

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DEFECTOS DE MANERA SISTEMATIZADA,
BASADOS EN LA NORMA API RP 579 FITNESS FOR SERVICE**

LAURA MARCELA DELGADO ESPEJO

LICETH TERESA RUEDA GÓMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES

BUCARAMANGA

2013

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DEFECTOS DE MANERA SISTEMATIZADA,
BASADOS EN LA NORMA API RP 579 FITNESS FOR SERVICE**

LAURA MARCELA DELGADO ESPEJO

LICETH TERESA RUEDA GOMEZ

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO METALÚRGICO**

Director

IVAN URIBE PEREZ

MSC.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES

BUCARAMANGA

2013

Dedico este trabajo de manera muy especial a mis padres quienes han sido mi apoyo incondicional, su sabiduría y paciencia fueron de gran ayuda en el camino hacia este logro.

A mis tíos Daniel y Myriam por sus enseñanzas, consejos que fueron muy importantes en los momentos más difíciles.

A Díomel Bermudez Hurtado (QEPD) por su apoyo, sencillez, amor e incondicionalidad; que fueron indispensables para el inicio de este sueño que hoy es una realidad.

A la flaca quien me ha ofrecido la amistad más sincera y bonita que haya podido tener.

A Leidy a quien doy gracias por su comprensión, cariño y apoyo.

A mis amigos y compañeros: Laurita, Anderson, Juan, Alex, Camila, Jose, Johana, Mel, Maye, Carlitos, Jeep, Neil, Víctor, Claudia Patricia Ortega; quienes alegraron mis días y dejaron mil anécdotas en mi memoria.

Laura

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo General	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. CONCEPTOS TEÓRICOS	17
3.1 Aptitud para el Servicio API-579	17
3.2 Evaluaciones establecidas.....	18
3.2.1 Evaluación de Fractura Frágil	19
3.2.2 Pérdida de Metal General	20
3.2.3 Pérdida de Metal Localizada	21
3.2.4 Corrosión por Picado	21
3.2.5 Daños por Hidrogeno	22
3.2.6 Desalineación de soldadura y distorsiones de pared.....	23
3.2.7 Grietas	24
3.2.8 Daños por Creep y operaciones a altas temperaturas	25
3.2.9 Daños por Fuego	26
3.2.10 Abolladuras y hendiduras.....	27
3.2.11 Laminaciones.....	27
3.3 Metodología de Evaluación.....	27
3.4 Niveles de Aceptación	29
4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE	32
5. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	36
5.1 Instalación del software.....	36
5.2 Ingreso al software.....	37
5.3 Requerimientos de Usuario.....	38

5.4	Descripción de las Secciones	38
5.4.1	Pérdida de Metal General	39
6.	EVALUACIÓN DEL SOFTWARE	48
6.1	Base de datos	55
7.	CONCLUSIONES	56
8.	RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ventana principal de Matlab.....	32
Figura 2. Creación de una Interfaz Grafica	33
Figura 3. Nueva Interfaz Grafica	33
Figura 4. Interfaces gráficas Diseñadas.....	34
Figura 5. Programación de interfaces	35
Figura 6. Ventana principal de Matlab.....	36
Figura 7. Ventana de inicio	37
Figura 8. Ventana de Secciones	38
Figura 9. Ventana Principal para la evaluación de pérdida de metal general. .	39
Figura 10. Barra de elección de tipo de equipo.....	40
Figura 11. Barra de elección de tipo de componente.....	40
Figura 12. Barra de elección de tipo de cabeza.....	41
Figura 13. Barra de elección de tipo de Presión.	41
Figura 14. Ventana de Advertencia.....	41
Figura 15. Datos iniciales	42
Figura 16. Panel de datos adicionales	42
Figura 17. Elección de tipo de datos.....	43
Figura 18. Datos de espesor por puntos.....	43
Figura 19. Ventana calcular.....	44
Figura 20. Herramienta para calcular el espesor promedio.....	44
Figura 21. Datos de perfiles de espesor.....	45
Figura 22. Panel de Resultados.....	46
Figura 23. Botón criterios nivel 1.....	46
Figura 24. Barra de resultados criterios nivel 1.....	47
Figura 25. Botón criterios nivel 2.....	47
Figura 26. Datos Recipiente.....	48
Figura 27. Zona de Identificación en el software.....	48
Figura 28. Digitación de datos básicos en el software.....	49
Figura 29. Tipo de datos.....	49
Figura 30. Datos y cálculos espesor.....	50
Figura 31. Calcular Tam en el software.....	51
Figura 32. Calculo COV.....	51
Figura 33. Resultados software.....	52
Figura 34. Resultados Nivel 1.....	52
Figura 35. Resultados Software Nivel 2.....	53
Figura 36. Zona de Identificación indicando presión externa.....	53
Figura 37. Datos Evaluación.....	54
Figura 38. MAWP.....	55
Figura 39. Criterios presión externa.....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mecanismos de daño.....	18
-----------------------------------------	-----------

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual de usuario software.....	59
Anexo B. Tabla de Criterios de Aceptación.....	110

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DEFECTOS DE MANERA SISTEMATIZADA, BASADOS EN LA NORMA API RP 579 FITNESS FOR SERVICE*

AUTORES: LAURA MARCELA DELGADO ESPEJO
LICETH TERESA RUEDA GÓMEZ**

PALABRAS CLAVES: Norma API 579, Integridad Estructural, Mecanismos de Daño, Métodos de Evaluación, Guide.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objeto crear un software en la plataforma GUIDE de MATLAB basado en la norma API 579, en el cual mediante una metodología de inspección basada en defectos se ejecutan una serie de cálculos que ayudan a evaluar los defectos de un equipo mediante la comprobación de criterios.

El software se basa en un análisis cualitativo de sus cálculos basados en la norma; con resultados que permitan garantizar que los equipos que contienen defectos que han sido identificados durante una inspección puedan seguir operando de manera segura.

El software consta de 11 secciones, cada sección evalúa un mecanismo de daño: Fractura Frágil, Pérdida General de Metal, Pérdida Localizada de Metal, Corrosión por Picado, Daños por Hidrogeno, Desalineación de Soldadura y Distorsiones, Daños por Fuego, Grietas, Abolladuras, Laminaciones y Daños por Creep. Cada sección contiene un formato de entrada de datos del usuario para el análisis de Recipientes a Presión, Sistemas de Tuberías y Tanques de Almacenamiento; dispone de un manual para un correcto manejo del software y por lo tanto una eficaz evaluación del mecanismo de daño.

Esta herramienta permite grabar en su base de datos los diferentes análisis de defectos que se hayan realizado anteriormente en un equipo, para de esta forma tener un seguimiento de las inspecciones de los equipos, así como un plan de mantenimiento de los mismos.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.
Director: MSc. Iván Uribe Pérez

SUMMARY

TITLE*

SOFTWARE DESIGN FOR ANALYSIS AND EVALUATION OF FLAWS IN A SYSTEMATIZED WAY, BASED ON API RP 579 FITNESS FOR SERVICE

AUTHORS**

LAURA MARCELA DELGADO ESPEJO
LICETH TERESA RUEDA GÓMEZ

KEYWORDS

API RP 579, Structural Integrity, Damage mechanisms, Evaluation Methods, Guide.

ABSTRACT

The objective of the present project is to create an API 579 based software in the MATLAB GUIDE platform, through an inspection methodology based on flaws executes a series of calculations that help to evaluate flaws in an equipment by criteria checkup. The software is based in a quantitative analysis of the calculations from the standard; Ensuring equipments with flaws that have been identified during inspection can continue operating safely.

The software have 11 sections, each section evaluates a damage mechanism: brittle fracture, general metal loss, local metal loss, pitting corrosion, hydrogen damage, weld misalignment and shell distortions, fire damage, crack-like flaws, dents, gouges, laminations and creep range damage. Each section contains a data input format for the user for the analysis of pressure vessels, pipelines and storage tanks; the software has a manual for its proper use and therefore an efficient damage mechanism evaluation.

At the same time the software allows to record in its database for the previous flaws analysis of equipments to make a following of the inspections and plan their maintenance.

*Thesis degree

**Faculty of Physical-Chemistry Engineering. Metallurgical Engineering School and Material Sciences.
Director: MSc. Iván Uribe Pérez

1 INTRODUCCIÓN

La norma API-579 Fitness for Service es una herramienta fundamental para obtener una evaluación de la integridad estructural de un componente en servicio que tenga una falla o un daño. Proporcionando un resultado de tipo cuantitativo usado para tomar las decisiones de operación, reparación o reemplazo que ayuden a garantizar que los diferentes equipos: tuberías, tanques de almacenamiento y tanques a presión con fallas identificadas por la inspección, puedan continuar funcionando dentro de las normas de seguridad.

El estudio y aplicación de la norma API 579 es fundamental en la industria para garantizar la seguridad y buen funcionamiento de una planta, así como para la optimización de los diferentes procesos y el mejoramiento de la viabilidad económica a largo plazo. Sin embargo la aplicación de esta puede llegar a ser poco efectiva; efectuar los diferentes cálculos para la evaluación de las fallas y realizar el procedimiento para el cambio o reparación de un equipo podría llegar a tardar mucho tiempo, generando pérdidas económicas. Por lo cual el mejoramiento y desarrollo de nuevas técnicas o planes de inspección de equipos son indispensables.

La estructura y abarcamiento de la norma hacen de esta una herramienta de difícil manejo e interpretación, por tal razón se llevó a cabo el diseño y creación de un software que no solo nos ayuda a obtener una evaluación confiable y eficiente, sino que además nos proporciona un registro histórico de las evaluaciones realizadas a los equipos de manera rápida. Sin dejar a un lado la indispensable importancia del conocimiento metalúrgico para una adecuada interpretación de los resultados y un manejo indicado de dicho software.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un software en la plataforma “GUIDEMATLAB” administrando de manera sistemática los parámetros establecidos en la norma API-RP579 de 2007 para determinar la integridad estructural de un equipo.

2.2 Objetivos Específicos

- Crear una base de datos con los diferentes parámetros establecidas en la norma API RP 579 que permita el desarrollo del software.
- Determinar mediante el software la integridad estructural de un equipo nivel 1 y 2 para los siguientes tipos de falla: fractura frágil, pérdida de metal localizada, pérdida de metal generalizada, corrosión por picado, daños por hidrógeno, grietas. Y nivel 1 a los mecanismos de daño conformados por: daños por fuego, daños por creep y daños mecánicos.
- Aplicar el software utilizando el Manual de Ejemplo de Problemas Fitness for Service.

3. CONCEPTOS TEÓRICOS

3.1 Aptitud para el Servicio API-579

Es una evaluación cuantitativa de ingeniería con un enfoque multidisciplinario para determinar, como su nombre indica, la integridad estructural de un equipo que contenga defectos o daños y si es apto para continuar en servicio.

En el año 2000, el American Petroleum Institute (API) publicó **API RP 579**, que es una práctica recomendada para la evaluación de aptitud para el servicio FFS, aunque este documento iba dirigido principalmente a los activos de refinación y petroquímica, su utilización ha presentado un amplio uso en diversas industrias que utilizan recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenamiento.

En 2007, el API se unió a la sociedad americana de ingenieros mecánicos (ASME) para producir un documento actualizado con la designación de la **API579-1/ASMEFFS-1**. Este documento está diseñado para complementar y ampliar los requisitos de los códigos inspección **NBIC, NB-23, API510, API570, Y API653**. Cuyos objetivos son garantizar un nivel aceptable de seguridad, proporcionar información precisa para determinar la vida remanente, realizar un programa de mantenimiento y ayudar a optimizar la inspección de los equipos dañados para que sigan en funcionamiento.

Al realizar un programa de evaluaciones de aptitud para el servicio (FFS), se pretende analizar el estado integral del componente conociendo el mecanismo de daño. Las técnicas empleadas para evaluar la integridad del elemento incluyen los siguientes mecanismos de daño: fractura frágil, corrosión general, corrosión localizada, corrosión por picado, daños por hidrógeno, daños por creep, daños por fuego, grietas y laminaciones. ¹

¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Fitness for Service. Segunda edición. API, 2007, API 579 – 1/ ASME FFS – 1

3.2 Evaluaciones establecidas

La evaluación de un componente determinado se realiza a partir del mecanismo de daño:

- Fractura frágil
- Grietas
- Corrosión/Erosión
- Daño por Fuego
- Daño por creep
- Daño Mecánico.

En la tabla se observan las evaluaciones a realizar dependiendo del tipo de mecanismo.

Tabla 1. Mecanismos de daño

Tipos de Evaluaciones	Mecanismos de Daño					
	Fractura Frágil	Grietas	Corrosión / Erosión	Daños por Fuego	Daños por Creep	Daños Mecánicos
Fractura Frágil	x					
Pérdida de Metal General			x	x		
Pérdida de Metal Localizada			x	x		x
Corrosión por Picado			x			
Daño por Hidrogeno			x			
Alineación de Soldadura				x		x
Grietas	x	x		x		x
Daño por Creep				x	x	
Daño por Fuego				x		
Abolladuras y Entallas						x
Laminaciones						x

Fuente: Las Autoras.

La norma consta de once tipos de evaluaciones:

3.2.1 Evaluación de Fractura Frágil

Esta evaluación nos permite determinar la resistencia a fracturas por fragilidad de recipientes a presión de acero de baja aleación y carbono existentes, de tubería y de tanques de almacenamiento. La evaluación para otros materiales que pueden ser susceptibles a fracturas por fragilidad tales como ferríticos, martensíticos y aceros inoxidable dúplex no están aplicados explícitamente; sin embargo los mismos principios pueden ser utilizados para evaluar estos materiales. El propósito de esta evaluación es evitar una falla de fractura por fragilidad contenida en el código ASME, sección VIII filosofía del diseño, cuya intención es prevenir el inicio de una fractura por fragilidad.

Esta evaluación es utilizada para detectar el riesgo de una fractura por fragilidad. Si se encuentra una falla o fisura, se puede utilizar la evaluación de grietas.

Una evaluación de fractura por fragilidad puede ser requerida como parte del proceso de evaluación de otra sección que recomiende esta práctica. Además las siguientes circunstancias pueden ser necesarias para la evaluación de una fractura por fragilidad.

- Un cambio en las condiciones de los procesos de operación que incremente la posibilidad de bajas temperaturas en el metal.
- Un proceso de revisión de riesgo que indique que los procesos de temperatura son más bajos que los dados en el diseño original.
- El equipo es revaluado utilizando un margen de diseño más bajo.

- El equipo puede experimentar una presión interna significativa (presión de diseño) igual o cercana a la temperatura ambiente debido a las condiciones de encendido y apagado.

El propietario/usuario puede identificar otras circunstancias donde una evaluación de fractura por fragilidad del equipo pueda ser garantizada basándose en las condiciones de operación y/o en la condición del componente.

En la parte 3 de la norma se proporcionan los criterios para evaluar la operación normal, puesta en marcha, falla o daño, y las condiciones para sacar de operación al equipo.

3.2.2 Pérdida de Metal General

Los Recipientes a Presión sometidos a pérdida de metal general como resultado de la corrosión/erosión son evaluados en la parte 4 de la norma. Se presentan procedimientos que pueden ser utilizados para calificar un componente como apto para servicio continuo o para recalibración. Para la mayoría de secciones se recomienda hacer esta evaluación antes de realizar la evaluación de pérdida de metal localizada. Esta última se realiza cuando en el componente se encuentran áreas locales de pérdida de metal.

Las evaluaciones en esta sección están basadas en la toma de medidas de espesor del componente, que pueden realizarse ya sea mediante una toma de espesor por puntos o mediante perfiles de espesor en direcciones meridional y circunferencial o según corresponda.

Estos procedimientos pueden ser empleados para evaluar todas las formas de pérdida general de metal (uniforme o local) que excedan o se suponga que excederán la provisión de corrosión antes de la siguiente inspección programada. La pérdida general de metal puede ocurrir dentro o fuera del componente. Los procedimientos a ser utilizados en una evaluación dependen

del tipo de datos sobre el grosor disponibles, de las características de la pérdida de metal, del grosor mínimo de pared requerido y del grado de conservatismo aceptable para la evaluación.

3.2.3 Pérdida de Metal Localizada

En esta sección se evalúan los componentes de recipientes a presión sometidos a pérdida local de metal resultante de la corrosión / erosión o el daño mecánico. Además los procedimientos de esta sección también pueden ser empleados para evaluar regiones de pérdida local de metal resultante de fallas en forma de grietas. La pérdida local de metal puede ocurrir en la parte interna o externa del componente. Los procedimientos de igual manera pueden ser usados para calificar un componente para servicio continuo o para reparación.

La metodología mostrada en la parte 4, se puede emplear para determinar si se usan los procedimientos de la sección 4 o de la sección 5. Para la mayoría de evaluaciones, se recomienda realizar primero una valoración usando la sección 4.

Los procedimientos para evaluar la pérdida local de metal en esta sección sólo pueden ser establecidos usando perfiles de espesor porque se requiere el tamaño de la región de pérdida de metal y los datos de espesor para la evaluación.

3.2.4 Corrosión por Picado

Este tipo de evaluación es presentada en la parte 6 y es utilizada para valorar la pérdida de metal resultante de la corrosión diseminada. En este contexto la corrosión diseminada se define como regiones localizadas de pérdida de metal que pueden ser caracterizadas por un diámetro de picadura del espesor de la placa o menos, y una profundidad menor que el espesor de la placa. Se

proporcionan procedimientos para evaluar corrosión localizada o diseminada en un componente con o sin una región de pérdida local de metal.

