/100/099/094 108A/108/109
05. POLIDUCTO TULA-AZCAPOTZALCO 12" DN	UC-CB4TUL-034	TED	E-F.2128-18121-094



*“Evaluación del desgaste de las descargas de una casa de bombas en un centro de refinación de petróleo”*



06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-035	Cabezal de Succión de Bombas BA-21/ 22/ 23	E-F.2128-18121-106B
06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-036	De Descarga de las Bombas BA-21/ 22/ 23 a Patín de Medición FQI-101	E-F.2128-18121-106B/106H
06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-037	Patín de Medición FQI-101	E-F.2128-18121-106H/106B
06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-038	De Patín de Medición FQI-101 a Succión de Bombas BA-1/ 2/ 3	E-F.2128-18121-106H/ 106B
06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-039	De Descarga de Bombas BA-1/ 2/ 3 TED	E-F.2128-18121-106B/ 106C/106D/106F/100/ 099/ 094
06. POLIDUCTO TULA- AZCAPOTZALCO 16" DN	UC-CB4TUL-040	TED	E-F.2128-18121- 094
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-041	Línea 2, Entrada a Trampa de Recibo de Diablos	E-F.2128-18121-088
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-042	Trampa de Recibo de Diablos de línea 2	E-F.2128-18121-088
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-043	Línea 1, Entrada a Trampa de Recibo de Diablos	E-F.2128-18121-090
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-044	Trampa de Recibo de Diablos de línea 1	E-F.2128-18121-090
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-045	De PSV-L1-01/02 (línea 1) a Refinería "Miguel Hidalgo" (TV-1-4, 68, 69, 74, 76, 83)	E-F.2128-18121-090
07. OLEODUCTO NVO. TEAPA- VENTA DE CARPIO- ZUMPANGO- TULA 30"-24" DN	UC-CB4TUL-046	De PSV-L2-01/02 (línea 2) a Refinería "Miguel Hidalgo" (TV-1-4, 68, 69, 74, 76, 83)	E-F.2128-18121- 088
08. DESFOGUE	UC-CB4TUL-047	Cabezal de desfogue	E-F.2128-18121-106B/ 106C/106D/106E/106F/106G/10 6H/106K/106L



## BIBLIOGRAFÍA.

- <sup>1</sup> Iniciativa ATYCA, Miner y F212 (1997). *La seguridad, fundamentos y aplicaciones*. Ed. Fraternidad mupresa.
- <sup>2</sup> Muñoz M. A. (2011) *La seguridad industrial, evolución y situación actual*. Madrid, España.
- <sup>3</sup> Storch José María M. (2008). *Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas, fundamentos, evaluación de riesgos y diseño*. España: Díaz de Santos.
- <sup>4</sup> Chavarría Rodríguez José Antonio, (2013). *Análisis de la rapidez de desgaste en torres de destilación*. México: UNAM, Facultad de Química, Tesis de licenciatura en Ingeniería Química.
- <sup>5</sup> PEMEX-SSPA, (2000). *Manual del “Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental” (SIASPA)*.
- <sup>6</sup> NRF-274-PEMEX-2012. (2012) *Evaluación de la integridad mecánica de tuberías y equipos estáticos*.
- <sup>7</sup> José Angón Consuelo, (2013). *Análisis de la medición de espesores a través de un sistema de medición y control en una planta hidrodesulfuradora de diésel ultra bajo azufre (UBA)*. México: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Tesis de licenciatura en Ingeniería Química.
- <sup>8</sup> Zacarias Ortiz Francisco Javier, (2013). *Cálculo del espesor mínimo requerido en equipos sujetos a presión en una planta de cracking catalítico fluidizado (FCC-1)*. México: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Tesis de licenciatura en Ingeniería Química.
- <sup>9</sup> PEMEX-DG-SASIPA-IT-0204. (2010). *Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores*.
- <sup>10</sup> PEMEX-GPEI-IT.0201. (1986) *Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación*.
- <sup>11</sup> PEMEX-GPI-IT-4200. (1986) *Procedimiento para el control de desgaste de niplería*.
- <sup>12</sup> PEMEX-DG-GPASI-IT-0903 (1995) *Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de Pemex refinación*.



- <sup>13</sup> PEMEX-GPASI-IT-0209 (1994). Procedimiento para efectuar la inspección de tuberías de proceso y servicios auxiliares en operación de las instalaciones de Pemex refinación.
- <sup>14</sup> FACULTAD DE QUÍMICA UNAM. CEASPA-MUS-003. (2009). Manual de usuario del SIMECELE.
- <sup>15</sup> PEMEX REFINACIÓN. (2012) Infraestructura de plantas de proceso, sistema de ductos y terminales de almacenamiento y reparto.
- <sup>16</sup> CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A. (2012) Catalogo Tubo ASTM A53. <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/aceroscorporacion/docs/TUBO%20ASTM%20A53.pdf>