



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Descripción del proceso de  
elaboración del documento:  
"Lista de líneas de tuberías".**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera Mecánica**

**P R E S E N T A**

Ivonne Rocío Soria García

**ASESOR DE INFORME**

Fernando Velázquez Villegas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Ingresada 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por inculcarme valores como la responsabilidad, la honestidad, la disciplina y la solidaridad.

A mis padres por el amor que me brindaron, por la oportunidad de tomar mis propias decisiones, y por enseñarme a afrontar las consecuencias de mis actos.

A mi madre por ser una persona ejemplar, cuidó mis pasos, me apoyó incondicionalmente y siempre confió en que lograría lo que me propusiera.

A mis hermanos por ser mi inspiración y motivación para seguir adelante y han compartido mis alegrías y tristezas.

A Ildefonso Reyes Valderrabano, por estar en las buenas y en las malas a mi lado, por enseñarme a ser paciente y reaccionar de manera inteligente ante cualquier situación.

A mis amigos que fueron el mejor equipo de trabajo en la universidad, y siempre están cuando los necesito.

A los profesores que compartieron sus conocimientos para que obtuviera una educación de calidad y me enseñaron a ser autodidacta, competente y a esforzarme por mis metas.

A la facultad de ingeniería que siempre está innovando para mejorar nuestra formación como ingenieros.

A la UNAM por permitirme tener una experiencia inolvidable, en educación y actividades recreativas.

## ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
---------------------------	---

### **Capítulo 1. Descripción de la empresa**

1.1 Historia de la empresa.....	2
1.2 Organigrama.....	2
1.3 Descripción del puesto.....	3
1.4 Actividades desempeñadas.....	3

### **Capítulo 2. Antecedentes**

2.1 Fases en las que se divide un proyecto.....	3
2.1.1 Ingeniería básica.....	4
2.2 Definición de la lista de líneas.....	5
2.3 Partes que componen a la lista de líneas.....	9
2.3.1 Información proporcionada por el área de proceso para la lista de líneas.....	9
2.3.2 Datos suministrados en conjunto por el departamento de proceso y el departamento de Tuberías.....	10

### **Capítulo 3. Metodología**

3.1 Problemática a resolver y alcance.....	11
3.2 Descripción del proceso.....	11
3.2.1 Número de línea.....	12
3.2.1.1 Nomenclatura para las especificaciones de materiales de tubería.....	13
3.2.2 Puntos de interconexión de líneas (origen-destino).....	13
3.2.3 Relevado de esfuerzos (SÍ/NO).....	14
3.2.4 Tipo de aislamiento.....	15
3.2.5 Espesor de aislamiento.....	16
3.2.6 Tipo de prueba.....	17
3.2.7 Presión de prueba.....	17
3.2.8 Porcentaje de radiografiado.....	20
3.2.9 Sistema de pintura.....	20

### **Capítulo 4. Resultados**

4.1 Análisis de Resultados.....	21
---------------------------------	----

<b>Conclusiones</b> .....	23
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	24

## **Índice de figuras**

Figura 1. Organigrama de la empresa.....	2
Figura 2. Fases de un proyecto.....	4
Figura 3. Diagrama de flujo de la elaboración de la lista de líneas.....	5
Figura 4. Diagrama de flujo de las fases de la lista de líneas.....	6
Figura 5. Partes de la lista de líneas.....	9
Figura 6. Diagrama del proceso para la elaboración de la lista de líneas.....	12
Figura 7. Puntos de interconexión de líneas.....	14

## **Índice de cuadros**

Cuadro 1. Relevado de esfuerzos.....	14
Cuadro 2. Tipo de Aislamiento.....	16
Cuadro 3. Espesor de Aislamiento.....	16
Cuadro 4. Tipos de Pruebas.....	17
Cuadro 5. Comparación de Presiones.....	20
Cuadro 6. Sistemas de Pintura.....	20

## **Anexos**

Anexo a. Tabla de Radiografiado y Tratamiento Térmico.....	25
Anexo b. Tabla de Aislamientos.....	26

## Introducción

En este documento se describe la experiencia laboral de un ingeniero de materiales en la empresa ICA Fluor Daniel, S. de R.L. de C.V, una empresa dedicada a la ingeniería, procuración y construcción, en México.

El documento se enfocó en la descripción del proceso de elaboración del documento “Lista de Líneas de Tuberías”, una de las actividades de gran importancia internamente y para nuestros clientes de cualquier proyecto, debido a que la lista de líneas (L.L.) es un documento que provee un método para organizar y tabular todas las líneas que muestran los DTI’S (Diagramas de Tuberías e Instrumentación).

En el proyecto de la refinería de Tula, participé activamente analizando el proceso de elaboración de la lista de líneas, para cumplir con mi objetivo anual propuesto por el jefe de área. El objetivo consistía en automatizar el proceso mediante una hoja de cálculo en Excel.

A raíz de que se tenía un problema; la lista de líneas empezó a crecer tanto que no se podía tener a tiempo y retrasaba a las demás áreas como proceso, diseño, flexibilidad, control de materiales, supervisión y por consiguiente las entregas con el cliente.

En la metodología se muestra cómo se realiza el proceso de elaboración en cada parte de la lista de líneas, que le corresponde al área de ingeniería de materiales, la cual se basa en documentos realizados previamente, códigos, estándares y normas de referencia.

En colaboración con el ingeniero especialista de materiales y un ingeniero en computación logré mi objetivo, teniendo como resultado una hoja de cálculo que automatizó el proceso, lo hizo más preciso, redujo el tiempo de elaboración; de 24 semanas a solo 1 semana, por consiguiente el tiempo de entrega es menor, redujo el personal para la elaboración; de 4 personas a 1 persona, sin importar la cantidad de líneas que se tenga, desde una hasta miles. Así que debido al análisis de resultados se concluye que el proceso es más eficiente.

# Capítulo 1. Descripción de la empresa

## 1.1 Historia de la empresa

ICA Fluor Daniel, S. de R.L. de C.V. desde 1993 es parte de una asociación permanente con *Fluor Corporation*, una de las empresas de ingeniería, procuración y construcción más grandes del mundo. Esta alianza los beneficia en que sean los líderes para el desarrollo de proyectos industriales en México, Centroamérica y el Caribe. Tienen más de 50 años de experiencia en proyectos de energía, refinación, petróleo, gas, químicos, metales, entre otros.

## 1.2 Organigrama

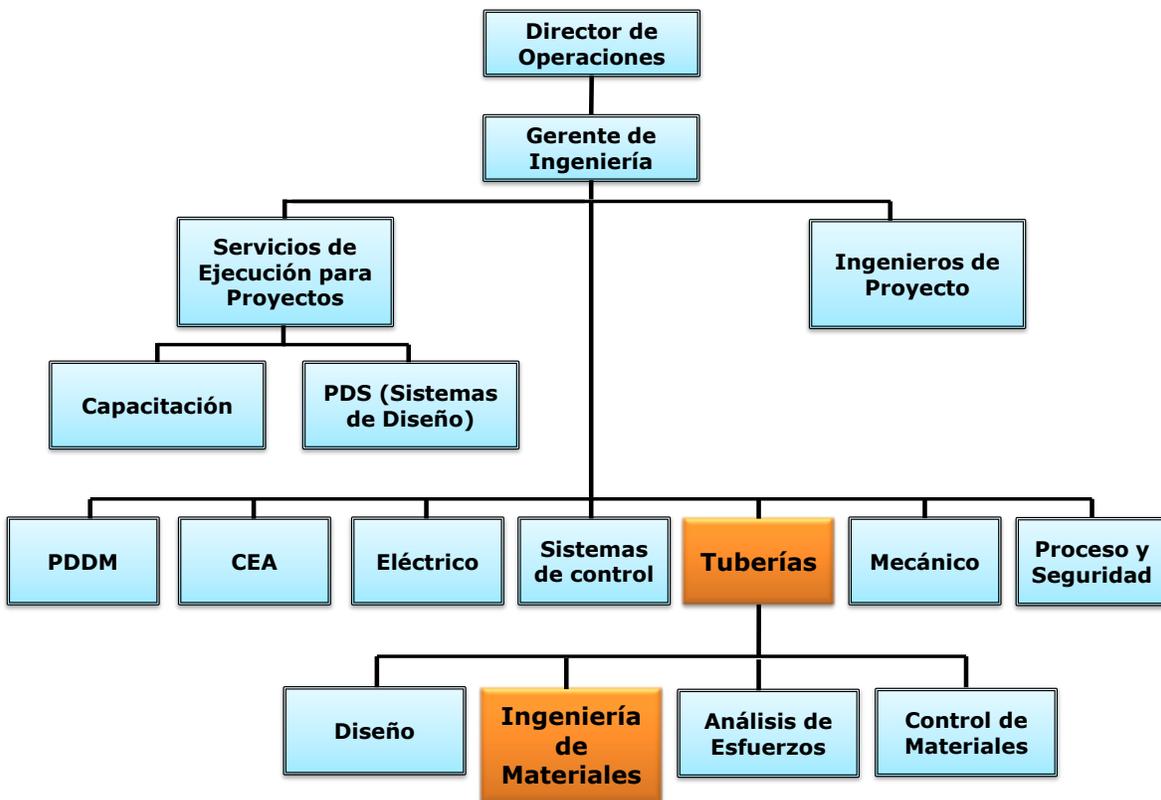


Figura 1. Organigrama de la empresa

Fuente: Elaboración Propia basada en organigramas de la empresa

La figura 1 describe el organigrama de la empresa, es importante observar que en la disciplina de tuberías se desglosan las áreas especializadas, donde se encuentra ingeniería de materiales, área donde me desarrollé como ingeniero de materiales.