Los procedimientos pueden ser usados para evaluar cuatro tipos de corrosión por picadura: picaduras ampliamente diseminadas sobre una región significativa del componente, un área delgada localizada (LTA) ubicada en una región de corrosión muy diseminada, regiones localizadas de corrosión, y picaduras confinadas dentro de un área delgada localizada (LTA). Con base en el tipo de daño, se utiliza una combinación de los métodos de evaluación de las secciones 5 y 6 en la evaluación.

3.2.5 Daños por Hidrógeno

El agrietamiento inducido por Hidrógeno (HIC) está caracterizado por un agrietamiento laminar (en planos) con algunas grietas asociadas a través del espesor. Debido a su morfología esto es a veces llamado agrietamiento por etapas. Este tipo de daño ocurre generalmente en placas de acero al carbono expuestas a una fase acuosa que contenga sulfuro de hidrógeno, cianuros, ácido fluorhídrico, u otras especies con carga atómica de hidrógeno en el acero. Es menos común en piezas forjadas y tuberías sin costura que en placas. El hidrógeno atómico se combina con inclusiones no metálicas u otras imperfecciones para formar moléculas de hidrógeno que son muy grandes para difundirse a través del acero. Este aumento del hidrógeno interno puede resultar en HIC.

El HIC (SOHIC) generado por esfuerzo está definido como un conjunto de grietas, alineadas casi perpendiculares al esfuerzo, que son formadas por la unión de pequeñas grietas HIC en el acero. El esfuerzo de tracción (residual o aplicado) se requiere para producir SOHIC. SOHIC se observa comúnmente en la base metálica adyacente a la zona afectada por el calor (HAZ) de una soldadura, orientado en la dirección a través del espesor. SOHIC también puede ser producido en aceros susceptibles a otros altos puntos de esfuerzo tales como la punta de las grietas metálicas y defectos, o de la interacción

entre el HIC en diferentes planos en el acero". El fenómeno de la carga del hidrógeno es el mismo que el que causa HIC.

El ampollamiento por hidrógeno está caracterizado por abultamiento físico de las superficies de los equipos. Es causado por la acumulación de hidrógeno en las imperfecciones en el acero tales como laminaciones o inclusiones. El hidrógeno atómico generado por el H₂S húmedo o por los ambientes de ácido fluorhídrico se combina a las imperfecciones para formar moléculas de hidrógeno que son muy grandes para difundirse a través del acero. El hidrógeno se acumula y da como resultado el aumento de altas presiones que causan esfuerzos locales que exceden el límite elástico del material cerca a estas imperfecciones. El alargamiento del material y su subsecuente deformación plástica en forma de abultamiento debido a la carga de la presión dan como resultado una abolladura. Algunas veces las grietas pueden extenderse de la periferia de una abolladura y pueden propagarse en una dirección a través de la pared, particularmente si la abolladura está localizada cerca de la soldadura

Los procedimientos de evaluación se proporcionan en la parte 7 de la norma para evaluar ampollas agrupadas u aisladas y daños por HIC/ SOHIC. Las guías para la evaluación incluyen disposiciones para las ampollas y el daño HIC/SOHIC ubicado en las juntas de soldadura y discontinuidades estructurales, como las transiciones de pared, anillos de refuerzo y las boquillas.

3.2.6 Desalineación de soldadura y distorsiones de pared

Durante el servicio los componentes desarrollan unos cambios que hacen que ya no satisfagan las tolerancias de fabricación del código de diseño original. Estas distorsiones pueden producir áreas con altos esfuerzos localizados y para componentes sometidos a un campo de esfuerzo compresivo, una reducción en la estabilidad estructural. La evaluación para estas deformaciones son cuidadosamente realizados en esta sección.

En la parte 8 de la norma se proporcionan los procedimientos de evaluación de competencia para el Servicio (FFS) para componentes presurizados con irregularidades geométricas. Las irregularidades cubiertas incluyen la mala alineación de la soldadura y distorsiones de la pared tales como protuberancias, abolladuras y deformaciones circunferenciales

Los procedimientos de esta sección pueden ser utilizados para evaluar las irregularidades geométricas asociadas con la mala alineación de la soldadura y distorsiones de la pared en componentes hechos de placas planas; paredes cilíndricas, cónicas y esféricas. Este tipo de defectos se denominará irregularidades geométricas. En general, si la geometría actual del componente es tal que se satisfacen las tolerancias de fabricación originales, generalmente no se requiere una evaluación. A excepción de aquellos componentes sometidos a servicio cíclico y componentes que tengan una irregularidad geométrica localizada tal como una abolladura.

3.2.7 Grietas

Los equipos construidos con aceros al carbono o aceros de baja aleación, que contienen grietas, pueden fallar frágilmente debido al colapso plástico de la sección donde la grieta está localizada.

Las grietas son defectos planares caracterizados predominantemente por una longitud y una profundidad, con un radio de raíz agudo. Pueden estar incorporadas o ser de ruptura superficial. Los ejemplos de defectos en forma de grietas incluyen grietas planares, falta de fusión y falta de penetración en soldaduras, corrosión localizada en forma de ranura y grietas ramificadas asociadas con ruptura ambiental. Se reconoce que las fracturas ambientales son más comunes en equipo petroquímico y de refinería debido a una amplia

variedad de interacciones ambientales/materiales y mecanismos de daño de material.²

Los procedimientos de evaluación se proporcionan en la parte 9 de la norma para evaluar grietas. La solución para los factores de intensidad de esfuerzos y el esfuerzo de referencia (carga límite) se incluyen en el Anexo C y el Anexo D, respectivamente. Los métodos para evaluar los efectos residuales como lo exige el procedimiento de evaluación se describen en las propiedades incluidas en el Anexo E, las propiedades del material necesarias para la evaluación son presentadas en el Anexo F. Se presentan recomendaciones para la evaluación de crecimiento de la grieta incluyendo consideraciones ambientales.

3.2.8 Daños por Creep y operaciones a altas temperaturas

En esta sección se proporcionan los procedimientos de evaluación de competencia para el servicio (FFS) para componentes presurizados operados en el régimen de deformación por creep. Los límites de temperatura para los regímenes de deformación se definen en una tabla en esta sección para materiales diferentes. Los procedimientos se pueden utilizar para calificar un componente para operación continua o para su recalibración.

El procedimiento de evaluación FFS para componentes operados en el régimen de deformación requiere un cálculo de vida remanente. Los procedimientos de evaluación para determinar la vida remanente están dados para componentes con y sin defecto en forma de fractura sometidos a un estado permanente y a condiciones de operación cíclicas. Si el componente contiene un defecto en forma de fractura y no es operado en el régimen de deformación, entonces se puede utilizar la sección 9 para la evaluación de competencia para el servicio.

² Sergio CICERO GONZALEZ. Evaluación De La Integridad Estructural De Componentes Sometidos a Condiciones De Bajo Confinamiento,2007.

Los procedimientos de evaluación se proporcionan para determinar la vida útil remanente de componentes que operan en el régimen de fluencia. Las propiedades de los materiales necesarios para la evaluación se encuentran en los métodos de análisis incluidos en el Anexo F. Para la evaluación de crecimiento de la grieta incluyendo consideraciones ambientales también están cubiertas

3.2.9 Daños por Fuego

Los recipientes a presión, tubería y tanques sometidos a calor extremo en un incendio pueden experimentar un daño estructural visual y una degradación aparente menor de las propiedades mecánicas (Ejemplo disminución en el límite de elasticidad o dureza a fracturas) que pueden hacer el equipo no conveniente para servicio continuo. Por lo tanto es apropiado hacer una evaluación de competencia para el servicio (FFS) de recipientes, tuberías y tanques expuestos al fuego para determinar su conveniencia para un servicio continuo.

La sección 11 brinda procedimientos FFS para componentes de recipientes a presión (Ejemplo presión interna y/o externa) que hayan sido potencialmente dañados por la exposición a un calor extremo en un incendio. Normalmente esto se debe a un fuego externo; sin embargo, los procedimientos de evaluación también se aplican para fuegos internos del componente.

Este daño potencial incluye cambios en las propiedades mecánicas (esferoidización del acero carbón, crecimiento del grano y disminución en la dureza), disminución en resistencia a la corrosión (sensibilización de aceros inoxidables austeníticos), distorsión y fractura de componentes con límite de presión.

3.2.10 Abolladuras y hendiduras

Se proporcionan técnicas de evaluación para evaluar la abolladura, hendidura o combinaciones de ambas en componentes resultantes de daño mecánico. Los procedimientos pueden ser usados para calificar un componente para operación continua o para determinar una presión máxima de trabajo reducida. Para la pérdida de metal, los procedimientos varían según el tipo de pérdida acorde con los procedimientos de las Partes 5 y 8.

3.2.11 Laminaciones

Las laminaciones son planos formados por la falta de fusión dentro de una placa metálica, por lo general paralelos a sus superficies, y como resultado de su proceso de fabricación. Se detectan usualmente durante un examen ultrasónico. Estas afectan la soldadura y reducen la resistencia de la placa cuando se somete a esfuerzos de flexión, compresión o tracción normales al plano de laminación.

Se proporcionan procedimientos para evaluar las laminaciones. Las directrices incluyen disposiciones para la evaluación de laminaciones ubicadas en las uniones soldadas y discontinuidades estructurales, como transiciones de pared, anillos de refuerzo, y las boquillas.

3.3 Metodología de Evaluación³

La metodología usada para cada mecanismo de daño está prevista en los siguientes ocho pasos:

³ Alberto GAMBOA COTE. Desarrollo de una herramienta computacional para la enseñanza de la norma API 579 Fitness for Service (Evaluación de la aptitud para el servicio), 2011.

Paso 1. Identificación de fallas y mecanismos de daño: El primer paso dentro de una evaluación de aptitud para el servicio, consiste en identificar el tipo de defecto y la causa de daño. La evaluación no debe realizarse a menos que la causa del daño pueda ser identificada. El diseño original, material de fabricación, el historial de servicio y las condiciones ambientales pueden ser útiles para determinar la causa probable de daños.

Paso 2. Aplicabilidad y las limitaciones de los procedimientos de evaluación: es decir debe determinarse si el equipo o elemento que va a ser analizado está dentro de lo estudiado por la norma.

Paso 3. Requerimientos de datos: dependen del tipo de defecto o mecanismo de daño que se está evaluando. Los datos requeridos pueden incluir: datos de diseño del equipo, información del mantenimiento e historia operativa y datos específicos como tamaño de defecto, estado de esfuerzos del componente en la localización de la falla y propiedades del material.

Paso 4. Técnicas de evaluación y criterios de aceptación: Aquí se emplean los niveles de evaluación (nivel 1, nivel 2, nivel 3) con los criterios de aceptación, los mismos que son empleados para determinar si el equipo puede o no volver a operar.

Paso 5. Evaluación de la vida remanente: es importante conocer la vida remanente de un determinado elemento ya que ésta es usada para establecer los adecuados intervalos de inspección.

Paso 6. Remediación: determinada la vida remanente de un determinado elemento, la norma sugiere adecuados métodos de reparación para cada nivel de evaluación, en algunos casos las técnicas de reparación pueden ser utilizadas para el control de daños futuros asociados con el crecimiento de fallas y / o degradación del material.

Paso 7. Monitoreo en servicio: esto es necesario debido a que con un adecuado sistema de monitoreo, se puede incrementar el tiempo de vida del elemento; puede ser usado en todos los casos en que, la vida remanente y el

intervalo de inspección no pueden ser establecidos adecuadamente debido a la complejidad asociada al mecanismo de daño y ambiente de servicio.

Paso 8. Documentación: debe incluir un registro de todos los datos y las decisiones tomadas en cada uno de los pasos previos para calificar el componente para la operación continua.

3.4 Niveles de Aceptación

En cada evaluación a partir del daño se proporcionan tres niveles que cubren los procedimientos de evaluación FFS. En general, cada nivel de evaluación proporciona un equilibrio entre el conservatismo, la cantidad de información requerida para la evaluación, la destreza del personal que realiza la evaluación, y la complejidad del análisis que se está haciendo.

Nivel 1. Los procedimientos de evaluación incluidos en este nivel están planeados para proporcionar criterios de monitoreo conservadores que pueden ser utilizados con una cantidad mínima de inspecciones o información del componente. Las evaluaciones de nivel 1 pueden ser realizadas por personal de ingeniería o de inspección de plantas utilizando datos de diseño y registros históricos.

Nivel 2. Los procedimientos de evaluación incluidos en este nivel, están planeados para proporcionar una valoración más detallada que produzca resultados más precisos que los del nivel 1. En una evaluación nivel 2, se requiere información de inspección similar a la requerida para una nivel 1; sin embargo, en ésta se utilizan cálculos más detallados. Las evaluaciones nivel 2 son realizadas por ingenieros de planta o especialistas en ingeniería con experiencia en evaluaciones FFS.

Nivel 3. Los procedimientos incluidos en este nivel intentan proporcionar una evaluación más detallada que produzca resultados más precisos que los de nivel 2. En una evaluación nivel 3 se requiere una inspección más detallada y mayor información de los componentes, además el análisis recomendado se

basa en técnicas numéricas tales como el método de elementos finitos. El análisis de este nivel está diseñado para especialistas en ingeniería con experiencia en evaluaciones FFS.

Estos tres niveles de evaluación representan un equilibrio entre simplicidad y precisión. La simplificación de los procedimientos de evaluación son necesariamente más conservadores que los más sofisticados análisis de ingeniería. En algunos casos, el componente que se evalúa puede no pasar una evaluación de nivel 1, pero si un nivel 2 o nivel 3 de componentes debido que son menos conservadores en la simplificación de los supuestos que los primeros. En ciertas situaciones, la norma Api/Asme no permite una evaluación de nivel 1. Por ejemplo, las evaluaciones de nivel 1 no son aplicables a los equipos a presión a importantes cargas adicionales, como los pesos muertos, cargas de viento, cargas de expansión térmica, y las cargas sísmicas.

Con las evaluaciones de nivel 1, los procedimientos especificados se deben seguir exactamente, y se deja poco o ningún espacio para la interpretación. Los procedimientos nivel 2 proporcionan cierto margen para ejercitar el buen juicio de ingeniería. Para las evaluaciones de nivel 3, la norma Api/ Asme proporciona unas pocas directrices generales, pero los detalles de la evaluación se dejan al usuario. La falta de especificidad en el nivel 3 es por diseño. No hay ninguna manera práctica de codificar pasos para intensificar los procedimientos de análisis de ingeniería avanzada, porque cada situación es diferente, y hay una amplia gama de enfoques que pueden ser adecuados para una situación dada.

Una evaluación FFS típica puede implicar diversas disciplinas de ingeniería, y aunque una persona puede asumir un papel protagónico en la realización de la evaluación, él/ella debe depender de otros para aportar datos cruciales y experiencia. Algunas de las áreas de experiencia que pueden ser parte de una evaluación de la FFS se describen a continuación

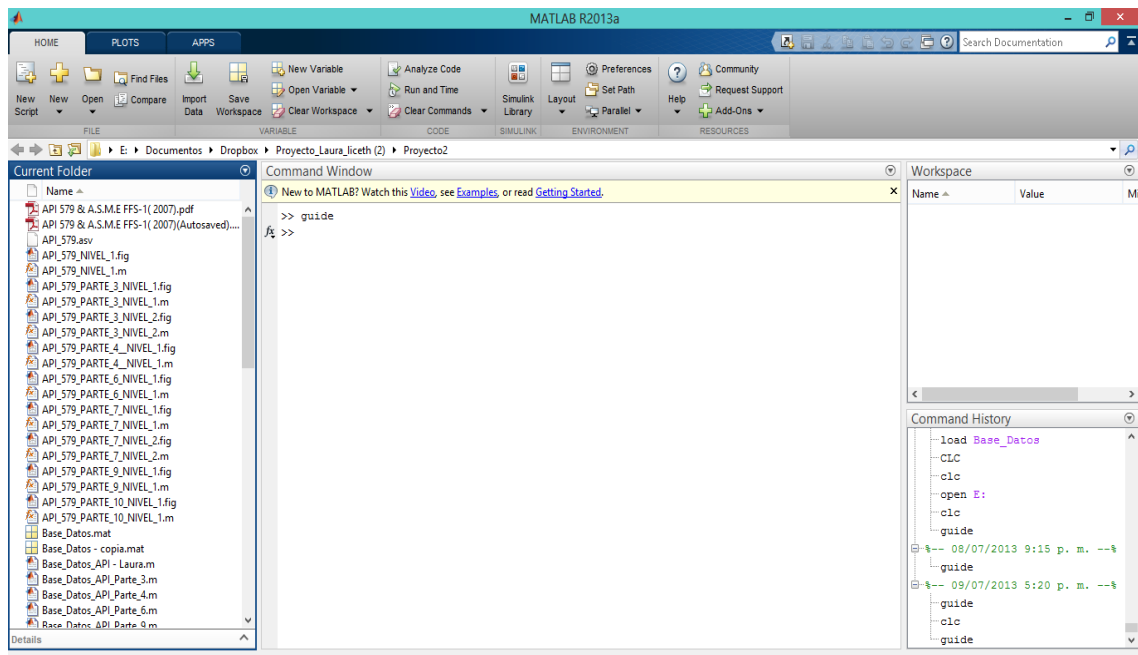
- **Análisis de esfuerzos.** Una estimación exacta de los esfuerzos que actúan sobre el componente de interés para evaluar la integridad estructural y la vida útil restante.
- **Metalurgia/ingeniería de materiales.** Una comprensión del funcionamiento de diversos materiales sometidos a ambientes específicos, temperaturas y niveles de esfuerzos es esencial para garantizar una operación segura y confiable.
- **Los ensayos no destructivos (END).** Los defectos deben ser detectados y dimensionados antes de que puedan ser evaluados. La tecnología de inspección más adecuada depende de una variedad de factores, incluyendo el tipo de los defectos o daños presentes y la accesibilidad de la región de interés.
- **Corrosión.** Una comprensión del mecanismo de la degradación ambiental que llevó a los daños observados, es un requisito previo para la evaluación de la FFS. Por otra parte experiencia en la corrosión es útil para la prescripción de medidas adecuadas de remediación.
- **Las operaciones de la planta.** La interacción con personal de la planta es generalmente necesaria para entender los parámetros de funcionamiento del equipo de su interés. Información tales como la temperatura de funcionamiento y presión, entorno del proceso, procedimientos de inicio/apagado son elementos esenciales para una evaluación de la FFS.
- **Mecánica de la fractura.** Esta disciplina se utiliza para analizar las grietas y otros planos defectos.
- **Probabilidad y estadística.** Esta disciplina es útil para el análisis de datos y para las evaluaciones probabilísticas de riesgo.

4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE

El software presentado en este documento fue creado en Matlab R2013a. Matlab es un sistema interactivo que integra computación, visualización y programación, en un entorno fácil de utilizar donde las respuestas a los diferentes problemas son expresadas en notación matemática. Para la el diseño y desarrollo del software se llevaron a cabo los siguientes pasos.

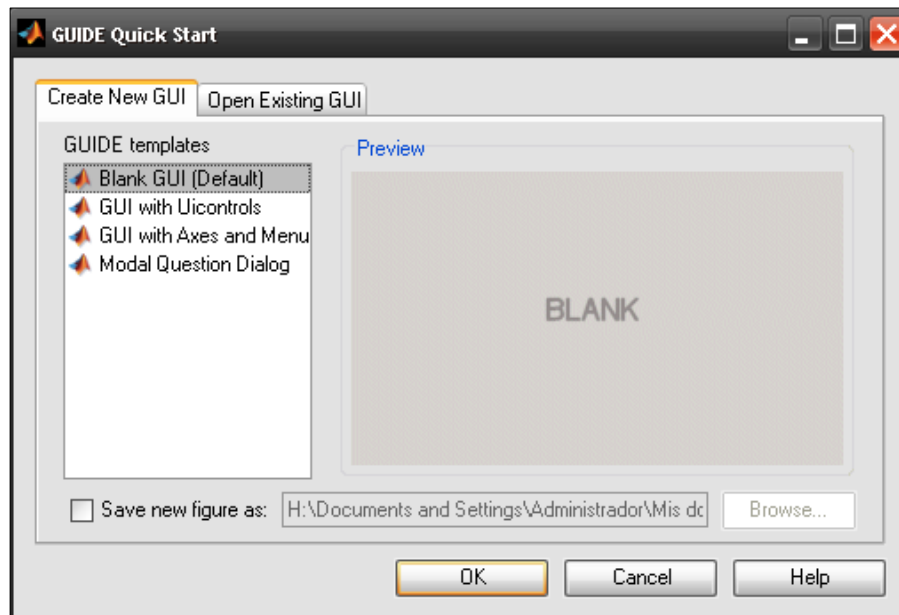
Paso 1. Creación de interfaces: Se abre la ventana principal de Matlab, se escribe “guide” en el editor de Matlab (Figura 1), después se abre la ventana “GUIDE Quick Start” (Figura 2) en esta ventana se selecciona Blank Gui(Default) y se oprime el botón “OK” para abrir una nueva interfaz (Figura 3).

Figura 1. Ventana principal de Matlab.



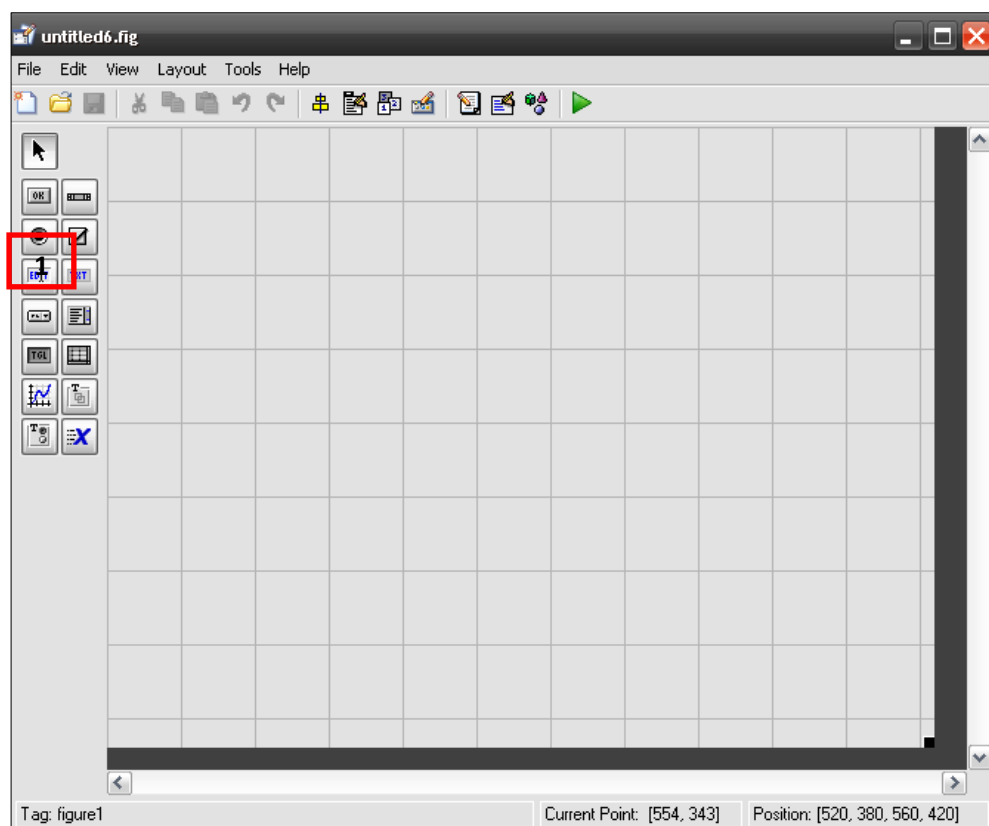
Fuente: Las Autoras.

Figura 2. Creación de una Interfaz Grafica



Fuente: Las Autoras.

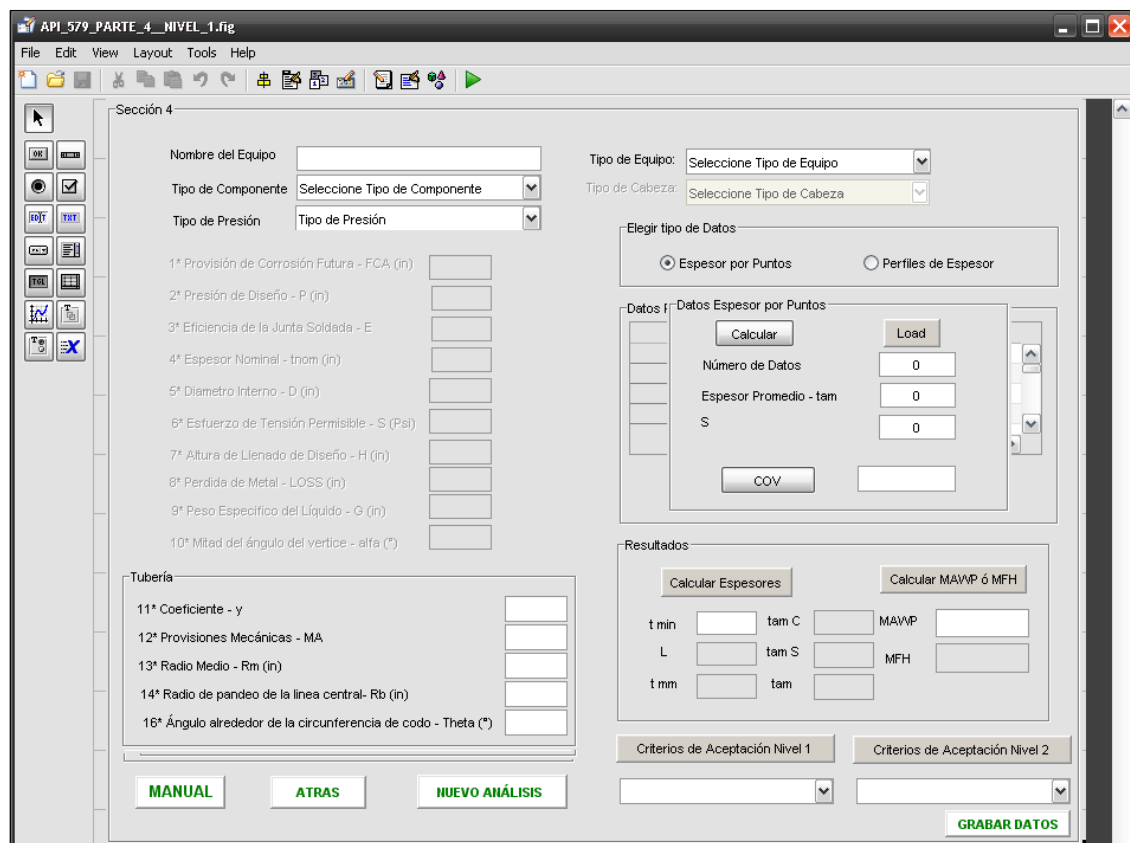
Figura 3. Nueva interfaz Grafica



Fuente: Las Autoras.

Paso 2. Diseño de interfaces: Se da clic en cada uno de los botones de herramientas (Numeral 1 de la Figura 3) para el desarrollo de la interfaz, con los cuales se pueden crear: push Button, Radio Button, Static Text, Edit Text, Check Box, Pop-up Menú, Toggle Button, Table, Axes, Panel, Button Group. Para cambiar el nombre o las propiedades de cada herramienta se debe oprimir doble clic sobre cada una de las herramientas de la interfaz y modificar lo que se necesita. Después de realizar el diseño de la interfaz (Figura 4) se debe grabar la interfaz para poder realizar la programación de la misma.

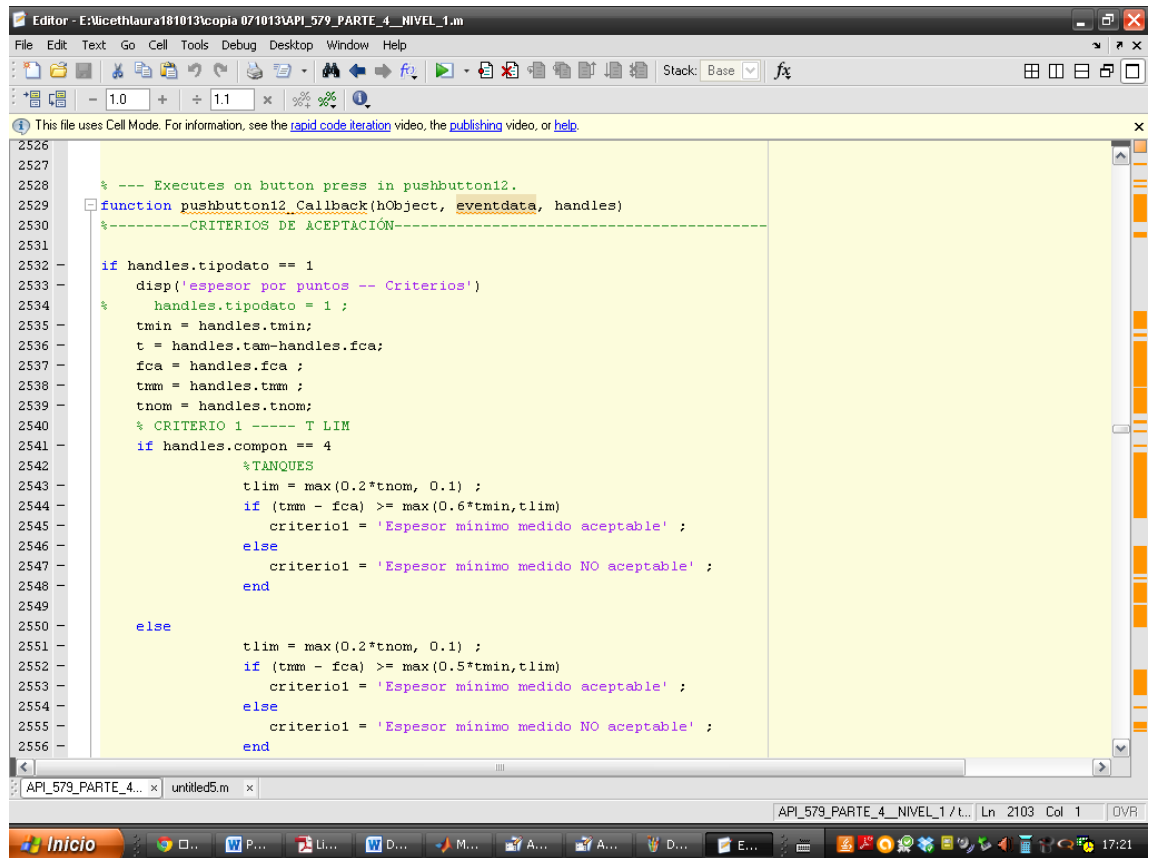
Figura 4. Interfaces gráficas Diseñadas



Fuente: Las Autoras.

Paso 3. Programación de interfaces: En el editor de Matlab aparecen inicialmente los códigos internos establecidos por Matlab para cada herramienta, estos no se pueden editar para evitar un mal funcionamiento de la interfaz. Debajo de los códigos internos de las herramientas se escriben los códigos, dependiendo de las funciones que se desean realizar

Figura 5. Programación de interfaces



The image shows a screenshot of a MATLAB editor window. The title bar reads "Editor - E:\ucethlaura181013\copia 071013API_579_PARTE_4_NIVEL_1.m". The menu bar includes "File", "Edit", "Text", "Go", "Cell", "Tools", "Debug", "Desktop", "Window", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and execution. A status bar at the bottom indicates "API_579_PARTE_4... | untitle5.m" and "API_579_PARTE_4_NIVEL_1/t... | Ln 2103 Col 1 | DVR".

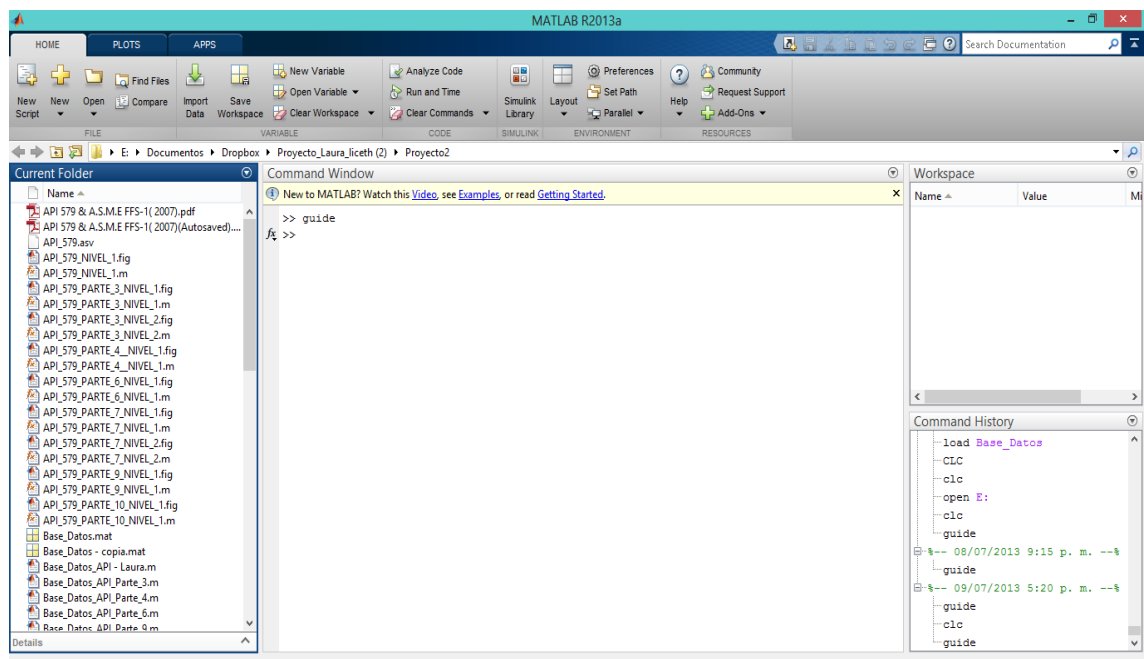
```
2526
2527
2528 % --- Executes on button press in pushbutton12.
2529 function pushbutton12_Callback(hObject, eventdata, handles)
2530 %-----CRITERIOS DE ACEPTACIÓN-----
2531
2532 if handles.tipodato == 1
2533     disp('espesor por puntos -- Criterios')
2534     handles.tipodato = 1 ;
2535     tmin = handles.tmin;
2536     t = handles.tam-handles.fca;
2537     fca = handles.fca ;
2538     tmm = handles.tmm ;
2539     tnom = handles.tnom;
2540     % CRITERIO 1 ----- T LIM
2541     if handles.compon == 4
2542         %TANQUES
2543         tlim = max(0.2*tnom, 0.1) ;
2544         if (tmm - fca) >= max(0.6*tmin,tlim)
2545             criteri01 = 'Espesor minimo medido aceptable' ;
2546         else
2547             criteri01 = 'Espesor minimo medido NO aceptable' ;
2548         end
2549
2550     else
2551         tlim = max(0.2*tnom, 0.1) ;
2552         if (tmm - fca) >= max(0.5*tmin,tlim)
2553             criteri01 = 'Espesor minimo medido aceptable' ;
2554         else
2555             criteri01 = 'Espesor minimo medido NO aceptable' ;
2556         end
```

Fuente: Las Autoras.

5. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software diseñado permite desarrollar con facilidad evaluaciones de integridad estructural de recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenamiento de manera cuantitativa, también proporciona resultados de las variables más influyentes en cada tipo de evaluación y almacena los datos utilizados y generados en el transcurso de la evaluación.

Figura 6. Ventana principal de Matlab.



Fuente: Las Autoras.

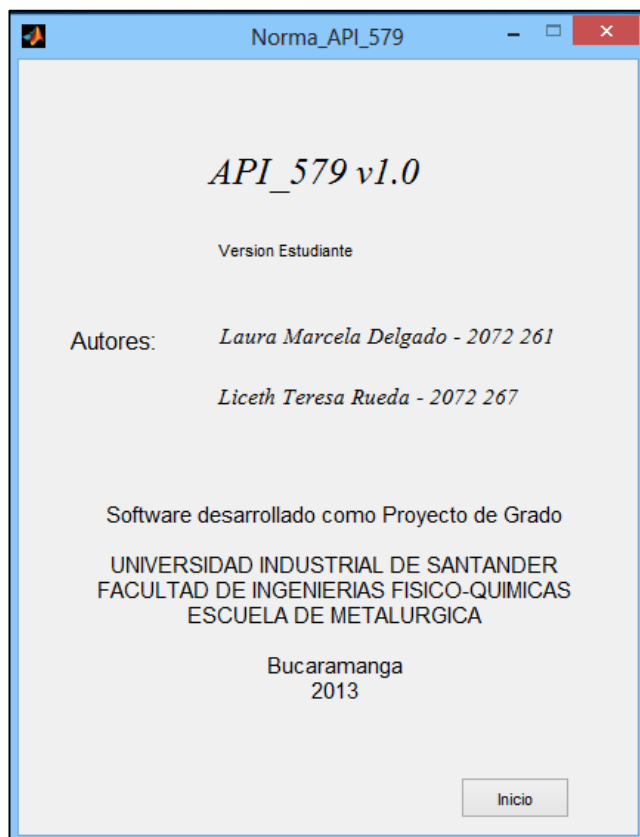
5.1 Instalación del software

Para la ejecución del software primero se debe tener en cuenta la instalación de MATLAB en cualquier versión del 2007 al 2013 en el computador, después se realiza una copia de la carpeta 'Ejeutable_v_3' dentro de la cual se encuentra el archivo ejecutable con el nombre de 'Ejeutable_v_3', dando clic sobre este se procede a la utilización del software.

5.2 Ingreso al software

Al dar clic en el archivo ejecutable del software se visualiza la presentación del software. Al dar clic en el botón inicio se carga la interfaz de secciones (Figura 3).

Figura 7. Ventana de inicio



Fuente: Las Autoras.

El software consta de trece tipos de evaluaciones, cada una con herramientas que facilitan los cálculos y un diseño de acuerdo a las necesidades de cada evaluación, las cuales se abrirán al dar clic en el botón de la evaluación en la ventana de secciones mostrada en la figura 3. Antes de ingresar para realizar cualquier tipo de evaluación se debe digitar el nombre de usuario y la hora de la evaluación.

Figura 8. Ventana de Secciones



Fuente: Las Autoras.

5.3 Requerimientos de Usuario

Es totalmente necesario el cumplimiento de algunos requisitos para alcanzar los objetivos deseados, tales requisitos se refieren principalmente a: conocimiento metalúrgico, conocimiento básico de las evaluaciones FFS, la lectura o interpretación del presente documento y del manual de usuario. En el cual se explica la secuencia lógica, estructura y organización del software.

5.4 Descripción de las Secciones

Todas las secciones poseen una ventana para realizar las evaluaciones como la mostrada en la figura 4, que se abre al dar clic en cada uno de los botones de la ventana principal. El software consta de todas las evaluaciones establecidas: grietas, fractura frágil, pérdida de metal general, pérdida de metal localizada, corrosión por picado, daño por hidrogeno, daño por fuego,

desalineación de soldadura y distorsión, daño por creep, laminaciones y abolladuras y hendiduras.

5.4.1. Pérdida de Metal General

El software está diseñado de tal manera que todas las evaluaciones o secciones de este, tienen un orden de procedimiento basado en el establecido por la evaluación FFS. Con el fin de obtener los resultados de manera rápida y automatizada, disminuyendo la probabilidad de error en el desarrollo de la evaluación. A continuación se explicará cómo utilizar el software en la sección de pérdida de metal general, sin embargo cada sección tiene su respectivo manual (Anexo A).

Figura 9. Ventana Principal para la evaluación de pérdida de metal general.

The screenshot shows the main window of the software, titled "API_579 PARTE 4_NIVEL_1". The interface is organized into several functional areas, each with numbered callouts (1-11) indicating key features:

- 1**: Tipo de Equipo (Equipment Type) dropdown menu.
- 2**: Tipo de Presión (Design Pressure - P) dropdown menu.
- 3**: Tubería (Pipe) section containing parameters like Coeficiente - y, Provisions Mecánicas - MA, Radio Medio - Rm, etc.
- 4**: Elegir tipo de Datos (Choose data type) section with radio buttons for "Espesor por Puntos" (selected) and "Perfiles de Espesor".
- 5**: Datos Espesor por Puntos (Point Thickness Data) section with input fields for "Número de Datos", "Espesor Promedio - tam", "S", and a "COV" field.
- 6**: Resultados (Results) section with buttons for "Calcular t min" and "Calcular MAWP".
- 7**: Criterios de Aceptación Nivel 1 and Nivel 2 (Acceptance Criteria) section.
- 8**: MANUAL button.
- 9**: ATRAS (Back) button.
- 10**: NUEVO ANÁLISIS (New Analysis) button.
- 11**: GRABAR DATOS (Save Data) button.

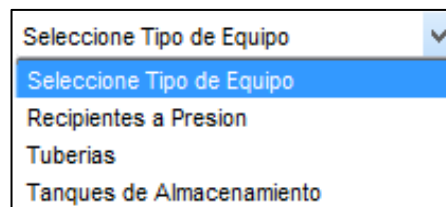
Fuente: Las Autoras.

➤ **Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar**

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando, ya sea: recipiente a presión, tuberías o tanques de almacenamiento.

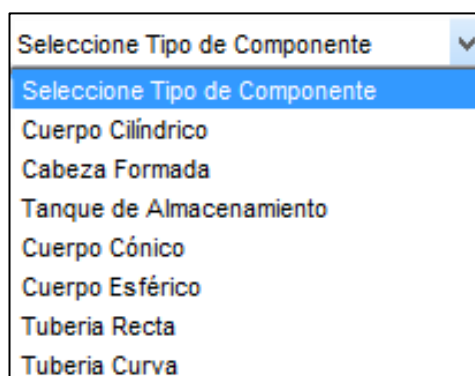
Figura 10. Barra de elección de tipo de equipo.



Fuente: Las Autoras.

Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando, ya sea: Cuerpo cilíndrico, cabeza formada, tanque de almacenamiento, cuerpo cónico, cuerpo esférico, tubería recta o tubería curva.

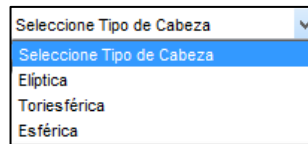
Figura 11. Barra de elección de tipo de componente.



Fuente: Las Autoras.

En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando.

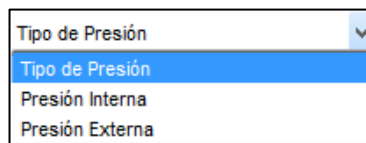
Figura 12. Barra de elección de tipo de cabeza.



Fuente: Las Autoras.

Tipo de Presión: en esta barra se debe seleccionar el tipo de presión a evaluar, ya sea: interna o externa. En caso de requerir una evaluación de ambos tipos de presión, se realiza inicialmente la de una y se da clic en el botón nuevo análisis y se realiza una nueva evaluación pero esta vez eligiendo el otro tipo de presión.

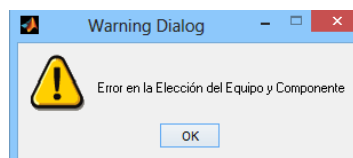
Figura 13. Barra de elección de tipo de Presión.



Fuente: Las Autoras.

En caso de seleccionar el equipo, componente o presión de manera equivocada, o no seleccionar alguna opción el software evidenciará dicho error con la aparición de una ventana de advertencia, para realizar la corrección necesaria para una adecuada evaluación.

Figura 14. Ventana de Advertencia



Fuente: Las Autoras.

- **Numeral 2. Datos evaluación:** dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Figura 15. Datos iniciales

1* Provisión de Corrosión Futura - FCA (in)	<input type="text"/>
2* Presión de Diseño - P (in)	<input type="text"/>
3* Eficiencia de la Junta Soldada - E	<input type="text"/>
4* Espesor Nominal - t_{nom} (in)	<input type="text"/>
5* Diametro Interno - D (in)	<input type="text"/>
6* Esfuerzo de Tensión Permisible - S (Psi)	<input type="text"/>
7* Altura de Llenado de Diseño - H (in)	<input type="text"/>
8* Perdida de Metal - LOSS (in)	<input type="text"/>
9* Peso Especifico del Líquido - G (in)	<input type="text"/>
10* Mitad del ángulo del vertice - alfa (°)	<input type="text"/>

Fuente: Las Autoras.

- **Numeral 3. Panel de datos adicionales:** dependiendo de las opciones escogidas en el numeral uno el software podrá habilitar diversos paneles para la introducción de datos adicionales indispensables para la evaluación.

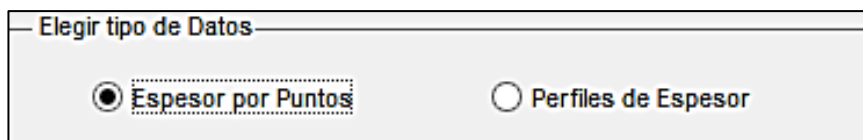
Figura 16. Panel de datos adicionales

Presión Externa	
11* Esfuerzo de Fluencia a T° de Evaluación - S_y (psi)	<input type="text"/>
12* Modulo de Elasticidad - E_y (psi)	<input type="text"/>
13* Longitud entre las lineas del soporte - L (in)	<input type="text"/>
14* Factor de Diseño - Margen de Servicio - FS	<input type="text"/>

Fuente: Las Autoras..

- **Numeral 4. Elegir tipo de datos:** consta de un panel para la selección del tipo de datos de espesor a tomar, ya sea: espesor por puntos o perfiles de espesor.

Figura 17. Elección de tipo de datos.



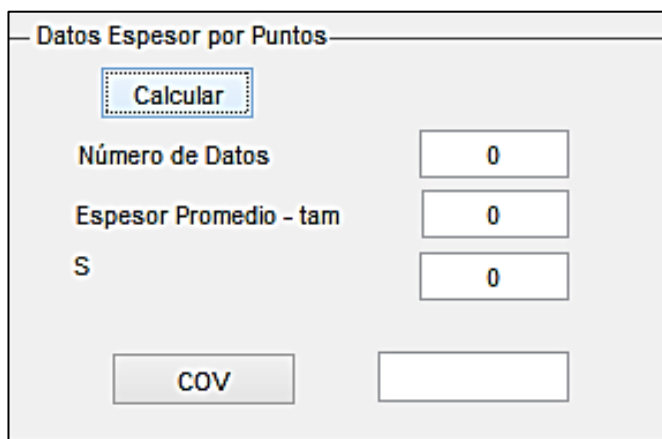
The image shows a dialog box titled "Elegir tipo de Datos". Inside the dialog, there are two radio button options. The first option is "Espesor por Puntos", which is selected (indicated by a filled circle). The second option is "Perfiles de Espesor", which is not selected (indicated by an empty circle).

Fuente: Las Autoras.

- **Numeral 5. Espesor por puntos o por perfiles**

Espesor por puntos: en caso de seleccionar espesor por puntos se habilitará un panel en el cual se pueden introducir el número de datos tomados, el espesor promedio (tam). También cuenta con un botón llamado calcular, el cual abrirá una nueva ventana que funciona como una herramienta para calcular el espesor promedio.

Figura 18. Datos de espesor por puntos.



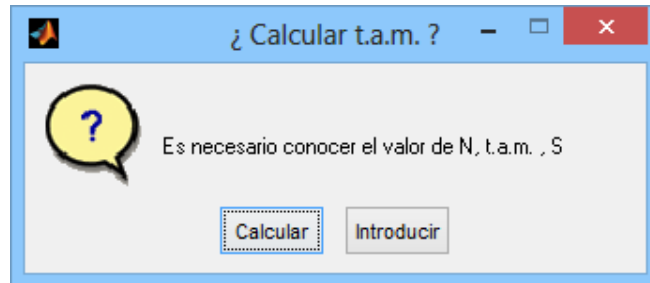
The image shows a dialog box titled "Datos Espesor por Puntos". At the top left is a button labeled "Calcular". Below it are three input fields, each with a label to its left: "Número de Datos" (value: 0), "Espesor Promedio - tam" (value: 0), and "S" (value: 0). At the bottom left is a button labeled "COV", and to its right is an empty input field.

Fuente: Las Autoras.

Al dar clic en el botón calcular inicial se desplegará una ventana, la cual cuenta con dos opciones se debe dar clic en introducir en caso de ya haber calculado dichos valores e introducirlos en sus respectivos lugares, en caso de aún no

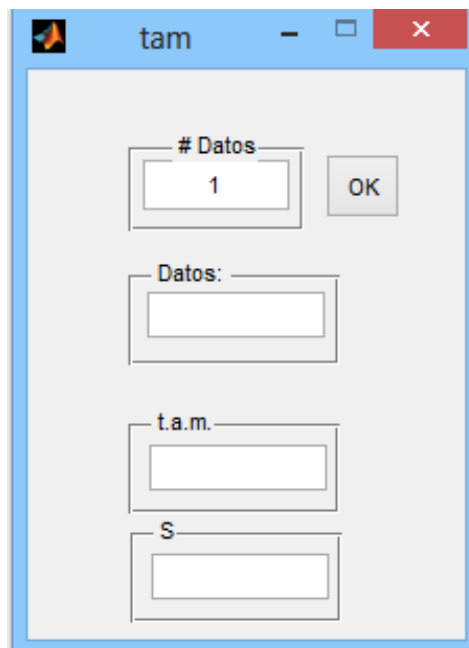
haberlos calculado se puede elegir la opción calcular, que abrirá una ventana para el cálculo del espesor promedio.

Figura 19. Ventana calcular.



Fuente: Las Autoras.

Figura 20. Herramienta para calcular el espesor promedio.



Fuente: Las Autoras.

En esta nueva ventana se deben introducir el número de datos de espesor en # Datos, seguido de este cada uno de los datos de espesor tomados al componente en Datos. El software calculará el valor del espesor promedio medido (tam) y la desviación estándar, al dar clic en ok nos llevará de nuevo al panel de datos de espesor por puntos en el cual al dar clic en la opción load

podrá cargar los datos ya calculados y por consiguiente calcular coeficiente de variación (COV) al dar clic en el botón COV (Fig. 14).

Si el coeficiente de variación es superior al 10% inmediatamente se eliminarán los datos de espesor por puntos y la evaluación deberá realizarse con datos de perfiles de espesor. Lo que activa un panel para introducir los datos de perfiles de espesor.

Perfiles de espesor: en este panel se deben introducir cada uno de los datos de espesor tanto en la dirección longitudinal indicada en la figura como M, como en la dirección circunferencial indicada como C de la pieza a evaluar y los datos de las áreas en cada una de las direcciones.

Figura 21. Datos de perfiles de espesor.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
M1											↑
M2											
M3											
M4											↓

Área C Área S

Fuente: Las Autoras.

- **Numeral 6. Resultados:** el panel de resultados cuya función es mostrar las variables calculadas por el software que serán utilizadas en la evaluación, aceptación o rechazo de cada uno de los criterios según el tipo de componente y datos de perfiles. Está compuesto por los cálculos de espesores mínimo, mínimo medido y promedio tanto en la dirección circunferencial como en la dirección longitudinal, los valores de presión máxima de trabajo permitida y altura máxima de llenado en el caso de los tanques.

Figura 22. Panel de Resultados.

Resultados

Calcular Espesores Calcular MAWP ó MFH

t min tam C MAWP

L tam S MFH

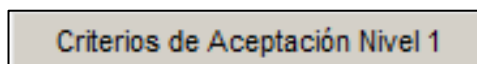
t mm tam

Fuente: Las Autoras.

➤ **Numeral 7. Criterios de aceptación**

Criterios de aceptación nivel 1: Al dar clic en este botón el software evaluará el componente según los criterios descritos en la tabla 4.4 (anexo B).