### 1.3 Descripción del puesto

- Ingeniero mecánico con carrera terminada.
- Experiencia en el área metalmecánica y manejo de códigos, normas y estándares como ASME, ASTM, API, NRF y NACE.
- Inglés intermedio.
- Tiempo completo.
- Proactivo, trabajo en equipo y deseos de desarrollarse.
- Interpretación de DTI's.
- Manejo de Excel.

### 1.4 Actividades desempeñadas

- Elaboración de la lista de líneas de las tuberías de acuerdo a la última revisión de los DTI's.
- Llevar el control y asignar los números a las líneas de tuberías.
- Realizar la lista de especificaciones, la lista de servicios con sus abreviaturas, para que todas las áreas tengan un lenguaje estandarizado.
- Revisión de las especificaciones de los materiales como tubería, accesorios y válvulas, de acuerdo a la NRF-032-PEMEX-2012, ASME ó ASTM, en un catálogo ubicado en el *software Material Manager*.

## Capítulo 2. Antecedentes

### 2.1 Fases en las que se divide un proyecto

En la figura 2 se observan las seis fases en las que se divide un proyecto, es importante señalar la fase dos, porque es en donde inicia el proceso de elaboración de la lista de líneas de las tuberías, por medio de las áreas especializadas: Proceso e ingeniería de materiales.

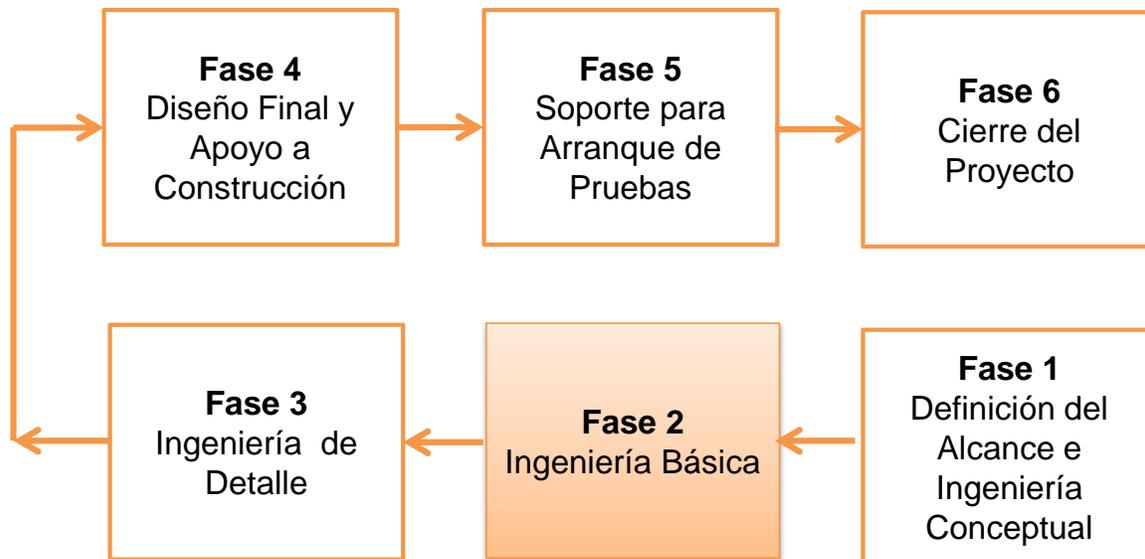


Figura 2. Fases de un proyecto

Fuente: Elaboración propia basada en las fases que se divide un proyecto.

### 2.1.1 Ingeniería básica

En la fase 2 llamada ingeniería básica es donde inicia el proceso de elaboración de la lista de líneas y se define el método que se va a utilizar.

Durante esta fase el objetivo, es incluir las condiciones de diseño y la selección de materiales. Hay tres métodos utilizados comúnmente en proyectos para realizar este trabajo:

- *En el primer método:*

La disciplina de tuberías inicia la lista de líneas y realiza una emisión interna sin datos de proceso. La disciplina de proceso adiciona los datos de proceso a la lista y la regresa para que tuberías realice la actualización.

- *En el segundo método:*

Los datos de proceso pueden ser incluidos directamente en los DTI's. La disciplina de proceso incluye los datos para cada línea (enviando los diagramas a tuberías) y la disciplina de tuberías genera la lista de líneas a partir de esta información.

- *En el tercer método:*

La lista de líneas se inicia por medio del uso de DTI's inteligentes (asociados a una base de datos). En este caso, los datos de proceso son transferidos a la disciplina de tuberías vía base de datos. La transferencia

de datos se realiza una vez que la información está lo más completa posible y no se vuelve a dar debido a que tuberías complementan la lista fuera de la base de datos (podría haber pérdida de información por sobre escritura).

El método a ser utilizado debe ser determinado antes de la reunión interna de revisión de los DTI's.

La decisión debe realizarse por los líderes de disciplina de tuberías y proceso con la aprobación del ingeniero de proyecto.

La lista de líneas puede ser preparada manualmente pero en la mayoría de los casos es utilizado el *software Smart Plant Pipe and Instrumentation Diagrams (SPP&ID)*.

En este proyecto se utilizó el primer método para la elaboración de un *master* de la lista de líneas que entre el área de proceso e ingeniería de materiales se completó, sin embargo la responsabilidad de emitir el documento de la lista de líneas es del área de ingeniería de materiales.

## 2.2 Definición de la lista de líneas

La lista de líneas es un documento que provee un método para organizar y tabular todas las líneas que se muestran en los DTI's (de proceso, servicios o distribución). La lista debe tener información y datos sobre el diseño de la tubería, la instalación en campo y las pruebas. La lista normalmente está organizada por el número de línea. Los números de línea son asignados por la disciplina de tuberías (antes de la revisión interna de los diagramas).

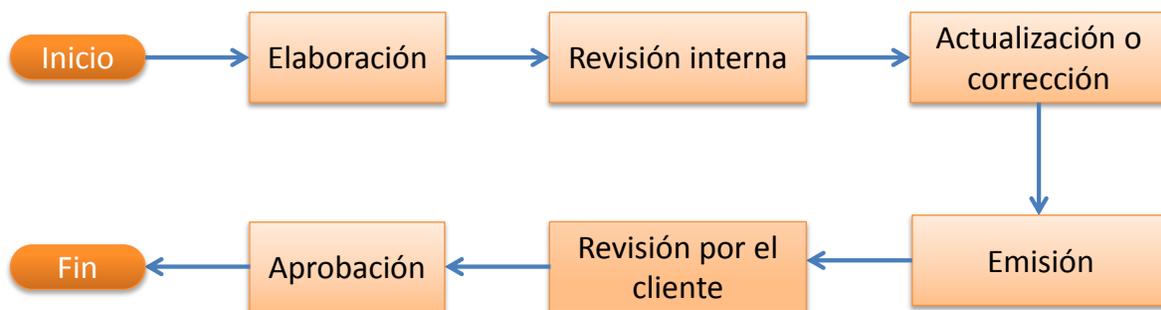


Figura 3. Diagrama de flujo de la elaboración de la lista de líneas

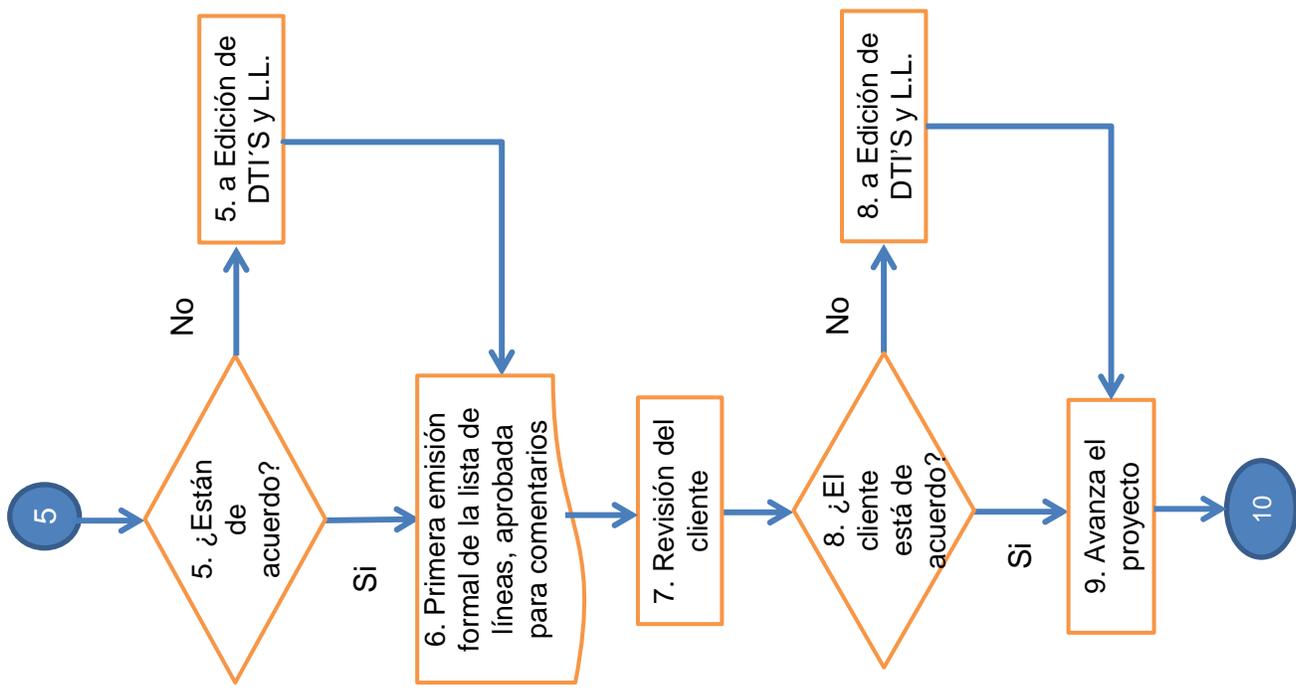
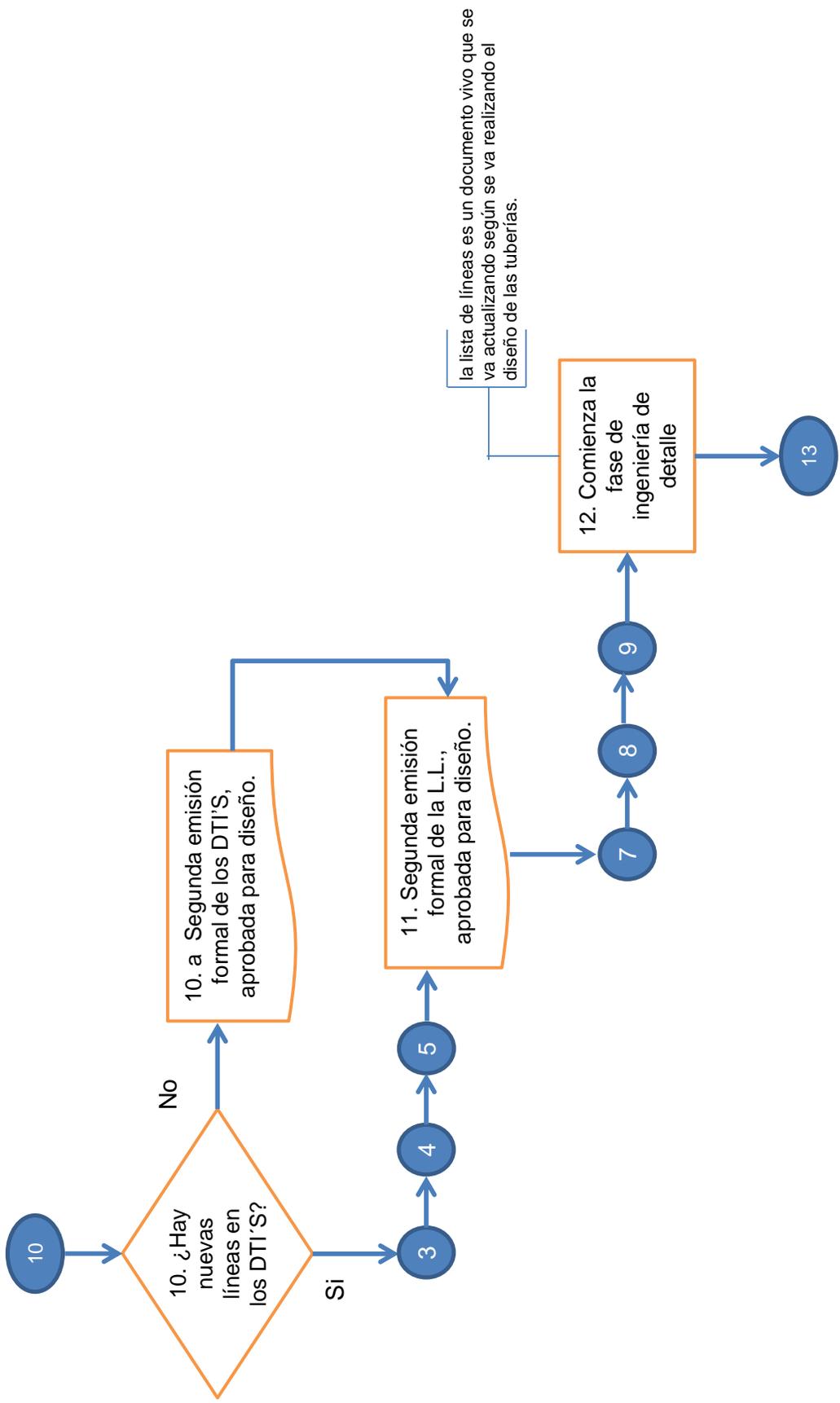
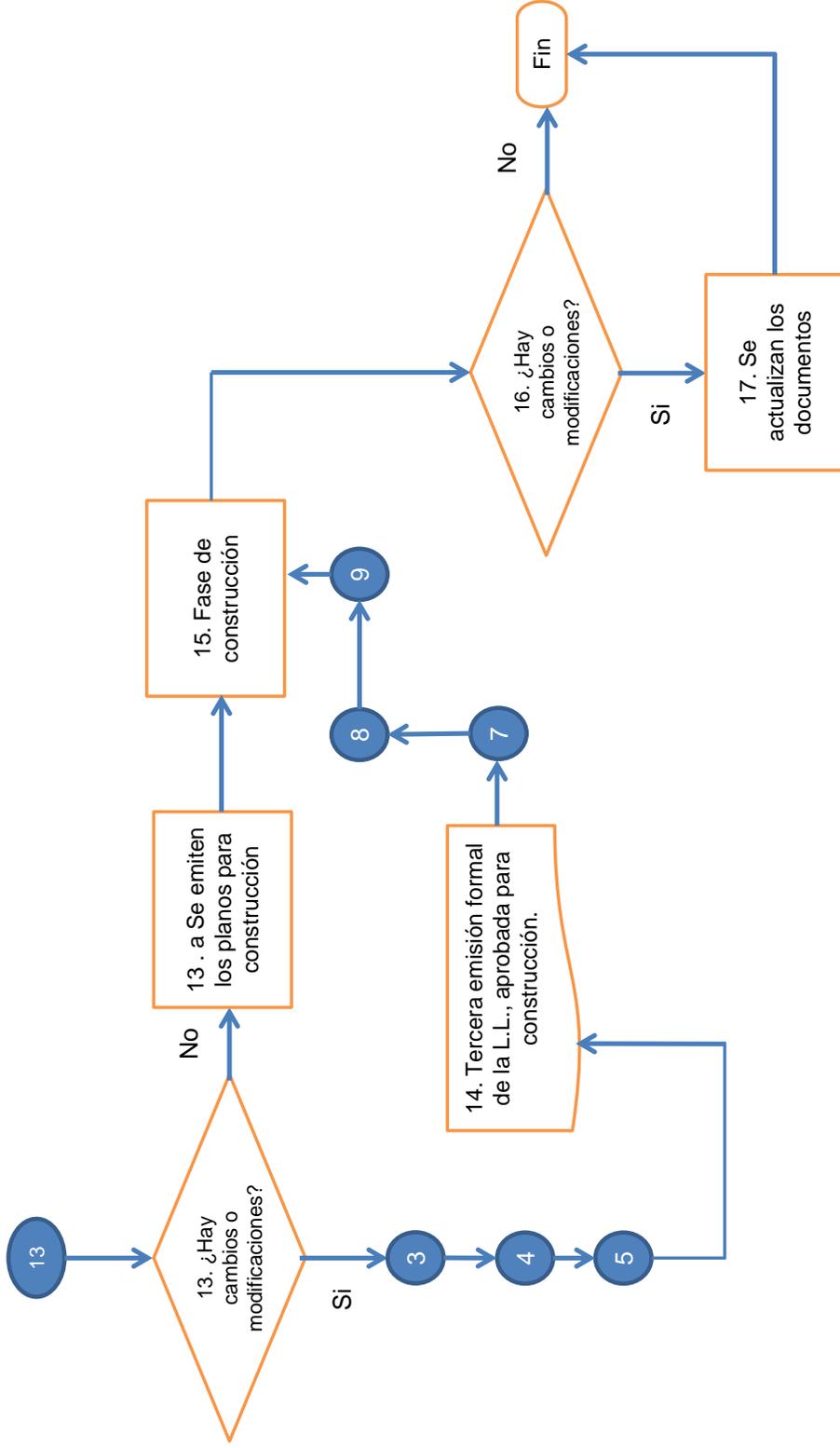


Figura 4. Diagrama de flujo de las fases de la lista de líneas Parte a)



Ídem. Parte b)



## 2.3 Partes que componen a la lista de líneas

El siguiente listado es el que se utilizó para llevar el control de las líneas de las tuberías, de acuerdo a las necesidades del cliente.