Figura 23. Botón criterios nivel 1.



Fuente: Las Autoras.

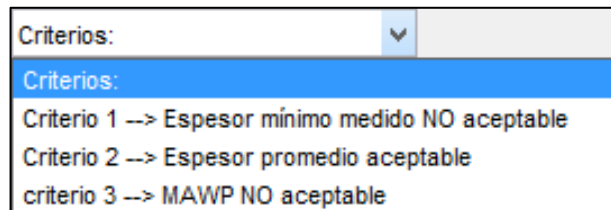
Criterio 1: Espesor Límite

Criterio 2: Espesor Promedio Medido y Espesor Mínimo Medido

Criterio 3: Según corresponda MAWP o MFH.

Al dar clic en el botón criterios de aceptación nivel 1 el software arrojará una barra de resultados donde se podrá ver el resultado de aceptación de cada criterio, al igual que en el botón criterios de aceptación nivel 2.

Figura 24. Barra de resultados criterios nivel 1.



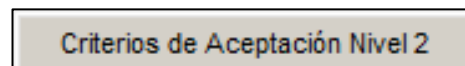
Fuente: Las Autoras.

Criterios de aceptación nivel 2:

Criterio 1: Espesor Promedio Medido y Espesor Mínimo Medido

Criterio 2: Según corresponda MAWP o MFH.

Figura 25. Botón criterios nivel 2.



Fuente: Las Autoras.

- **Numeral 8. Manual:** botón que abrirá el manual de usuario
- **Numeral 9. Atrás:** botón que debe usarse para volver a la ventana del menú principal.
- **Numeral 10. Volver a analizar:** botón que debe usarse para limpiar la ventana y comenzar a realizar una nueva evaluación
- **Numeral 11. Grabar:** botón que debe usarse para guardar los datos de la evaluación realizada en la Base de Datos.

6. EVALUACIÓN DEL SOFTWARE

La prueba final de funcionamiento del software se realiza evaluando todos los problemas de ejemplo de Fitness-For-Service Example Problem Manual, los cuales se encuentran en el Manual de la norma API 579. Por motivos de espacio solo se presenta a continuación la aplicación práctica del ejemplo 4.1 de Fitness-For-Service Example utilizando el software.

Paso 1. Digitación de datos de identificación: Se digita el nombre del equipo y se selecciona el tipo de equipo, componente y presión a evaluar, en este caso se trata de un recipiente a presión de cuerpo cilíndrico, al cual inicialmente se le evalúa utilizando la presión interna.

Figura 26. Datos Recipiente

Internal corrosion on the cylindrical shell of a heat exchanger has been found during an inspection. Details regarding the heat exchanger and inspection data are given below. The heat exchanger was constructed to the ASME B&PV Code, Section VIII, Division 1, Edition 1989. Determine if the heat exchanger is suitable for continued operation.

Vessel Data

- Material = SA - 516 Grade 60 Year 1989
- Design Conditions = 3.85 MPa @ 380°C and full vacuum @ 380°C
- Inside Diameter = 484 mm
- Nominal Thickness = 16 mm
- Future Corrosion Allowance = 2 mm
- Weld Joint Efficiency = 1.0
- Tubesheet to tubesheet distance = 1524 mm

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Fitness for Service Example Problem Manual, Ejemplo 4.1.

Figura 27. Zona de Identificación en el software.

Nombre del Equipo	<input type="text" value="SA - 516 Grade 60 Year 1989"/>	Tipo de Equipo:	<input type="text" value="Recipientes a Presion"/>
Tipo de Componente	<input type="text" value="Cuerpo Cilíndrico"/>	Tipo de Cabeza:	<input type="text" value="Seleccione Tipo de Cabeza"/>
Tipo de Presión	<input type="text" value="Presión Interna"/>	<input type="text" value="Elegir tipo de Datos"/>	

Fuente: Las Autoras.

Paso 2. Digitación de datos básicos: se deben digitar los datos habilitados por el software, que son los necesarios para realizar los cálculos de la evaluación FFS (Fig. 22).

Figura 28. Digitación de datos básicos en el software.

1* Provisión de Corrosión Futura - FCA (in)	0.078740
2* Presión de Diseño - P (in)	558.3951
3* Eficiencia de la Junta Soldada - E	1
4* Espesor Nominal - t_{nom} (in)	0.62992
5* Diametro Interno - D (in)	19.055
6* Esfuerzo de Tensión Permisible - S (Psi)	13952.04
7* Altura de Llenado de Diseño - H (in)	
8* Perdida de Metal - LOSS (in)	0.15485
9* Peso Especifico del Líquido - G (in)	
10* Mitad del ángulo del vertice - alfa (°)	

Fuente: Las Autoras.

Los datos fueron convertidos de mm a in y de MPa a Psi, dado que el software se encuentra diseñado para realizar los cálculos a partir de estas unidades.

Paso 3. Elegir el tipo de datos: una vez elegida la opción según los datos adquiridos durante la inspección el software habilitará un panel apropiado para el registro del tipo de datos. En este caso espesor por puntos.

Figura 29. Tipo de datos.

Elegir tipo de Datos	
<input checked="" type="radio"/> Espesor por Puntos	<input type="radio"/> Perfiles de Espesor

Fuente: Las Autoras.

Paso 4. Calcular espesor promedio: en el panel de datos de espesor por puntos se da clic en el botón calcular, se introducen uno a uno los datos de espesor proporcionados en el ejemplo cada dato seguido de la tecla tab y una vez introducidos en este caso los 15 datos de espesor se da clic en el botón ok.

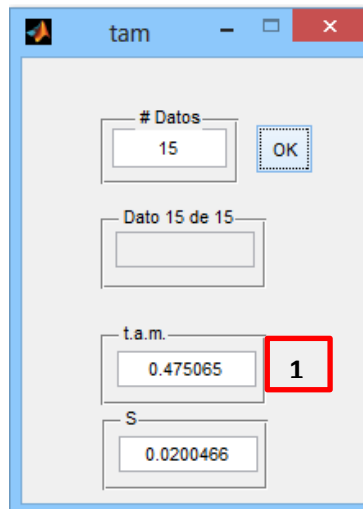
Figura 30. Datos y cálculos espesor.

Location	Thickness Reading $t_{rd,i}, i = 1 \text{ to } N$	$t_{rd,i} - t_{am}$	$(t_{rd,i} - t_{am})^2$
1	13	0.9333	0.8711
2	12	-0.0667	0.0044
3	11	-1.0667	1.1378
4	13	0.9333	0.8711
5	10	-2.0667	4.2711
6	12	-0.0667	0.0044
7	11	-1.0667	1.1378
8	12	-0.0667	0.0044
9	13	0.9333	0.8711
10	13	0.9333	0.8711
11	11	-1.0667	1.1378
12	12	-0.0667	0.0044
13	12	-0.0667	0.0044
14	13	0.9333	0.8711
15	13	0.9333	0.8711
	$t_{am} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{rd,i} = 12.0667$	1	$S = \sum_{i=1}^N (t_{rd,i} - t_{am})^2 = 12.9333$
$COV = \frac{1}{t_{am}} \left[\frac{S}{N-1} \right]^{0.5} = 0.080$		2	

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Fitness for Service Example Problem Manual, Ejemplo 4.1.

El resultado dado por el manual del espesor promedio (t_{am}) es igual a 12.0667 mm que equivale a 0.4755065 in (Fig. 30, Numeral 1), lo que coincide con el valor obtenido del software (Fig. 31, Numeral 1). El valor del coeficiente de variación (COV) (Fig. 30, Numeral 2) coincide perfectamente debido a que este es un valor adimensional (Fig. 32, Numeral 2).

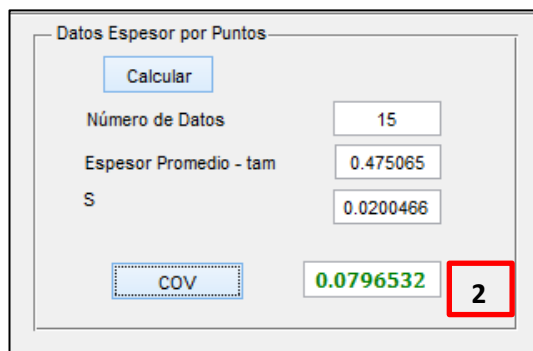
Figura 31. Calcular Tam en el software.



Fuente: Las Autoras.

Una vez obtenidos los datos se da clic en el botón load para cargar los datos y seguidamente en el botón COV, para determinar el coeficiente de variación. El COV determinado corresponde a 0.079 por lo que la evaluación no requiere toma de datos de perfiles de espesor y se puede continuar evaluando.

Figura 32. Calculo COV.



Fuente: Las Autoras.

Paso 5. Resultados: al dar clic en el botón calcular espesores y calcular MAWP el software arrojará el valor del espesor mínimo ($t_{min}=0.400$ in) y la presión máxima de operación permitida para los datos proporcionados (MAWP=533.016 Psi), valores que son equivalentes a los obtenidos por el software (10.1670mm =0.4 in) y (3.813 MPa = 533 Psi).

$$t_{\min} = \max \left[t_{\min}^c, t_{\min}^L \right] = \max [10.1670, 4.9221] = 10.1670 \text{ mm}$$

$$MAWP = \frac{SEt}{R + FCA + LOSS + 0.6t} = \frac{(96.196)(1)(10.0667)}{(242 + 2 + 3.9333) + (0.6)(10.0667)} = 3.813 \text{ MPa}$$

Figura 33. Resultados software.

The screenshot shows a window titled "Resultados" with two buttons: "Calcular Espesores" and "Calcular MAWP ó MFH". Below the buttons, there are input fields for "t min" (value: 0.400275), "L", "t mm", "tam C", "tam S", and "tam". To the right, there are output fields for "MAWP" (value: 553.016) and "MFH".

Fuente: Las Autoras.

Paso 6. Criterios de Aceptación Nivel 1: Al dar clic en este botón el software desplegara una barra con los resultados de la evaluación. En el caso de este recipiente a presión según los criterios de aceptación nivel 1 no es aceptable. Por lo que se deben revisar los criterios de aceptación nivel 2, que proporcionan resultados menos conservativos.

$$(t_{am} - FCA = 10.0667 \text{ mm}) \geq (t_{\min} = 10.1670 \text{ mm}) \rightarrow \text{False}$$

$$3.813 \text{ MPa} \geq 3.85 \text{ MPa} \rightarrow \text{False}$$

Figura 34. Resultados Nivel 1.

The screenshot shows a list of criteria under the heading "Criterios:". The results are: "Criterio 1 --> Espesor mínimo medido NO aceptable", "Criterio 2 --> Espesor promedio NO aceptable", and "criterio 3 --> MAWP NO aceptable". Below the list is a dropdown menu with a downward arrow.

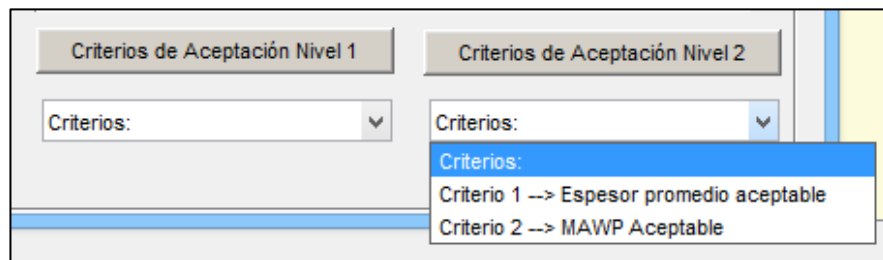
Fuente: Las Autoras.

Paso 7. Criterios de Aceptación Nivel 2: al igual que en el paso anterior se obtiene una barra de resultados en la que para este caso tanto el criterio de espesor como el de presión es aceptable, por lo que el equipo puede continuar en funcionamiento.

$$(t_{am} - FCA = 10.0667 \text{ mm}) \geq (RSF_a \cdot t_{\min} = (0.9)(10.1287) = 9.1158 \text{ mm}) \rightarrow \text{True}$$

$$4.225 \text{ MPa} \geq 3.85 \text{ MPa} \rightarrow \text{True}$$

Figura 35. Resultados Software Nivel 2.



Fuente: Las Autoras.

Paso 8. Guardar: una vez terminada la evaluación de presión interna se da clic en el botón grabar datos, para almacenar los datos y resultados de la evaluación.

Paso 9. Presión externa: para la evaluación completa de este equipo se requiere el cálculo de la MAWP externa. Para la obtención de estos resultados se debe dar clic en el botón nuevo análisis y realizar nuevamente la evaluación, esta vez indicando que se trata de la presión externa.

Figura 36. Zona de Identificación indicando presión externa.

Nombre del Equipo	SA - 516 Grade 60 Year 1989	Tipo de Equipo:	Recipientes a Presion
Tipo de Componente	Cuerpo Cilíndrico	Tipo de Cabeza:	Seleccione Tipo de Cabeza
Tipo de Presión	Presión Externa	Elegir tipo de Datos	

Fuente: Las Autoras.

Paso 10. Datos básicos y adicionales para presión externa: una vez seleccionado el tipo de equipo y componente se habilita tanto un espacio para digitar los datos básicos y un nuevo panel para los datos requeridos para el cálculo de la presión externa los cuales son dados por el manual de problemas. Se digita cada dato en el espacio correspondiente.

Figura 37. Datos Evaluación.

1* Provisión de Corrosión Futura - FCA (in)	0.078740
2* Presión de Diseño - P (in)	14.64880
3* Eficiencia de la Junta Soldada - E	
4* Espesor Nominal - tnom (in)	0.62992
5* Diametro Interno - D (in)	19.055
6* Esfuerzo de Tensión Permisible - S (Psi)	
7* Altura de Llenado de Diseño - H (in)	
8* Perdida de Metal - LOSS (in)	0.15485
9* Peso Especifico del Líquido - G (in)	
10* Mitad del ángulo del vertice - alfa (°)	
Presión Externa	
11* Esfuerzo de Fluencia a T° de Evaluación - Sy (psi)	22770.918
12* Modulo de Elasticidad - Ey (psi)	24946484.
13* Longitud entre las lineas del soporte - L (in)	60
14* Factor de Diseño - Margen de Servicio - FS	1.8774

Fuente: Las Autoras.

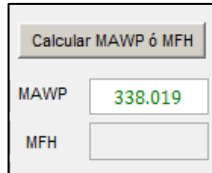
Paso 11. Calculo de espesor: Se deben introducir los datos correspondientes al espesor ya hallados en el paso 3 y 4 o repetir dichos pasos para su cálculo.

Paso 12. Calcular MAWP: en el panel de resultados se da nuevamente clic en el botón "Calcular MAWP" y se obtiene el valor de presión de trabajo externa máxima permitida 338.019 Psi (Fig. 38) que es aproximadamente igual al obtenido en el manual (2.332 MPa = 338.23 Psi)

$$2.332MPa > 0.101 MPa$$

The assessment criterion for full vacuum condition is satisfied.

Figura 38. MAWP.

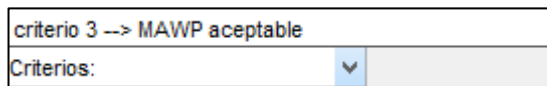


A screenshot of a software interface. At the top, there is a button labeled "Calcular MAWP ó MFH". Below the button, there are two input fields. The first field is labeled "MAWP" and contains the value "338.019" in green text. The second field is labeled "MFH" and is currently empty.

Fuente: Las Autoras.

Paso 13. Criterios: se da clic en el botón criterios de aceptación Nivel 1 y así obtenemos la evaluación de presión requerida, en este caso aceptable. Lo que indica que este equipo puede seguir operando bajo estos parámetros o condiciones.

Figura 39. Criterios presión externa.



A screenshot of a software interface showing a dropdown menu. The menu is open, displaying the text "criterio 3 --> MAWP aceptable". Below the menu, there is a label "Criterios:" followed by a dropdown arrow.

Fuente: Las Autoras.

Paso 14. Guardar: una vez terminada la evaluación se da clic en el botón grabar datos, para almacenar los datos y resultados de la evaluación.

6.1 Base de datos

Cuando se desea abrir la base de datos para buscar una evaluación realizada anteriormente se debe ingresar al editor de MATLAB y escribir en el Command Window 'Load Base_Datos', después oprimir Enter y escribir 'API_579.' Seguido del nivel que se desea abrir (Nivel_1. o Nivel_2.) y de la parte que se desea abrir (Parte_3, Parte_4, Parte_5, Parte_6, Parte_7, Parte_8, Parte_9, Parte_10, Parte_11, Parte_12 y Parte_13). Matlab entregará todos los valores editados y calculados en las interfaces, el usuario debe buscar por el nombre del equipo digitado al momento de realizar la evaluación.