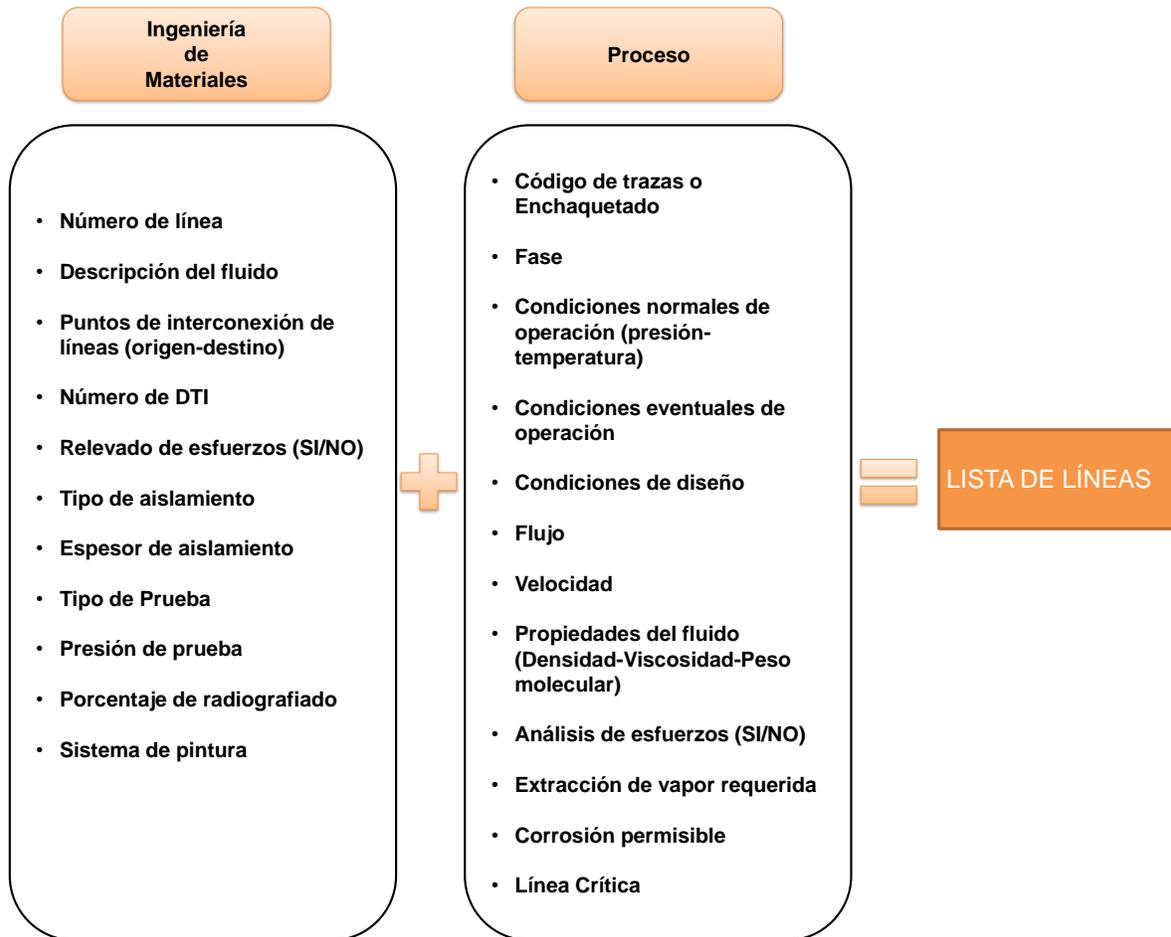


Figura 5. Partes de la lista de líneas

Fuente: Elaboración propia basada en información del formato de la lista de líneas de ICA FLUOR.

### 2.3.1 Información proporcionada por el área de proceso para la lista de líneas

La lista de líneas estándar de ICA Fluor requiere de la siguiente información que será suministrada por la disciplina de proceso:

- Condiciones de diseño, presión y temperatura.
- Condiciones de operación, presión y temperatura.

- Condiciones alternas, de arranque, de paro y de barrido con vapor, entre otras.
- Fase del fluido, vapor, líquido, sólido o mezclas.
- Densidad.
- Comentarios sobre el servicio, por ejemplo, servicio con vibración o golpe de ariete.

Algunos clientes tienen su propia lista de líneas estándar que contiene otros datos de proceso como son: flujo másico, velocidad y propiedades físicas del fluido. En este caso, la disciplina de proceso debe proporcionar estos datos (no son parte del estándar de ICA Fluor).

### **2.3.2 Datos suministrados en conjunto por el departamento de proceso y el departamento de Tuberías.**

- Servicio.
- Aislamiento.

Los datos de servicio y aislamiento deben ser indicados por los ingenieros de tuberías. Si algún dato falta, cuando el ingeniero de proceso revise la lista lo proporcionará. Los ingenieros de tuberías también pueden suministrar la fase del fluido cuando es obvia (por ejemplo líquido para agua de enfriamiento). Sin embargo, el ingeniero de proceso es responsable de revisar y completar la fase poniendo particular atención en las tuberías que contienen una mezcla de fases.

- Si el servicio no está indicado en el DTI entonces el ingeniero de proceso debe indicarlo en la lista de líneas.
  - En la mayoría de los casos, la fase del fluido se puede indicar con una “V” para vapor o una “L” para líquido.
  - Si el fluido es a dos fases se puede indicar “V/L”.
  - Si hay sólidos presentes entonces la lista de líneas debe indicar que se tiene un *slurry* (transporte neumático de sólidos en suspensión).
- Se indica el aislamiento requerido
  - Por conservación de calor “EC”.
  - Control de ruido “AC”.
  - Aislamiento de servicio frío “CC”.
  - Protección de personal “PP”.
  - Si se indica “N” es que la tubería no será aislada.

- El espesor del aislamiento
  - Éste normalmente es responsabilidad de la disciplina de tuberías.
- El trazado de tuberías es responsabilidad del ingeniero de proceso e indicar el requerimiento
  - “ST” para vapor.
  - “ET” para traza eléctrica.

La temperatura que requiere el fluido en una tubería trazada debe ser indicada por el ingeniero de proceso en la lista de líneas.

## Capítulo 3. Metodología

Descripción del proceso que siguió el ingeniero de materiales para automatizar la elaboración del documento: “Lista de líneas de tuberías” en menos tiempo y con más certeza en sus resultados.

### 3.1 Problemática a resolver y alcance

Problemática a resolver: Reducir tiempos y costos para la elaboración de la lista de líneas de tuberías.

Alcance: Automatizar el proceso de elaboración de la lista de líneas de tuberías por medio de una hoja de cálculo en Excel en el área de ingeniería de materiales.

### 3.2 Descripción del proceso

Este diagrama describe de manera general el proceso de elaboración de la lista de líneas. Para realizar el proceso, de entrada lo que se necesita es recabar información, posteriormente se elige o se hacen cálculos pertinentes, para colocar la información correspondiente para cada línea del formato *master* en Excel. Una vez que se termina el proceso de elaboración de la L.L., obtenemos a la salida el documento para emisión y aprobación por nuestro supervisor. Este documento nos permite controlar y administrar de manera ordenada las líneas de tuberías tanto internamente como con nuestros clientes, es por eso la importancia del documento.

En el diagrama también respondemos a las preguntas ¿Con qué?, ¿Cuánto?, ¿Con quién? y ¿Cómo?, estas preguntas las enfoqué a lo que se ocupamos para la elaboración del proceso de automatización.

En los siguientes capítulos describiré el proceso que seguía el área de ingeniería de materiales para la de elaboración de la lista de líneas por partes, para mostrar las bases con las que se logró la automatización.

Recordemos que en el capítulo 2.3, se indican las partes de la lista que hay que llenar.