7. CONCLUSIONES

- a) En la realización de este trabajo se consiguió conocer una metodología de inspección basada en defectos bajo el procedimiento de la norma API 579 y junto a esto realizar una administración de datos de inspección para obtener mejores resultados de la evaluación de la integridad estructural de un componente.
- b) A partir de la implementación del software para el Manual de Ejemplo de Problemas Fitness for Service se observó lo práctico y eficiente del mismo en la evaluación de la integridad estructural de los componentes. Obteniendo un mismo resultado de la evaluación en poco tiempo y con los mismos valores numéricos calculados en los ejemplos.
- c) Se demostró como la programación de software facilita la evaluación de la integridad estructural de un componente que tiene diversos defectos estableciendo si el equipo puede seguir operando de manera segura.
- d) Se Aplicaron conceptos y conocimientos metalúrgicos en él estudio de la norma API 579, para el entendimiento y aplicación de la misma en la elaboración del programa computacional. Es por esto que la realización de este tipo de proyectos permite crear un fortalecimiento profesional en todas las áreas metalúrgicas.
- e) Se estableció con el estudio de la norma API 579 que en la integridad de equipos es importante tener un amplio conocimiento en el diseño, operación, mantenimiento y en la ingeniería de procesos, ya que son de vital importancia para un correcto análisis de resultados y así garantizar que los equipos que tienen defectos y han sido identificados durante una inspección puedan seguir operando de manera segura.
- f) Con la creación del software se fortalecen los conceptos de programación aprendidos en la materia de simulación. Y de esta manera mejorar el desarrollo profesional para el uso de la plataforma GUIDE de MATLAB.

8. RECOMENDACIONES

- a) Para garantizar la efectividad de la evaluación se recomienda que la persona tenga conocimientos básicos de integridad de equipos.
- b) Dado que no se encontraron las formulas para determinar los valores de las gráficas de las Figuras 8,11-8,12-9,12 a 9,18- 12,4 y 10,3 a 10,25 de la norma API-579 que sirven para obtener valores de temperatura y espesor. Se sugiere buscar las fórmulas para incorporarlas las ecuaciones de estas gráficas para mejorar la facilidad de los cálculos. Logrando de esta manera el mejor funcionamiento del mismo.
- c) Para lograr un completo desarrollo del software se recomienda con la ayuda de un especialista en programación complementar los niveles 2 de los siguientes mecanismos de daño: Daño por Creep, Daños Mecánicos y Daños por Fuego.
- d) El software desarrollado se puede integrar con otros software de normas como API 571, RBI 580 Y 581 que tengan el mismo lenguaje de programación.

9. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE and AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS Fitness For Service. Segunda edición. API, 2007, API 579-1/ASME FFS-1.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems . Tercera Edición , Noviembre 2009, API 570.

GAMBOA COTE, Alberto. “Desarrollo De Una Herramienta Computacional Para La Enseñanza De La Norma API-579 FITNESS-FOR-SERVICE (Evaluación De La Aptitud Para El Servicio)”. Tesis 2011. UIS.

International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. Enero – Marzo, 2012 Vol I E-ISSN2249–8974.

International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2000. E-77 ISSN 953-963

RODRIGUEZ, José Ignacio y GARCÍA DE JALÓN, Javier y VIDAL, Jesús. Aprende Matlab 7.0 como si estuviera en primero. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2005.

SOLARI, Mario. “Sistema Integrado De Análisis De Riesgo, Determinación De Vida Remanente y Análisis De Fallas De Instalaciones Industriales”. API 581 y API 579. Curso ASME.

10. ANEXOS

Anexo A. MANUAL DE USUARIO FITNESS FOR SERVICE

INTRODUCCIÓN

El software FITNESS FOR SERVICE es una herramienta computacional que permite evaluar en forma ágil y ordenada la integridad estructural de un equipo bajo los parámetros de la norma API 579. Este software es una aplicación desarrollada bajo el ambiente de Windows, mediante la creación de interfaces en GUIDE de MATLAB y bajo la programación de la plataforma MATLAB versión 2010a.

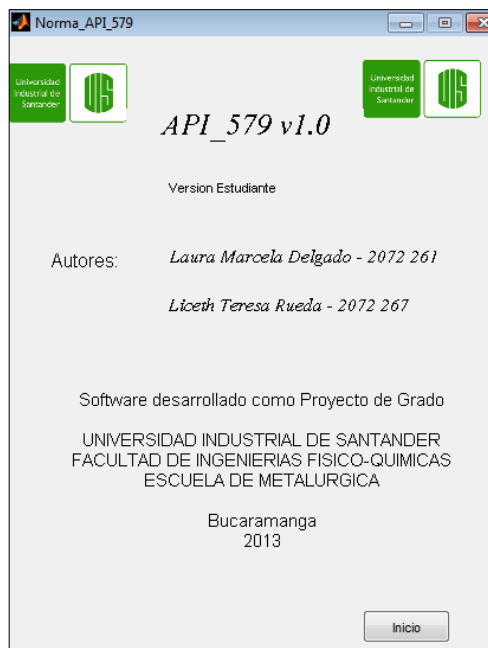
INSTALACION DEL SOFTWARE

Para la ejecución del software primero se debe tener en cuenta la instalación de MATLAB.2010ªa en el computador, después se realiza una copia de la carpeta 'API579' dentro de la cual se encuentra el archivo ejecutable con el nombre de 'API579', dando clic sobre este se procede a la utilización del software.

INGRESO A FITNESS FOR SERVICE

Haciendo clic sobre el archivo ejecutable se visualiza la presentación del software.

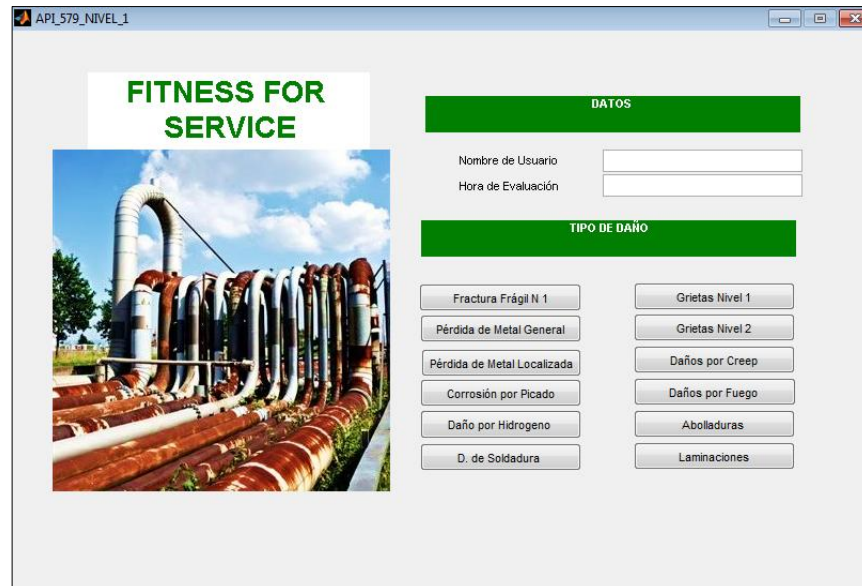
Figura 1. Ingreso al software



Fuente: Los Autores

Al hacer clic en 'Inicio' se carga la ventana Menú de entrada.

Figura 2. Menú de entrada



Fuente: Los Autores

Mediante esta interfaz (Fig. 3.) el usuario encuentra una parte donde se debe ingresar el nombre del usuario y la hora de evaluación, para establecer un valor a encontrar en la base de datos. Por otra parte el usuario encuentra los ítems de los diferentes mecanismos de daño que se pueden encontrar en el programa:

- Fractura Frágil.
- Perdida de Metal General
- Perdida de Metal Localizada
- Corrosión por Picado
- Daño por Hidrogeno
- Distorsión de soldadura
- Grietas Nivel 1
- Grietas Nivel 2
- Daños por Creep
- Daños por Fuego
- Abolladuras
- Laminaciones

El usuario se puede ubicar sobre cada ítem y al hacer clic sobre este se abre una nueva interfaz con los datos que el usuario debe introducir y con los datos

que el programa genera a partir de estos. Cuando el usuario hace clic sobre el signo 'X' se cierra la ventana y se sale del programa

INTERFACES DE LOS MECANISMOS DE DAÑO

Fractura Frágil.

Nivel 1

Figura 3. Fractura frágil Nivel 1

API_579_PARTE_3_NIVEL_1

Identificación del equipo: Primero 1 MANUAL

Seleccione Equipo:

Recipientes a Presión Tuberías Tanques 2

Temperatura Crítica de Exposición -CET [°F] 60 3

Punto de Partida de la MAT:

Utilizando curvas de extensión del ensayo de impacto. 4
 Utilizando resultados de pruebas de Impacto.

Cálculo del MAT:

Espesor gobernante no corroído -tg [in] 1.6875 5

Material C 6

MAT [°F] 101.126 7

Reducción del MAT:

Fabricado Con Materiales P1 grupo 1 o 2 de ASME 9
 Se le realizó un PWHT
 Con un espesor nominal <= 1.5 [in] (38 mm)

MAT Reducida [°F] 71.1259 10

¿Desea reducir el MAT? 8

Si No

Resultado 11

Nivel 2 12

NUEVO ANÁLISIS ATRAS GUARDAR DATOS

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Figura 4. Nombre de equipo

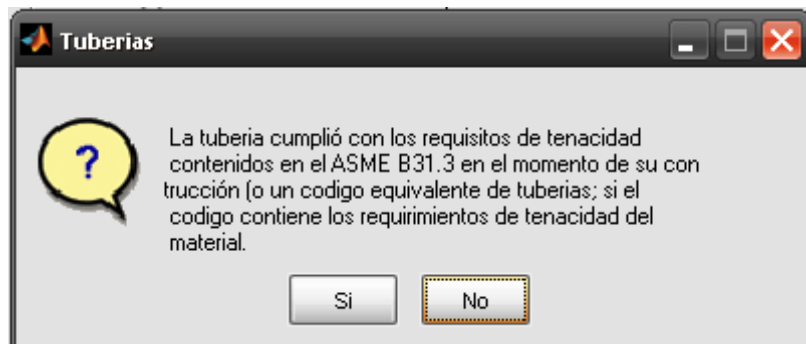
Nombre del Equipo

Fuente: Los Autores.

Numeral 2. Selección tipo de equipo: Inicialmente el software comienza con la evaluación de recipientes a presión, pero el usuario puede escoger entre otras dos opciones: Sistemas de Tubería y Tanques de Almacenamiento. Dependiendo del tipo de equipo a evaluar.

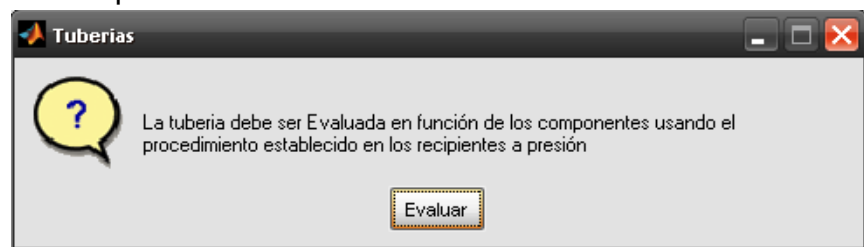
- 1. Sistemas de Tuberías:** Se abre una nueva interfaz la cual cuenta con dos opciones: Si o No, de acuerdo con el código de construcción original del equipo dependiendo si cumple o no con la condición de tenacidad. Cuando la opción seleccionada es Si, se abre un vínculo con el botón evaluar el cual me abre la interfaz de recipientes a presión. Cuando la opción seleccionada es No, Se abre un vínculo con una advertencia.

Figura 5. Sistemas de Tuberías



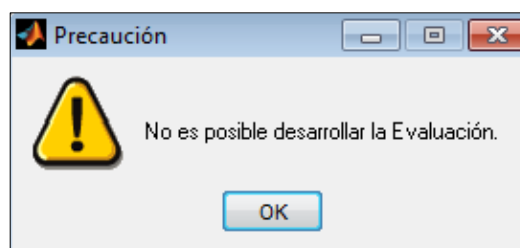
Fuente: Los Autores.

Figura 6. Opción Si



Fuente: Los Autores.

Figura 7. Opción No



Fuente: Los Autores.

2. Tanques de Almacenamiento: Inicialmente el software comienza con la evaluación de Tanques de almacenamiento construidos bajo API 650, pero el usuario puede escoger entre otras dos opciones: Tanques de almacenamiento de baja presión construidos con API 620 y Tanques con productos refrigerados, basados en el código de construcción original.

Figura 8. Tanques de almacenamiento construidos bajo API 650

Tanques de Almacenamiento

Tanques de almacenamiento construidos bajo API 650

Tanques de almacenamiento de baja presión construidos con API 620

Tanques con productos Refrigerados

API 650

El tanque cumple con los requisitos de tenacidad actual de código de construcción (1)(2)

Si No

NIVEL 2

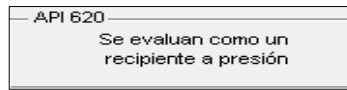
Fuente: Los Autores.

Numeral 1. API 650: Se abre una ventana, la cual cuenta con dos opciones: Si o No, de acuerdo con el código de construcción original del equipo dependiendo si cumple o no con la condición de tenacidad. Cuando la opción seleccionada es Si, Muestra la frase 'Componente apropiado para continuar en servicio'. Cuando la opción seleccionada es No, Muestra el botón 'NIVEL 2'.

Numeral 2. NIVEL 2: Se abre la interfaz de evaluación nivel 2 para tanques de almacenamiento construidos bajo API 650

Tanques de almacenamiento de baja presión construidos con API 620: Abre una ventana que le indica al usuario que se debe evaluar el componente como recipientes a presión (Figura 1).

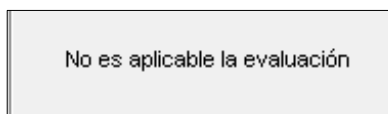
Figura 9. API 620



Fuente: Los Autores.

Tanques con productos refrigerados: Se abre una ventana que le indica al usuaria que la evaluación no se puede realizar.

Figura 10. Advertencia



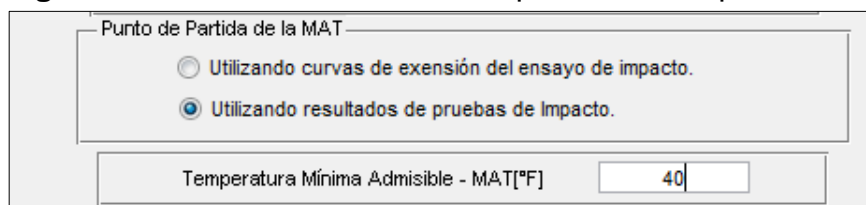
Fuente: Los Autores.

Numeral 3. Valor del CET: Ingreso de esta temperatura critica de exposición (CET) del código de diseño del equipo.

Numeral 4. Selección del punto de partida de la MAT: Inicialmente el software comienza con la opción; utilizando curvas de exención del ensayo de impacto, pero el usuario puede escoger la otra opción: Utilizando resultados de pruebas de impacto

Utilizando resultados de pruebas de impacto: El usuario debe suministrar el valor de la Temperatura mínima admisible (MAT); de los resultados de pruebas de impacto

Figura 11. Utilizando resultados de pruebas de impacto

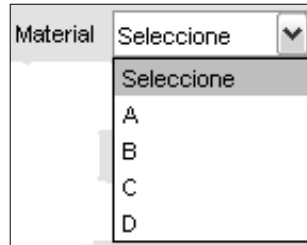


Fuente: Los Autores

Numeral 5. Espesor nominal del equipo-Tg: De los datos del equipo ingresamos su espesor nominal (Tg) en pulgadas.

Numeral 6. Tipo de material: Dependiendo del tipo de material de construcción del equipo le asignamos una curva (A, B, C o D) de acuerdo con la tabla 3.2 de la norma

Figura 12. Tipo de material



Fuente: Los Autores

Numeral 7. MAT: Muestra el resultado de la temperatura mínima permitida (MAT) en grados Fahrenheit, conociendo el espesor y el tipo de material; esto con base en la figura 3.4 de la norma.

Numeral 8. Reducción del MAT: El usuario está en libertad de usar el MAT reducido si lo considera necesario.

Numeral 9. Casillas de verificación: Son usadas para reducir la temperatura MAT, siempre y cuando se cumplan las tres condiciones.

Numeral 10. MAT Reducida: Muestra el resultado de la temperatura mínima permitida (MAT) reducida; MAT -30

Numeral 11. Cuadro de resultado: Cuadro donde se muestra el resultado de la evaluación generado por el software. Los resultados pueden ser: Nivel 2 o Componente apropiado para continuar en servicio.

Numeral 12. Nivel 2: Abre la interfaz API_579_PARTE_3_NIVEL_2 (Figura 13). Antes de realizar una evaluación de nivel dos se deben guardar los datos y resultados encontrados en el botón 'GUARDAR DATOS'

Nivel 2

Figura 13. Fractura Frágil Nivel 2 para Recipientes a presión y Sistemas de Tuberías.

API_579 PARTE 3 NIVEL 2

Esfuerzos **1**

MANUAL

Datos

Pérdida de Metal - LOSS(in): 0

Presión de Diseño - P [Psi]: 650

Provisión de Corrosión Futura - FCA (in): 0.1563

Eficiencia de la junta soldada - E: 0.95 **2**

Espesor mínimo requerido - tmin(in): 1.6875

Espesor de pared - t(in): 1.7165

Diametro interno - D(in): 144

Esfuerzo de Tensión Permissible - S(Psi): 16875

Presión Nominal en la MAT - Prating(Psi):

<= 25 Ksi **3**

Cantidad de Presiones de Operación-N: 9 **4**

	Presión de Operación	Rts	TR	MAT	Análisis	MATr	5
1	650	1.7814	-78.1444	179.2704	<input type="checkbox"/>	149.27	
2	584	1.6006	-60.0563	161.1822	<input type="checkbox"/>	131.1822	
3	520	1.4252	-42.5162	143.6422	<input type="checkbox"/>	113.6422	
4	455	1.2470	-24.7022	125.8281	<input type="checkbox"/>	95.8281	
5	390	1.0689	-6.8881	108.0140	<input type="checkbox"/>	78.0140	
6	325	0.8907	10.9260	90.1999	<input type="checkbox"/>	60.1999	
7	263	0.7208	27.9179	73.2080	<input type="checkbox"/>	43.2080	

Evaluación **7**

3	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/>

Calcular **6**

GRABAR DATOS

NIVEL B **8**

ATRAS

NUEVO ANÁLISIS

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Datos Conocidos: Dependiendo del tipo de datos conocidos del funcionamiento del equipo seleccionamos los datos conocidos.