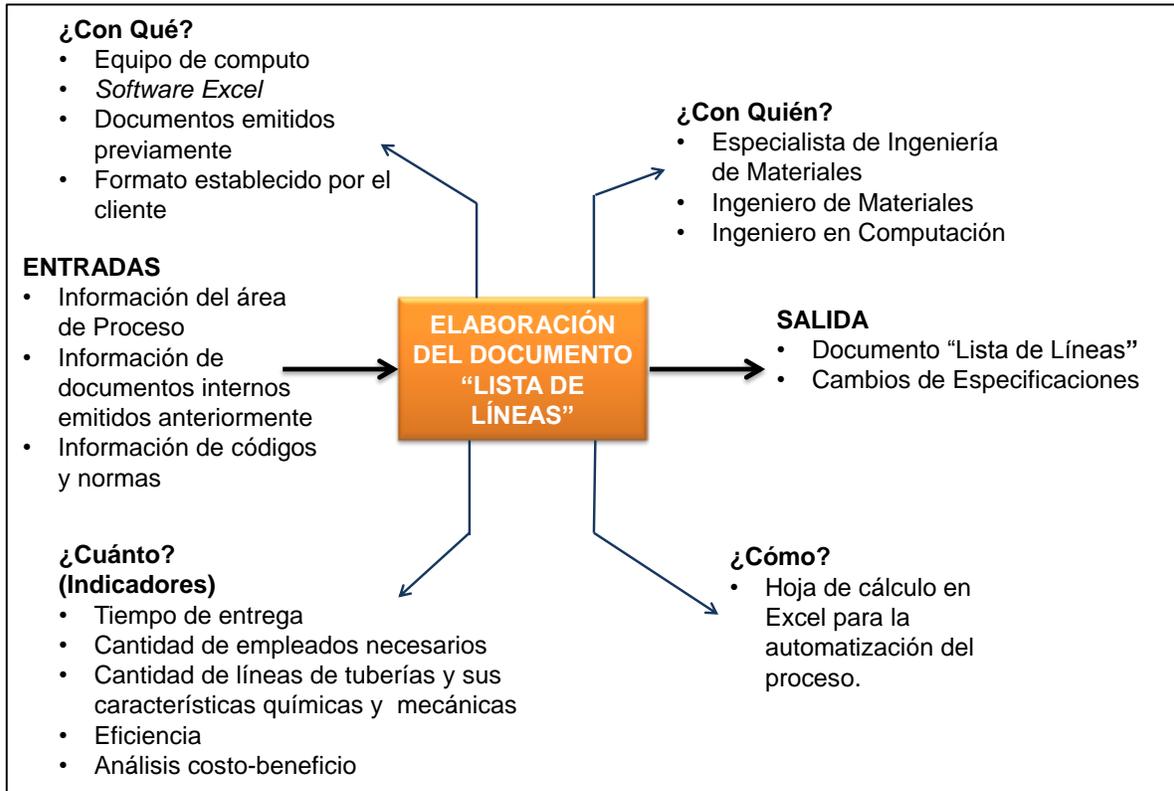


Figura 6. Diagrama del proceso para la elaboración de la lista de líneas  
Fuente: Elaboración propia basada en el análisis del proceso de la elaboración de la lista de líneas.

### 3.2.1 Número de línea

Es un código de identificación de cada línea de tubería dentro de los DTI's

XX-YYYY-ZZZZZZ-WWWWWW-JJ(TT)

XX	Diámetro de la tubería [in]
YYYY	Código del fluido
ZZZZZZ	Número de consecutivo
WWWWW	Especificación de materiales de tubería
JJ(TT)	Clasificación de aislamiento y tipo de traza

Ejemplos:

6-NCO-160006-T-B60T1-N  
8-GAS-160007-T-A04T1-N  
14-RV-160166-T-B64T1-EC

### **3.2.1.1 Nomenclatura para las especificaciones de materiales de tubería**

La nomenclatura para identificar las especificaciones de tuberías de proceso y servicios auxiliares se definen mediante los siguientes criterios:

a) Primer carácter define:

C= Instalaciones industriales costa fuera.

T= Instalaciones de plantas industriales terrestres

b) Segundo carácter define la Clase, de la siguiente forma:

A= Clase 150.

B= Clase 300.

D= Clase 600.

E= Clase 900.

F= Clase 1500.

G= Clase 2500.

c) Tercer carácter es un número consecutivo formado por dos dígitos, este carácter indica el número consecutivo de la especificación de materiales de tuberías dentro de cada clase y de acuerdo al material base. Inicia desde 01 y se incrementa progresivamente. En el caso del tecnólogo o licenciador deben iniciar a partir del 30 y las del contratista del 60.

d) Cuarto carácter define el material base formado por la letra "T" y un número:

T1= Acero al carbono.

T2= Acero de baja y media aleación.

T3= Acero inoxidable.

T4= Níquel y sus aleaciones.

T5= Titanio y sus aleaciones.

T6= Aluminio y sus aleaciones.

T7= Tántalo y sus aleaciones y otras aleaciones no ferrosas.

T8= Materiales no metálicos.

TX= Material diferente a los anteriores.

### **3.2.2 Puntos de interconexión de líneas (origen-destino)**

Los puntos de interconexión, son el número de línea de donde se origina la línea que se encuentra analizando y el número de línea del destino, es decir en donde termina la línea analizada. Para colocar estos datos se tienen que revisar los DTI's.

NÚMERO DE LÍNEA					DESCRIPCIÓN DEL FLUIDO	PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DE LÍNEAS		NÚMERO DE DTI
DIÁMETRO in	CÓDIGO DE FLUIDO	NÚMERO SECUENCIAL	ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍA	CÓDIGO DE AISLAMIENTO		ORIGEN	DESTINO	
8	NAP	16000	T-B61T1	N	NAFTA PRIMARIA	10"-P-10137-T-61T1-N	6"-NA-610003-B2A1-N	ART-02-616-A-DT-4004
6	NAP	160001	T-B61T1	N	NAFTA PRIMARIA - LINEA DE ARRANQUE	8"-NAP-16000-T-B61T1-N	PLANTA DE ALQUILACION TREN 2	ART-02-616-A-DT-4004
6	ALQ	160002	T-A05T1	N	ALQUILADO- LINEA DE ARRANQUE	6"-P-8601-T1B	PLANTA DE ALQUILACION TREN 2	ART-02-616-A-DT-4004

Figura 7. Puntos de interconexión de líneas

Fuente: Formato del índice de líneas de tuberías de ICA FLUOR

### 3.2.3 Relevado de esfuerzos (SÍ/NO)

El relevado de esfuerzos nos indica si llevará o no tratamiento térmico posteriores en las soldaduras de la tubería, esto depende de la especificación de la tubería. Previamente se elabora un documento llamado lista de especificaciones donde se indican tres posibles casos:

Tratamiento Térmico	Relevado de esfuerzos (SÍ/NO)	Descripción
N.A.	NO	No aplica.
SÍ NACE (MR0103)	SÍ	Todas las tuberías llevan tratamiento térmico.
SÍ (De acuerdo al ASME B31.3)	SÍ Ó NO	Llevarán tratamiento térmico las tuberías que su espesor sea mayor a ¾ in.

Cuadro 1. Relevado de esfuerzos

Este es el análisis de las posibles respuestas que pueden aparecer dentro de la columna de "Relevado de esfuerzos" de la lista de líneas, como podemos darnos cuenta en el primer y segundo caso solo tenemos una respuesta, pero en el tercero depende del espesor de la tubería, la condición nos indica que llevarán tratamiento térmico las tuberías que tengan un espesor a ¾ [in] de acuerdo al *standard ASME B31.3*. Para aliviar tensiones residuales, la disminución de la dureza y mejora la resistencia a la corrosión bajo tensión.

Por ejemplo: si se tiene la siguiente línea

### **8-DIA-160053-T-A60T1-N**

a) Tenemos que revisar el índice de especificaciones, donde nos indica que la especificación T-A60T1 llevara tratamiento térmico de acuerdo al código *ASME standard B31.3* y que el diámetro nominal de 8 [in] tiene un espesor que corresponde a una cédula *STD* y el material es un acero al carbono SA-106 grado B.

b) Posteriormente se tiene que revisar “*Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*” del código *ASME standard B36.10*. Para entrar a buscar en estas tablas necesitamos el diámetro y espesor, y obtenemos que con estos datos en una cédula *STD* en un diámetro nominal de 8 in, el espesor es de 0.322 [in].

Así que esta línea de tubería no llevará tratamiento térmico, por lo que en la columna de relevado de esfuerzos en el L.L. debe de decir “NO”.

Es un proceso largo tenemos que consultar al mismo tiempo tres documentos diferentes; la L.L., el índice de especificaciones y el código *ASME standard B36.10*, para cada línea, y existe una L.L. para cada planta dentro del proyecto y cada documento consta de alrededor de 1000 líneas.