Figura 14. Datos Conocidos.

Datos Conocidos:

Datos Conocidos:

Espesores

Esfuerzos

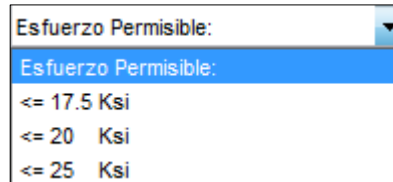
Presion Temp de Trabajo

Fuente: Los Autores

Numeral 2. Datos: Entrada de datos del equipo. Datos de diseño, mantenimiento e historia operativa.

Numeral 3. Esfuerzo Permissible: Dependiendo del tipo de esfuerzo permitido en el funcionamiento del equipo le asignamos un esfuerzo.

Figura 15. Esfuerzo permisible



Fuente: Los Autores

Numeral 4. Cantidad de Presiones de Operación-N: El usuario debe editar el número de presiones que se utilizaron en la operación o funcionamiento del equipo contando la presión de diseño.

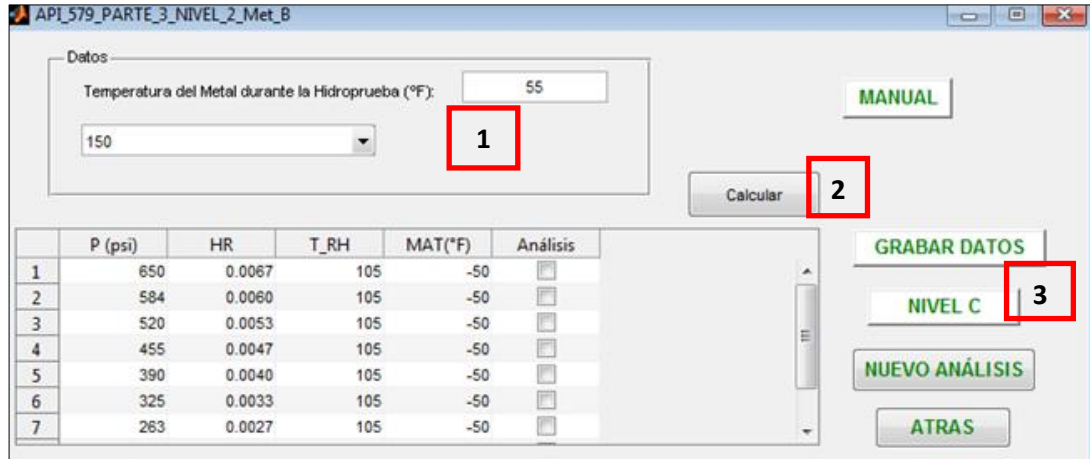
Numeral 5. Tablas de Operaciones: En la primera columna el usuario debe editar cada uno de los valores de presión utilizados durante el funcionamiento del equipo como primer valor en esta columna el software mostrara la presión de diseño.

Numeral 6. Calcular: Muestra los valores calculados de la relación de tensiones (Rts), Reducción de la temperatura (TR), temperatura mínima permitida (MAT), Columna con los resultados de la evaluación (Análisis), (El cuadro chuleado indica que el componente es apropiado para continuar operando, mientras que el cuadro sin chulear indica que es necesario realizar otra evaluación), Temperatura mínima permitida reducida (MATr)

Numeral 7. Tabla de resultados con reducción de la MAT: La tabla muestra la evaluación correspondiente con una MAT reducida. El cuadro chuleado indica que el componente es apropiado para continuar operando, mientras que el cuadro sin chulear indica que es necesario realizar una evaluación Nivel B.

Numeral 8. NIVEL B: Abre la interfaz API_579_PARTE_3_NIVEL_2_Met_B (Figura 16), antes de realizar una evaluación de nivel B se debe guardar los datos y resultados encontrados con el botón GUARDAR DATOS

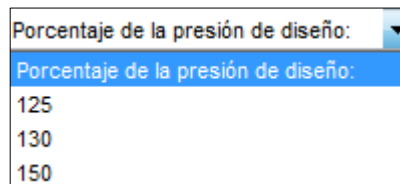
Figura 16. Fractura frágil Nivel B para Recipientes a presión y Sistemas de Tuberías



Fuente: Los Autores

Numeral 1. Datos: Se debe editar el valor de la temperatura del metal durante la hidroprueba y seleccionar el porcentaje de la presión de diseño en la hidroprueba.

Figura 17. Porcentaje de la presión de diseño



Fuente: Los Autores

Numeral 2. Calcular: en la primera columna se muestra los valores de la presión de diseño editadas en el nivel 2 (Figura 13) en las siguientes columnas se calcula; máxima presión de operación esperada/ presión de hidroprueba (HR), Reducción de la temperatura (T_RH), temperatura mínima permitida (MAT) Y los resultados de la evaluación (Análisis), (El cuadro chuleado indica que el componente es apropiado para continuar operando, mientras que el cuadro sin chulear indica que es necesario realizar una evaluación Nivel c)

Numeral 3. NIVEL C. Dependiendo del tipo de equipo seleccionado, se muestran criterios de selección que dependen de las condiciones de funcionamiento y dos opciones (Si o No) para responder las preguntas. Antes de realizar una evaluación de nivel C se debe guardar los datos y resultados encontrados con el botón GUARDAR DATOS

Figura 18. Fractura frágil Nivel C en Recipientes cilíndricos.

Parte C Recipientes

¿El equipo cumple con todos los criterios descritos a continuación?

1. Los contenedores presurizados con aceros P-1 y P-3 (definidos en el Código ASME sección IX), donde la temperatura de diseño es menor o igual a 343°C (650°F). Aceros P-4 y P-5 también se pueden evaluar en este nivel, teniendo en cuenta las precauciones apropiadas para evitar una fractura por fragilidad debido a fragilización durante el servicio (ejemplo, precalentando antes de la presurización).
2. Las condiciones de operación nominal son esencialmente las mismas y consisten en condiciones de diseño específicas para un periodo de tiempo significativo, y condiciones más severas que no esperadas en el futuro (temperaturas más bajas y/o un esfuerzo mayor).
3. CET es mayor o igual a -29°C (-20°F).
4. El grosor nominal predominante sin corrosión no es mayor a 50.8mm (2 pulgadas).
5. El servicio cíclico como se define en el apéndice 1 no es un requerimiento de diseño
6. El equipo no está en un servicio activo de falla ambiental (ver Apéndice G)
7. El equipo no está sometido a un choque de congelación (para definición de Choque de Congelación ver

NIVEL 3 DE EVALUACIÓN

Fuente: Los Autores

Figura 19. Fractura frágil Nivel C en Recipientes cilíndricos.

Parte C Tuberías

¿Es posible un choque de congelación por un flujo de líquido más frío por debajo de -20°F?

¿Es posible la Vibración o la baja temperatura de impacto?

¿Espesor de pared nominal del componente es mayor de 0.5 pulgadas?

¿El componente cumple con los criterios operativos de experiencia?

¿Tubería sin costura?

¿El esfuerzo longitudinal y circunferencial es menor o igual a 55MPa?

¿El esfuerzo longitudinal es menor o igual a 55MPa?

NIVEL 3 DE EVALUACIÓN

Fuente: Los Autores

Figura 20. Fractura frágil Nivel 2 en Tanques de Almacenamiento.

API_579_PARTE_3_NIVEL_2_TANQUES

Nivel 2 Tanques

MANUAL

¿Demostró aptitud para el servicio en hidropuebas realizadas anteriormente? No

¿El espesor nominal del tanque es menor o igual a 0.5 pulgadas? No

¿Temperatura de funcionamiento del tanque por encima de 60°F? No

¿Esfuerzo de membrana menor o igual a 55,2 Mpa? No

¿El tanque esta exento de pruebas de impacto? No

¿El tanque esta lleno en la temperatura mas baja del día ? No

NIVEL 3 DE EVALUACION

ATRAS

Fuente: Los Autores

Se muestran criterios de selección que dependen de las condiciones de funcionamiento de Tanque de Almacenamiento y dos opciones (Si o No) para responder las preguntas.

Perdida de Metal General

Figura 21. Pérdida de metal general Nivel 1 y 2.

Sección 4

Nombre del Equipo 1 Tipo de Equipo: Seleccione Tipo de Equipo

Tipo de Componente Seleccione Tipo de Componente Tipo de Cabeza: Seleccione Tipo de Cabeza

Tipo de Presión Tipo de Presión

2 Provisión de Corrosión Futura - FCA (in)

Presión de Diseño - P (in)

3° Eficiencia de la Junta Soldada - E

4° Espesor Nominal - tnom (in)

5° Diámetro Interno - D (in)

6° Esfuerzo de Tensión Permisible - S (Psi)

7° Altura de Llenado de Diseño - H (in)

8° Pérdida de Metal - LOSS (in)

9° Peso Específico del Líquido - G (in)

10° Mitad del ángulo del vertice - alfa (°)

Elegir tipo de Datos 4

Espesor por Puntos Perfiles de Espesor

Datos Espesor por Puntos 5

Calcular

Número de Datos

Espesor Promedio - tam

S

COV

Resultados 6

Calcular t min Calcular MAWP ó MFH

t min tam C MAWP

L tam S MFH

t mm tam

Criterios de Aceptación Nivel 1 7 Criterios de Aceptación Nivel 2

MANUAL ATRAS NUEVO ANÁLISIS GRABAR DATOS

Fuente: Los Autores.

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando.

Figura 22. Elección tipo de equipo

Seleccione Tipo de Equipo

Seleccione Tipo de Equipo

Recipientes a Presion

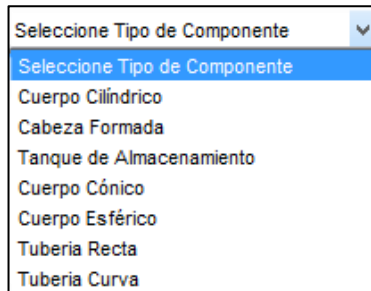
Tuberias

Tanques de Almacenamiento

Fuente: Los Autores.

Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando.

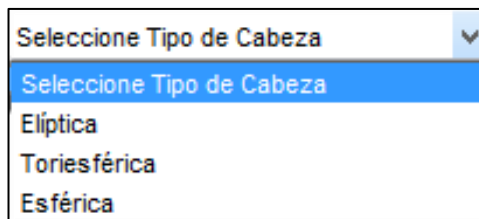
Figura 23. Elección tipo de componente



Fuente: Los Autores.

En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando.

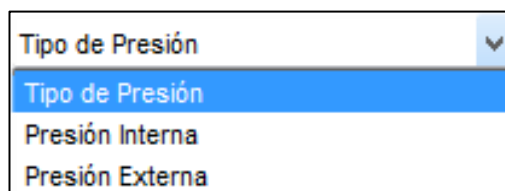
Figura 24. Elección tipo de cabeza



Fuente: Los Autores.

Tipo de Presión: en esta barra se debe seleccionar el tipo de presión a evaluar, ya sea: interna o externa.

Figura 25. Elección tipo de Presión



Fuente: Los Autores.

En caso de seleccionar el equipo, componente o presión de manera equivocada, o no seleccionar alguna opción el software evidenciará dicho error con la aparición de una ventana de advertencia, para realizar la corrección necesaria para una adecuada evaluación.

Figura 26. Ventana de Advertencia



Fuente: Los Autores.

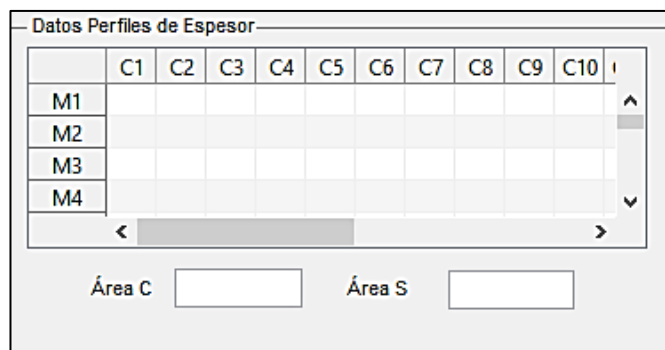
Numeral 2. Datos evaluación: dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Numeral 3. Panel de datos adicionales: dependiendo de las opciones escogidas en la zona de identificación del equipo a evaluar el software podrá habilitar diversos paneles para la introducción de datos adicionales indispensables para la evaluación.

Numeral 4. Elegir tipo de datos: consta de un panel para la selección del tipo de datos de espesor a tomar, ya sea: espesor por puntos o perfiles de espesor. Inicialmente el software selecciona espesor por puntos pero el usuario puede seleccionar la otra opción.

Perfil de Espesores: en este panel se deben introducir cada uno de los datos de espesor tanto en la dirección longitudinal (M), como en la dirección circunferencial (C) de la pieza a evaluar y los datos de las áreas en cada una de las direcciones.

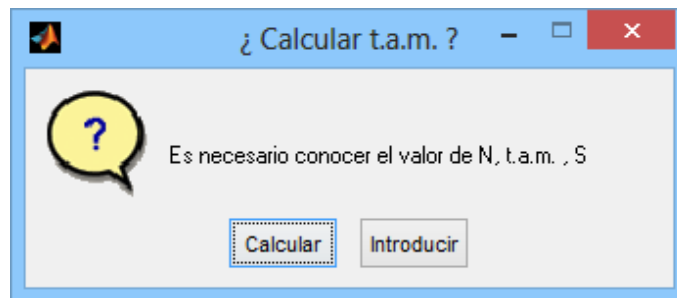
Figura 27. Datos de perfiles de espesor



Fuente: Los Autores.

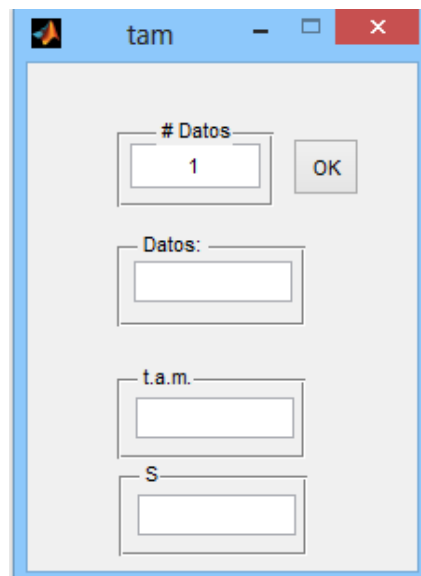
Numeral 5. Espesor por puntos: Se habilita un panel en el cual se pueden introducir el número de datos tomados, el espesor promedio (t_{am}). También cuenta con un botón llamado calcular, el cual abrirá una nueva ventana que funciona como una herramienta para calcular el espesor promedio. Al dar clic en el botón calcular inicial se desplegará una ventana, la cual cuenta con dos opciones se debe dar clic en introducir en caso de ya haber calculado dichos valores e introducirlos en sus respectivos lugares, en caso de aún no haberlos calculado se puede elegir la opción calcular, que abrirá una ventana para el cálculo del espesor promedio.

Figura 28. Ventana calcular



Fuente: Los Autores.

Figura 29. Herramienta para calcular el espesor promedio



Fuente: Los Autores.

En esta nueva ventana se deben introducir el número de datos de espesor en # Datos, seguido de este cada uno de los datos de espesor tomados al componente en Datos. El software calculará el valor del espesor promedio medido (t_{am}) y la desviación estándar, al dar clic en ok nos llevará de nuevo al

panel de datos de espesor por puntos en el cual al dar clic en la opción load podrá cargar los datos ya calculados y por consiguiente calcular coeficiente de variación (COV) al dar clic en el botón COV mostrado en el numeral 5.

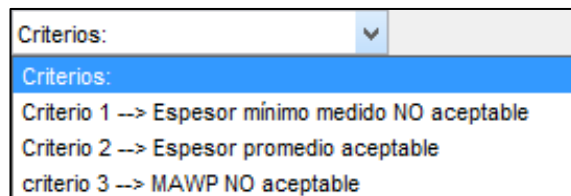
Si el coeficiente de variación es superior al 10% inmediatamente se eliminarán los datos de espesor por puntos y la evaluación deberá realizarse con datos de perfiles de espesor. Lo que activa un panel para introducir los datos de perfiles de espesor.

Numeral 6. Resultados: el panel de resultados cuya función es mostrar las variables calculadas por el software que serán utilizadas en la evaluación, aceptación o rechazo de cada uno de los criterios según el tipo de componente y datos de perfiles. Está compuesto por los cálculos de espesores mínimo, mínimo medido y promedio tanto en la dirección circunferencial como en la dirección longitudinal, los valores de presión máxima de trabajo permitida y altura máxima de llenado en el caso de los tanques.

Numeral 7. Criterios de aceptación

Criterios de aceptación nivel 1: Al dar clic en este botón el software evaluará el componente según los criterios de evaluación de esta parte

Figura 30. Barra de resultados criterios nivel 1



Fuente: Los Autores.