Para resolver el problema, se generó la tabla de radiografiado y tratamiento térmico mostrado en el anexo a donde se listan todas la especificaciones del proyecto, se describen los posibles casos con o sin tratamiento térmico. También aparece el porcentaje de radiografiado, dato que se tiene que colocar en otra columna del índice. Cabe aclarar que existe un índice de especificaciones para cada planta dentro de un proyecto, así que la cantidad de especificaciones puede variar.

#### **3.2.4 Tipo de aislamiento**

El ingeniero especialista en materiales basándose en información proporcionada por los proveedores previamente aceptados por nuestro cliente y con base en norma *ASTM C547* Tipo II de 128 [kg/cm<sup>3</sup>] en preformado y norma *ASTM C592* Tipo II de 144 [kg/cm<sup>3</sup>] en colcha se definió el tipo de aislamiento y su espesor, para cuando tuviéramos la condición de conservación de calor (EC).

Código de Aislamiento	Tipo de Aislamiento	Descripción
N	N.A.	No lleva aislamiento.
PP	PLACA PERFORADA	Lleva una lámina y esta separada de la superficie caliente (periferia del tubo) cuando menos 127[mm] (5 [in]) de acuerdo a 8.4.9 protección personal de la NRF-034-PEMEX-2011.
EC	LANA DE ROCA PREFORMADA	$\theta \leq 6$ , las líneas de tuberías que tengan su diámetro menor o igual a 6 in, llevaran el aislamiento de lana de roca preformada.
	LANA DE ROCA COLCHA	$\theta > 6$ , las líneas de tuberías que tengan su diámetro mayor a 6 [in], llevaran el aislamiento de lana de roca de colcha.

Cuadro 2. Tipo de Aislamiento

### 3.2.5 Espesor de aislamiento

En este cuadro mostramos las posibles respuestas que pueda tener la columna de espesor de aislamiento ya sea de placa perforada, de lana de roca preformada o lana de roca colcha. Para determinar el espesor del aislamiento de lana de roca preformada y de colcha se tiene que revisar la Tabla de Aislamientos, mostrada en el anexo b.

Código de Aislamiento	Espesor de Aislamiento	Descripción
N	N.A.	No lleva aislamiento.
PP	NOTA 4	Lleva una lámina debe estar separada de la superficie caliente (periferia del tubo) cuando menos 127[mm] (5 [in]) de acuerdo a 8.4.9 protección personal de la NRF-034-PEMEX-2011.
EC	CANTIDAD DEL ESPESOR EN MM	Se elige apartir de la tabla 2. Espesor de aislamientos, de acuerdo al diámetro y la temperatura normal de operación.

Cuadro 3. Espesor de Aislamiento

### 3.2.6 Tipos de Pruebas

En el siguiente cuadro podemos observar que tipo de prueba corresponde a los diferentes servicios, *Commodity Test* se utiliza para todos los aires, LT se utiliza para las tuberías enterradas de drenajes, la neumática se utiliza para todos los desfuegos y la hidrostática para el resto de los servicios.

Prueba	Descripción	Servicios
<i>Commodity Test</i>	Esta prueba se realiza a la presión de operación y con el fluido de la línea.	*Aire de Instrumentos (AI) *Aire de Respiración (ARS) *Aire de Planta (AP)
Hermeticidad (LT)	Esta prueba se realiza con agua a 0.5 [Bar] a temperatura ambiente, se requiere para verificar fugas en tubería enterrada, donde el fluido corre por gravedad y no operará bajo presión.	*Drenaje Aceitoso Abierto (DAA) *Drenaje Aceitoso Cerrado (DAC) *Drenaje de Amina (DDA) *Drenaje Cerrado (DC)
Neumática	Esta prueba se le realiza con aire para las tuberías de los desfuegos y se utiliza la siguiente relación para calcular la presión de prueba: <b><math>P_n = P_d \times 1.1 (S@T_{amb}/S@T_d)</math></b>	*Desfogue de Baja Presión (DBP) *Desfogue de Alta Presión (DAP) *Desfogue Ácido (DA)
Hidrostática	Esta prueba se realiza con agua al resto de las tuberías y se utiliza la siguiente relación para calcular la presión de prueba: <b><math>P_h = P_d \times 1.5 (S@T_{amb}/S@T_d)</math></b>	* Todos los demás servicios

Cuadro 4. Tipos de Pruebas

Para colocar el tipo de prueba en cada línea del documento en Excel, se realizó un filtro por servicios y se indicó la prueba correspondiente.

### 3.2.7 Presión de prueba

En este apartado se tiene que colocar la presión en [kg/cm<sup>2</sup>] para cada línea. Como se mencionó en el cuadro 4, para la prueba *Commodity Test* se utilizará la presión de operación de la línea correspondiente, para las líneas que sean sometidas a la prueba *LT* la presión será 0.509 [kg/cm<sup>2</sup>], mientras que donde se

presente la prueba neumática o hidrostática se tendrán que aplicar las relaciones que a continuación desarrollaremos de acuerdo al código *ASME standard B31.3*.

### Cálculo de la Presión Hidrostática

$$Ph = Pd \times 1.5 (S@Tamb/S@Td)$$

Donde:

Ph= Presión hidrostática

Pd= Presión de diseño

S@Tamb= Esfuerzo del material a temperatura ambiente

S@Td= Esfuerzo del material a temperatura de diseño

Ejemplo:

Tenemos la línea *6-VA-160449-T-E01T2*

Es una línea que de acuerdo a su especificación podemos saber el material es un acero al carbono aleado A335 P11 (11/4Cr–1/2Mo) y es de clase 900. Y en la lista de líneas nos indica el área de proceso la temperatura y la presión de diseño

$$Pd = 66.8 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$Td = 510 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Para determinar los esfuerzos tenemos que revisar las tablas; *Table A-1M Basic Allowable Stresses in Tension for Metals* que se encuentran en el código *ASME standard B31.3*. Ubicamos el material y con la temperatura de diseño y la ambiente buscamos el esfuerzo que corresponda.

$$S@Tamb = 138 \text{ [MPa]}$$

Y como no encontramos el esfuerzo exacto que corresponda a 510 [°C], lo que tenemos que hacer es interpolar, para determinar su valor.

T[°C]	S[MPa]
500	73.7
510	S@Td
525	52

$$S@Td = 73.7 + \frac{510-500}{525-500} (52-73.7) = 65.02 \text{ [MPa]}$$

Ahora tenemos todos los datos para sustituir en la fórmula de la presión hidrostática

$$Ph = 66.8 \text{ [kg/cm}^2\text{]} \times 1.5(138 \text{ [MPa]} / 65.02 \text{ [MPa]})$$

$$\mathbf{Ph = 212.67 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}$$

Pero para indicar que se puede utilizar esta presión de prueba tenemos que revisar que no exceda el rating de las bridas, revisando para este material *Table*

2-1.9 *Pressure–Temperature Ratings for Group 1.9 Materials* del código *ASME standard B16.5*.

Para entrar a la tabla y buscar el valor, lo hacemos con la temperatura ambiente y con la clase 900.

$$P_{\text{brida}}=155.1 \text{ [Bar]}$$

$$P_{\text{brida}}=155.1 \times 1.09= 169.059 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$P_{\text{max}}=169.059 \times 1.5= \mathbf{253.59 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}$$

La conclusión es que si se puede utilizar la presión de prueba calculada porque no rebasara la presión que soportan las bridas a condiciones de diseño.

Para el *Cálculo de la Presión Neumática* es el mismo procedimiento, solo se diferencia porque en la fórmula en lugar de multiplicar el factor de 1.5, se hace por el factor de 1.1.

Como podrán darse cuenta es un procedimiento bastante largo y se complica más si tienes cientos de líneas que tengan el tipo de prueba hidrostática o neumática.

Para automatizar este cálculo de la prueba hidrostática se utilizó la siguiente información:

- Presión de diseño
- Temperatura de diseño
- Especificación
- Diámetro
- Tablas de Temperatura (T)- esfuerzo (S) de los posibles materiales a usar.

Además para verificar que ninguna presión calculada supere la presión máxima que podrían soportar las bridas en condiciones de diseño, se agregó una hoja en excel donde se colocó la tabla de Presión (P)- Temperatura (T) de la bridas de acuerdo con el código *ASME standard B16.5* y otra tabla donde se hiciera el cálculo de la presión máxima de diseño.

También dentro de la L.L. se agregó una columna donde la siguiente fórmula hiciera la comparación de las presiones:

Condición	Comparación	Descripción
Si la Presión calculada < Presión máxima	CALCULAR P	Si aparece esta respuesta en nuestra celda quiere decir que no hay ningún problema con la presión que se cálculo y puede ser usada para las pruebas.
Si la Presión calculada >= Presión máxima	USAR : XX	Si aparece la frase USAR: y un número, quiere decir que la presión calculada es igual o incluso puede rebasar a la presión máxima y el número que nos arrojará es la presión máxima.

Cuadro 5. Comparación de Presiones

### 3.2.8 Porcentaje de radiografiado

Para colocar el porcentaje de radiografiado que lleva cada línea de tubería, depende de la especificación, así que se revisa el documento de Índice de Especificaciones.

Pero para seguir con nuestro proceso de automatización se usó una búsqueda en nuestra tabla de radiografiado y tratamiento térmico (anexo a), donde previamente se realizó el compendio de las especificaciones con sus porcentajes de radiografiado.

### 3.2.9 Sistema de pintura

El sistema de pintura es un sistema de recubrimientos anticorrosivos, para colocar el adecuado para cada línea, se tiene que revisar el documento interno de “Especificación técnica del sistema de recubrimiento anticorrosivo para instalaciones superficiales y tubería subterránea” previamente generado por el área de ingeniería de materiales.

En base a ese documento elaboré el siguiente cuadro:

SISTEMA DE PINTURA	T1 [°C]	T2 [°C]	AISLAMIENTO	CODIGOS DE AISLAMIENTO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL
3	0	93	SIN	N, PP	ACERO AL CARBONO
8	93	260	SIN	N, PP	ACERO AL CARBONO
9	260	560	SIN	N, PP	ACERO AL CARBONO
3	0	93	SIN	N, PP	ACERO DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN-GR. P11, P5 Y P9
8	93	260	SIN	N, PP	ACERO DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN-GR. P11, P5 Y P9
9	260	560	SIN	N, PP	ACERO DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN-GR. P11, P5 Y P9
CS-4	0	205	CON	EC	ACERO AL CARBONO CON AISLAMIENTO
CS-8	205	400	CON	EC	ACERO AL CARBONO CON AISLAMIENTO
SS-3	0	205	CON	EC	ACERO INOX. CON AISLAMIENTO
SS-4	205	540	CON	EC	ACERO INOX. CON AISLAMIENTO
19	0	95	SIN	N, PP	ACERO AL CARBONO GALVANIZADO
21	0	400	CON	EC	ACERO DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN-GR. P11, P5 Y P9 O
9	400	560	CON	EC	ACERO DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN-GR. P11, P5 Y P9

Cuadro 6. Sistemas de Pintura

El cual permite elegir automáticamente el sistema de pintura de cada línea, con excepción de las tuberías enterradas que tienen sistema 4.

## Capítulo 4. Análisis de Resultados

Como se puede observar en la tabla 1 y gráficas 1 y 2, la automatización del proceso redujo el tiempo y el personal para la elaboración de la lista de líneas.

Anteriormente se necesitaban cuatro ingenieros de materiales para realizar el proceso y lo hacían en 16 semanas más de las predispuestas, actualmente lo puede hacer un ingeniero de materiales en una semana, que serían siete semanas menos de las predispuestas. Hablamos de que se realizó el proceso para 1000 líneas, sin embargo se puede realizar para más.

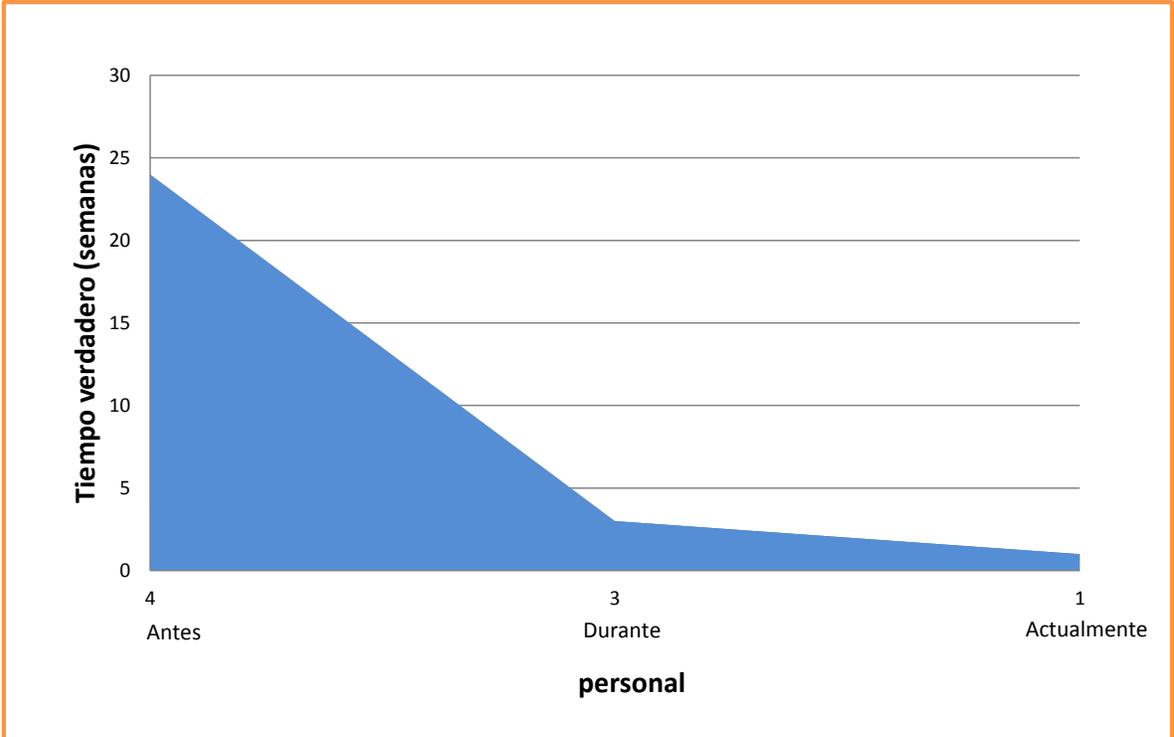
Para hacer posible el proceso de automatización se necesitaron tres personas; un especialista de materiales, un ingeniero en computación y un ingeniero de materiales, los cuales realizaron el proceso en tres semanas.

En las tres semanas el ingeniero de materiales realizó el análisis del proceso aprovechando los conocimientos del especialista que lo apoyó, y al mismo tiempo fue generando la hoja de cálculo en compañía de un ingeniero en computación.

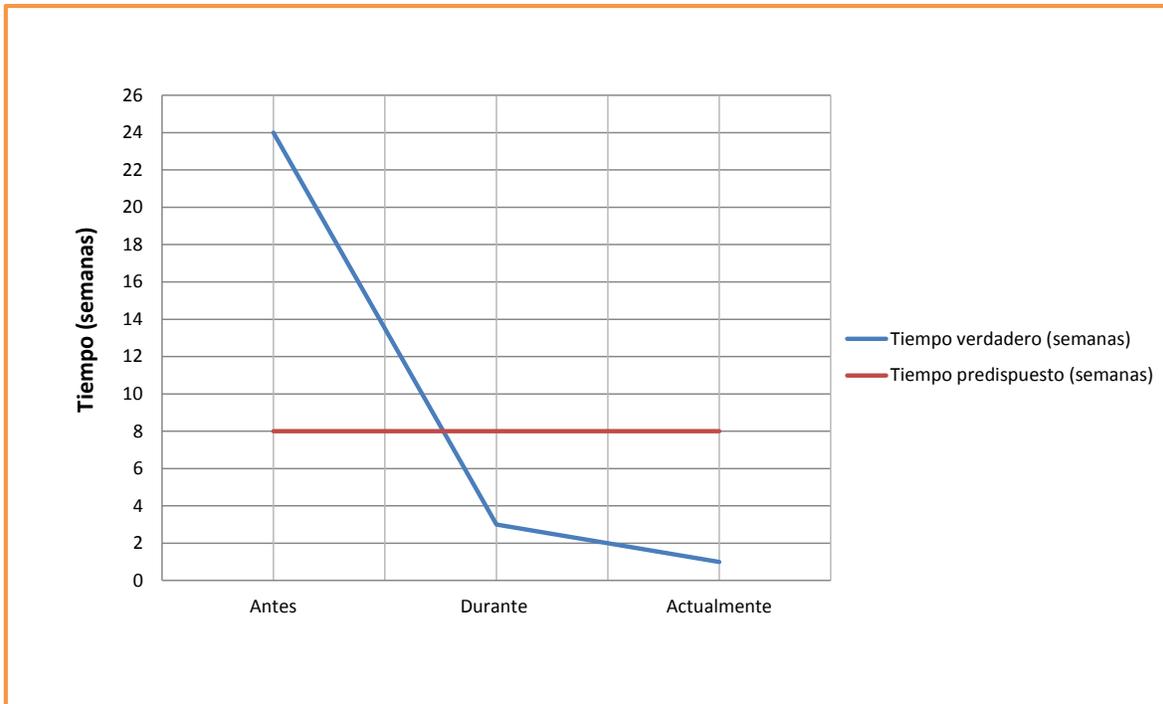
En la gráfica 2, podemos observar que el tiempo predispuesto no se cumple en ningún caso, pero actualmente el tiempo verdadero es sólo el 12.5% del tiempo predispuesto.

	Personal	Tiempo verdadero (semanas)	Tiempo predispuesto (semanas)
Anteriormente	4	24	8
Durante	3	3	8
Actualmente	1	1	8

Tabla 1. Tabla de análisis de datos



Gráfica 1. Gráfica de personal vs tiempo para la elaboración de una lista de 1000 líneas.



Gráfica 2. Gráfica del tiempo verdadero y el predispuesto

## Capítulo 5. Conclusiones

Se logró reducir tiempos y costos para la elaboración de la lista de líneas de tuberías, automatizando el proceso, en una hoja de cálculo en Excel por área de ingeniería de materiales.

De acuerdo con el análisis de resultados, anteriormente el proceso lo realizaban cuatro personas, ahora lo puede realizar una persona y con mayor certeza.

Cuando interactuaban varias personas se podían cometer errores de distracción o de configuración al momento de juntar los archivos para unificar.

Actualmente con la hoja de cálculo se trabaja en un mismo archivo y el procedimiento a seguir para el llenado de la primera línea, será el mismo en automático para las demás líneas, pueden ser n- cantidad de líneas.

Otra ventaja es que el ingeniero a cargo podrá darse cuenta si alguna especificación está mal utilizada ó si la presión de prueba rebasa el límite de deformación elástica del material.

Para verificar que no hay errores en la lista de líneas, el especialista de materiales la revisa, tomando líneas al azar y verificándolas manualmente, al igual que lo hará después el supervisor del proyecto y finalmente el cliente. Una vez que el

cliente ha autorizado la lista de líneas quiere decir que nuestro proceso esta automatizado adecuadamente.

La automatización respeta el proceso que se seguía inicialmente, quiere decir que los resultados obtenidos son los mismos en ambos procedimientos, pero ahora más rápido, más barato y con menos errores.

Es importante aclarar que el proceso de elaboración de la lista de líneas se realiza de acuerdo a las normas, códigos y estándares de calidad solicitados por el cliente, en este caso las *NRF's*, *ASME* y *NACE*.

### Referencias Bibliográficas

- NRF-032-PEMEX-2012 Sistemas de tubería en plantas industriales – diseño y especificaciones de materiales.
- NRF-034-PEMEX-2011 Aislamientos térmicos para altas temperaturas en equipos, recipientes y tubería superficial.
- NRF-035-PEMEX-2012 Sistemas de tubería en plantas industriales - instalación y pruebas.
- NRF-004-PEMEX-2011 Protección con recubrimientos anticorrosivos a instalaciones superficiales de ductos.
- ASME B31.3-2014 Process Piping.
- ASME B16.5-2013 Pipe Flanges and Flanged Fittings - NPS 1/2 Through NPS 24 Metric/Inch Standard.
- ASME B36.10M-2015 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.
- NACE MR0103-2015, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - - Metallic materials resistant to sulfide stress cracking in corrosive petroleum refining environments.
- Academia.edu. (2016). CODIGOS, NORMAS Y ESPECIFICACIONES. [online] Available at: [http://www.academia.edu/8489344/CODIGOS\\_NORMAS\\_Y\\_ESPECIFICACIONES](http://www.academia.edu/8489344/CODIGOS_NORMAS_Y_ESPECIFICACIONES) [Accessed 18 Nov. 2016].
- Anon, (2016). [online] Available at: <http://ocw.unican.es/historico-de-cursos/como-buscar-informacion-en-electronica-y/como-buscar-informacion-en-electronica-y-comunicaciones/pdf/03.pdf> [Accessed 18 Nov. 2016].

## Anexos

### Anexo a) Tabla de Radiografiado y Tratamiento térmico

% RADIOGRAFIADO	TRATAMIENTO TÉRMICO	Notas	D1	D2
5%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
20%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI (NACE MR0103)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
5%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI Todas las Soldaduras (NACE SP0472 Y API RP 945)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
20%	SI (NACE MR0103)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
5%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI (NACE)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
20%	SI (De acuerdo al ASME B31.3)	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al NACE MR0103 Y ASME B31.3)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
20%	SI (De acuerdo al ASME B31.3)	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al NACE MR0103 Y ASME B31.3)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
20%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
5%	N.A.	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
20%	SI (De acuerdo al ASME B31.3)	El rango especificado lleva T.T.	35.9	150
33%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al NACE MR0103 Y ASME B31.3)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
20%	SI (De acuerdo al ASME B31.3)	El rango especificado lleva T.T.	19.9	150
33%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al NACE MR0103 Y API RP 945)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
100%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al ASME B31.3)	Ningún diámetro lleva T.T.	0	0.01
33%	SI Todas las Soldaduras (De acuerdo al NACE MR0103 Y API RP 945)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
33%	SI (NACE MR0103)	Todos los diámetros llevan T.T.	-1	150
50%	SI (De acuerdo al ASME B31.3)	El rango especificado lleva T.T.	15.9	150
100%	SI Todas las Soldaduras (ASME B31.3)	El rango especificado lleva T.T.	9.9	150

Elaboración basada en el documento de la lista de especificaciones de la NRF-032-PEMEX-2012, ASME B31.3 y ASME B31.10M-2015.



## **Glosario**

**Aislamiento térmico:** Es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican a un elemento o a un espacio calientes para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

**Clase:** Designación adicional para la clasificación de componentes de tubería, que relaciona un rango de presión-temperatura con base a las propiedades mecánicas de los materiales, así como dimensiones necesarias para acoplamiento entre componentes de tubería; en sistema de unidades americano o inglés.

**Código:** Es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.

**Especificación de Materiales de Tubería:** Documento que establece el conjunto de componentes de tubería, sus materiales, clase, características y requerimientos constructivos para el manejo de un servicio o servicios dentro de un rango de operación determinado (presión –temperatura).

**Inspección radiográfica ó radiografiado:** Uso de rayos X y/o radiaciones nucleares, para detectar las discontinuidades en el material y presentar sus imágenes en un medio de registro.

**Nominal:** Es una identificación numérica para dimensiones, capacidades, esfuerzos, clases u otras características que se utilizan como una propiedad, no como una medida exacta.

**Norma:** Es un documento de aplicación voluntaria que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico. Las normas son el resultado del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad que es objeto de ella. Además deben de ser aprobadas por un organismo normalizador reconocido

**Presión de prueba hidrostática:** Valor de la presión manométrica a la que se somete internamente una tubería o equipo, cuya magnitud debe ser en cualquier punto de la tubería o equipo, sin exceder el esfuerzo de cedencia del material a la temperatura de prueba.

**Prueba hidrostática:** Ensayo de presión que se realiza a tuberías, sistemas de tuberías, recipientes y equipos para verificar su hermeticidad, confirmar su integridad mecánica y avalar que estén en condiciones seguras de operación.

**Prueba neumática:** Es un procedimiento que utiliza la presión del aire para testear las tuberías de fuga.

Relevado de esfuerzos: Calentamiento de una pieza metálica hasta una temperatura por debajo de la temperatura de transformación, que se debe mantener constante por un cierto tiempo, seguido por enfriamiento a velocidad controlada, con el fin de reducir los esfuerzos internos sin modificar substancialmente la estructura del metal.

Tratamiento térmico: Combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, por tiempos determinados y aplicados a un metal, se debe efectuar de tal manera que se produzcan las propiedades deseadas.

AC	Control de ruido
API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
CC	Aislamiento de servicio frío
CEA	Civil Estructural y Arquitectura
DTI'S	Diagrama de Tuberías e Instrumentación
EC	Conservación de calor
ET	Traza eléctrica
L	Fase líquida
L.L.	Lista de líneas
LT	Prueba de hermeticidad
N	Tubería no aislada
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NRF	Normas de Referencia Federal
Pbrida	Presión de las bridas
Pd	Presión de diseño
PDDM	Project Document and Data Management System
PDS	Sistemas de diseño 3D
Ph	Presión hidrostática
Pmax	Presión máxima de brida
Pn	Presión neumática
PP	Protección personal
SPP&ID	Software Smart Plant Pipe and Instrumentation Diagrams
ST	Traza de vapor
STD	Espesor estándar
Tamb	Temperatura ambiente
Td	Temperatura de diseño
V	Fase vapor
V/L	Líquido/Vapor
S@Tamb	Esfuerzo del material a temperatura ambiente
S@Tdiseño	Esfuerzo del material a temperatura de diseño

## Nomenclatura

<b>Dimensiones</b>	<b>Unidades</b>
Diámetro	in
Presión (P)	kg/cm <sup>2</sup> ó Bar
Temperatura (T)	°C
Espesor de aislamiento	mm
Espesor de tuberías	in
Esfuerzo	MPa