Criterios de aceptación nivel 2:

Criterio 1: Espesor Promedio Medido y Espesor Mínimo Medido

Criterio 2: Según corresponda MAWP o MFH.

Pérdida de Metal Localizada

Figura 31. Corrosión localizada Nivel 1.

Panel

Identificación del Equipo **MANUAL** **1**

Tipo de Equipo Recipiente a Presión **2**

Tipo de Componente Cabezas formadas **3**

Presión de Diseño-P(Psi):

Diametro Interno - ID (in):

Espesor Nominal - tnom (in):

Pérdida de Metal - LOSS (in):

Provisión de Corrosión Futura - FCA (in):

Eficiencia de la junta soldada longitudinalmente-EI:

Eficiencia de la junta soldada circunferencialmente-Ec:

Distancia a la discontinuidad estructural mas cercana-Lmsd(in):

Esfuerzo de Tensión permisible-S(Psi):

Mitad del angulo del vertice-alfa(°):

Continuar **4**

Tipo de cabeza Torisférica

Tipo de geometría: Seleccione tipo de Geometría

Datos cabeza torisferica

Radio de la corono-Cr(in): **3**

Radio de la artic interior-Rk(in):

Promedio de grosor remanente-Rt(in)=

Resultado

ATRAS NUEVO ANÁLISIS GUARDAR DATOS

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

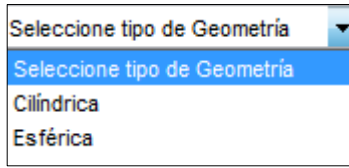
Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando (Figura 22).

Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando (Figura 23). En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando (Figura 24).

Tipo de Geometría: El usuario debe seleccionar el tipo de geometría del Tanque de almacenamiento a inspección.

Figura 32. Seleccione tipo de Geometría



Fuente: Los Autores

Numeral 2. Datos de evaluación: dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Numeral 3. Panel de datos adicionales: dependiendo de las opciones escogidas en la zona de identificación del equipo a evaluar el software podrá habilitar diversos paneles para la introducción de datos adicionales indispensables para la evaluación.

Numeral 4. Continuar: Permite continuar con la evaluación. Abre el botón 'Calcular Tc' (Figura 33), el cual calcula el valor del espesor mínimo medido (Tc) y abre la opción 'tipo de falla' (Figura 33).

Figura 33. Tipo de falla

Panel

Identificación del Equipo: MANUAL

Tipo de Equipo: Recipiente a Presión

Tipo de Componente: Cuerpo cilíndrico

Presión de Diseño-P(Psi): 300

Diametro Interno - ID (in): 96

Espesor Nominal - tnom (in): 1.25

Perdida de Metal - LOSS (in): 0.1

Provisión de Corrosión Futura - FCA (in): 0.125

Eficiencia de la junta soldada longitudinalmente-Et: 1

Eficiencia de la junta soldada circunferencialmente-Ec: 1

Distancia a la discontinuidad estructural mas cercana-Lmsd(in): 60

Esfuero de Tensión permisible-S(Psi): 17500

Mitad del ángulo del vertice-alfa(°):

Tipo de falla: LTA En forma de grieta

Calcular Tc (in)= 1.025

Perfiles de espesor

Numero de filas: 5 Numero de columnas: 9

1.1500	1.1150	1.1500	1.1500	1.1500
1.1500	0.8700	0.8700	0.8700	0.8700
1.1500	0.8100	0.4700	0.4700	0.8100
1.1500	0.8500	0.6500	0.6700	0.9000
1.1500	1.1500	1.1500	0.7800	0.8100

Grosor mínimo medido-tmm(in)= 0.47

Promedio de grosor remanente-Rt(in)= 0.336585

Tamaño limitante:

Tipo de cabeza: Torisférica

Tipo de geometría: Seleccione tipo de Geometría

Evaluación de la extensión circunferencial(LTA)

Distancia -dc(in): 1

Dimensión de la LTA-C(in)= 4

Parámetro-c= 0.516952

Condiciones

TSF= 1.11063

Gráfico de α_c vs λ_c

Análisis de la gráfica: Aceptable Inaceptable

Resultado: NIVEL 2

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Tipo de falla: Inicialmente el software comienza con la opción; Área Adelgazada Localmente (LTA), pero el usuario puede escoger la otra opción: En forma de grieta. Después de editados los valores necesarios en cada tipo de falla, se debe calcular el valor tmm y Rt.

Figura 34. En forma de Grieta

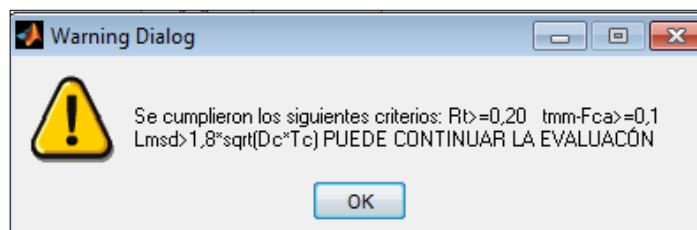
Datos falla en forma de grieta	
Angulo beta-B(°):	0
Profundidad de la grieta-prof(in):	0.45
longitud la grieta-gl(in):	8
Ancho de la grieta-gwin):	1.5
Radio de la grieta-gr(in):	0.6
Grosor mínimo medido-tmm(in)=	0.675

Fuente: Los Autores

Numeral 2. Perfiles de espesor: Primero se debe editar el número de filas las cuales corresponden a la dirección longitudinal (M), después de debe editar la cantidad de columnas las cuales corresponden a la dirección circunferencial (C). Dando clic después de escribir el número de columna se habilita la tabla para editar los valores de espesores necesarios para la evaluación.

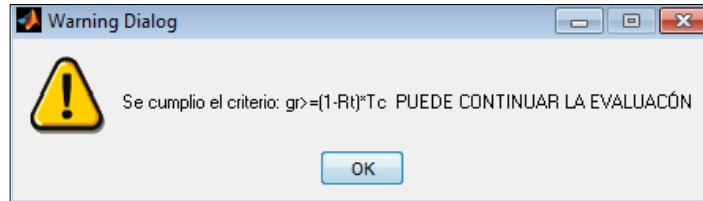
Numeral 3. Tamaño limitante: Evalúa los criterios limitantes de tamaño para cada tipo de falla. Pueden ocurrir dos opciones: que cumpla o que no cumplan. Si no cumplen los criterios una evaluación nivel 2 se puede llevar a cabo. Para la falla en forma de grieta adicionalmente se tiene un criterio de grieta.

Figura 35. Tamaño Limitante



Fuente: Los Autores

Figura 36. Criterio de grieta.



Fuente: Los Autores

Numeral 4. Evaluación de la extensión circunferencial: Primero se Edita el valor de la distancia de la lectura de grosores en la dirección circunferencial (d_c), después se calcular el valor de la dimensión circunferencial (C), el valor del parámetro λ , se evalúan las condiciones, se calcula el valor del factor de tensión de esfuerzos (TSF). El usuario debe encontrar un punto en la gráfica mostrada en la figura 33 con los valores del parámetro λ y el valor de R_t . También debe visualizar la curva TSF con el valor calculado anteriormente.

Antes de abrirse la evaluación de la extensión circunferencial, primero se debe ser aceptable la evaluación de la extensión longitudinal.

Evaluación de la extensión longitudinal: Se debe editar el valor de la distancia de la lectura de grosores en la dirección longitudinal (d_s), se debe calcular la dimensión meridional (S), la dimensión meridional (S), después de debe oprimir el botón 'Evaluar por medio de la Figura 5.6 o 5.7' para la evaluación correspondiente dependiendo de la geometría del componente (elíptica o cilíndrica), se calcular el valor del Factor de resistencia remanente (RSF) y por último se calcular el valor de la Presión de operación máxima permitida (MAWP) o el valor de la Presión de operación máxima permitida reducida (MAWPr). Cuando la extensión longitudinal no es aceptable se debe realizar una evaluación de nivel 2 (Numeral 6), de lo contrario se se abre el botón 'evaluar la extensión circunferencial' el cual dará inicio a esta evaluación.

Figura 37. Evaluación de la extensión longitudinal para falla LTA

A screenshot of a software dialog box titled "Evaluación de la extensión longitudinal(LTA)". It contains several input fields and labels:

- Distancia de lectura de grosores - d_s (in): 0.5
- Dimensión de la LTA-S(in)= 4
- Parámetro-s= 0.516952
- Factor de resistencia Remanente-RSF= 0.90039
- MAWP(psi)= 367.271

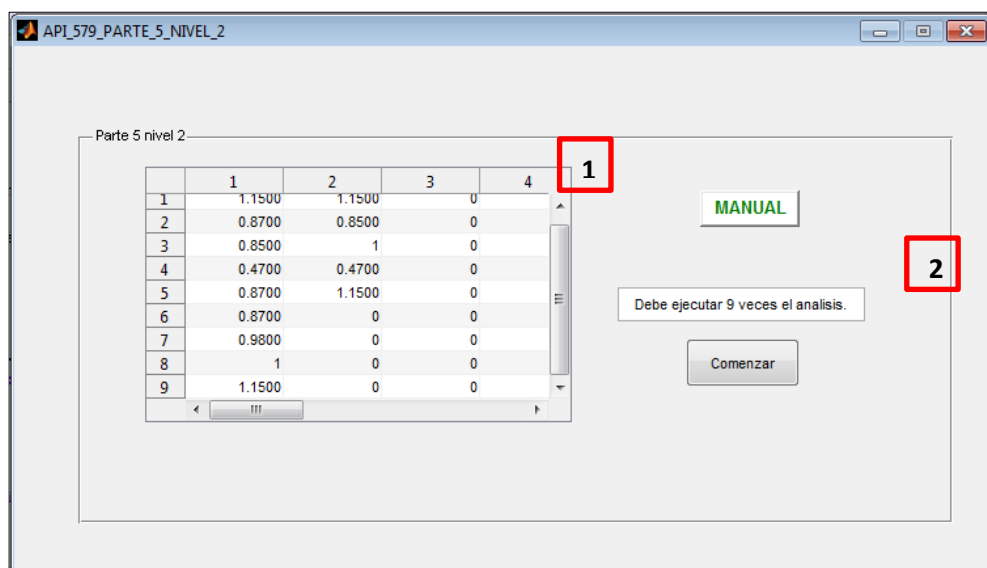
Fuente: Los Autores

Numeral 5. Botón opción: Existen dos opciones de análisis de la gráfica

- Aceptable. El punto se encuentra en o por encima de la curva TSF
- Inaceptable: El punto se encuentra por debajo de la curva TSF

Numeral 6. NIVEL 2: Abre la interfaz API_579_PARTE_5_NIVEL_2. Antes de realizar una evaluación de nivel dos se debe guardar los datos y resultados encontrados con el botón GUARDAR DATOS

Figura 38. Pérdida de Metal Local Nivel 2.

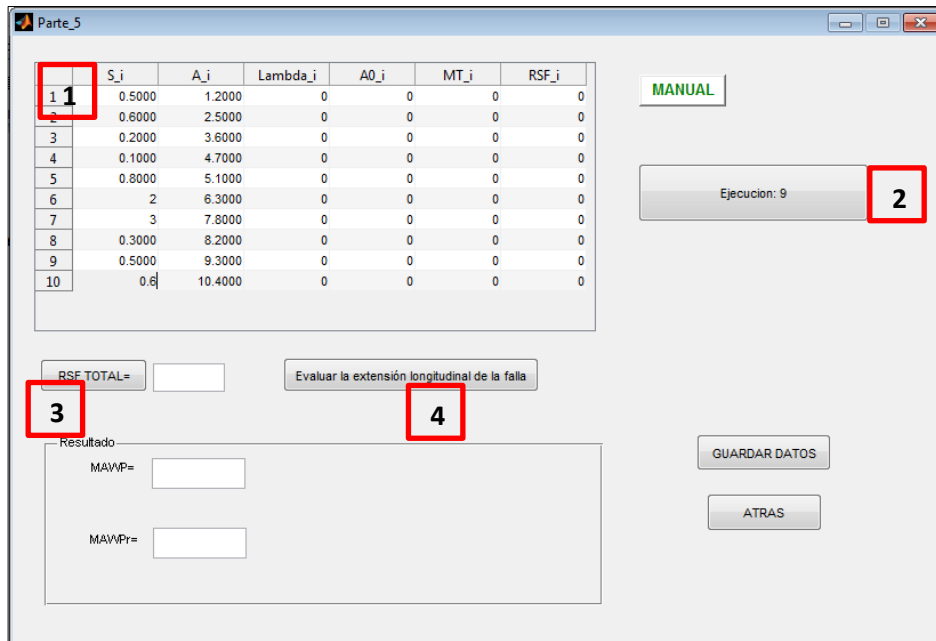


Fuente: Los Autores

Numeral 1. Tabla de Datos: Muestra los datos de los mínimos espesores en cada plano de inspección (Longitudinal columna 1, circunferencial, columna 2) del componente editados en el nivel 1.

Numeral 2. Ejecución: Muestra la cantidad de veces que se debe ejecutar el análisis en la interfaz Parte_5. El botón comenzar abre la interfaz Parte_5

Figura 39. Interfaz Parte_5.



Fuente: Los Autores

Numeral 1. Tabla de Datos: Entrada de datos de espesores del componente. En la primera columna se editan los datos de la longitud de pérdida de metal, s_i en pulgadas, en la segunda columna se editan los datos del Área de pérdida de metal, A_i en pulgadas cuadradas.

Numeral 2. Ejecución: Por medio de este botón se calcula para cada ejecución las columnas: λ_i (Parámetro de recubrimiento), AO_i (Área de metal original), MT_i (Factor folias), RSF_i (Factor de Resistencia Remanente).

Numeral 3. RSF TOTAL: Calcula el valor mínimo de los valores calculados en la columna RSF_i . Abre una nueva tabla de datos para realizar otra ejecución.

Numeral 4. Evaluar la extensión longitudinal de la falla: Evalúa el componente y establece un resultado.

Corrosión por Picado

Figura 40. Corrosión por picado Nivel 1.

API_579_PARTE_6_NIVEL1

Datos del equipo

Nombre del Equipo: **1** MANUAL

Tipo de Equipo: Recipientes a Presión

Tipo de Componente: Cuerpo cilíndrico

Tipo de cabeza: Tipo de cabeza

Espesor Nominal - tnom [in]: 0.75

Provisión de corrosión futura - FCA [in]: 0.07

Perdida de Metal - Loss [in]: 0.05 **2**

Esfuerzo de Tensión permisible - S [Psi]: 17500

Presión de Diseño - P (Psi): 400

Profundidad máxima de las picaduras - Wmax [in]: 0.3

Eficiencia de la Junta Soldada longitudinalmente - Et: 0

Eficiencia de la Junta Soldada circunferencialmente - Ec: 0.85

Mitad del ángulo del vertice - α (°):

Diámetro Interno - D [in]: 60 **3**

Calcular Tc (in) = 0.63 **4** MAWP o MHF (Psi) = 307.274 Calcular Rwt = 0.634921

Seleccione el Patrón de pits: **5**

Figura 6,4 -Grado 2 Picado

Resultado: **7**

NIVEL 2

Esfuerzo 1 = 22781 **6** Esfuerzo 2 = Inf

ATRAS NUEVO ANÁLISIS GRABAR DATOS

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando (Figura 22).

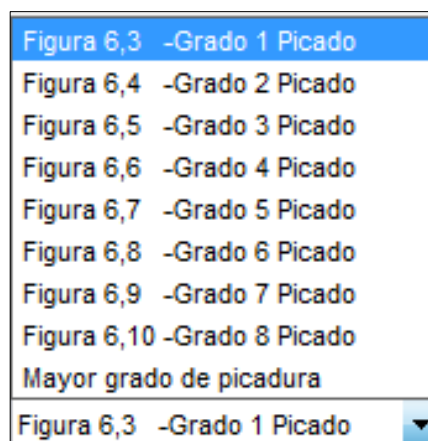
Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando (Figura 23). En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando (Figura 24).

Numeral 2. Datos de evaluación: dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Numeral 3. Botones de Cálculos: Por medio de estos botones se calculan: Espesor de pared (T_c), Presión de operación máxima permitida (MAWP) o la Altura máxima de llenado para tanques (MHF) y la relación entre el espesor de la pared restante (R_{wt}). Cuando R_{wt} es < 0.2 o ≥ 0.8 aparecerán los botones del numeral 10 y 11.

Numeral 4. Seleccione el patrón de picadura: Es una lista de figuras con los diferentes grados de corrosión.

Figura 41. Patrón de picadura

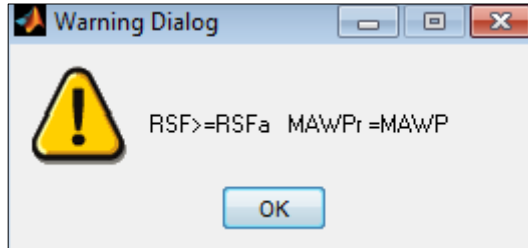


Fuente: Los Autores

Numeral 5. RSF: Calcula el valor del factor de resistencia remanente. Cuando este valor es mayor o igual al valor del factor de resistencia remanente permitido RSFa aparecen los botones del numeral 10. Cuando el valor de RSF

es menor que el valor de RSFa aparece un nuevo valor denominado MAWPr (Presión de operación máxima permitida).

Figura 42. RSF \geq RSFa

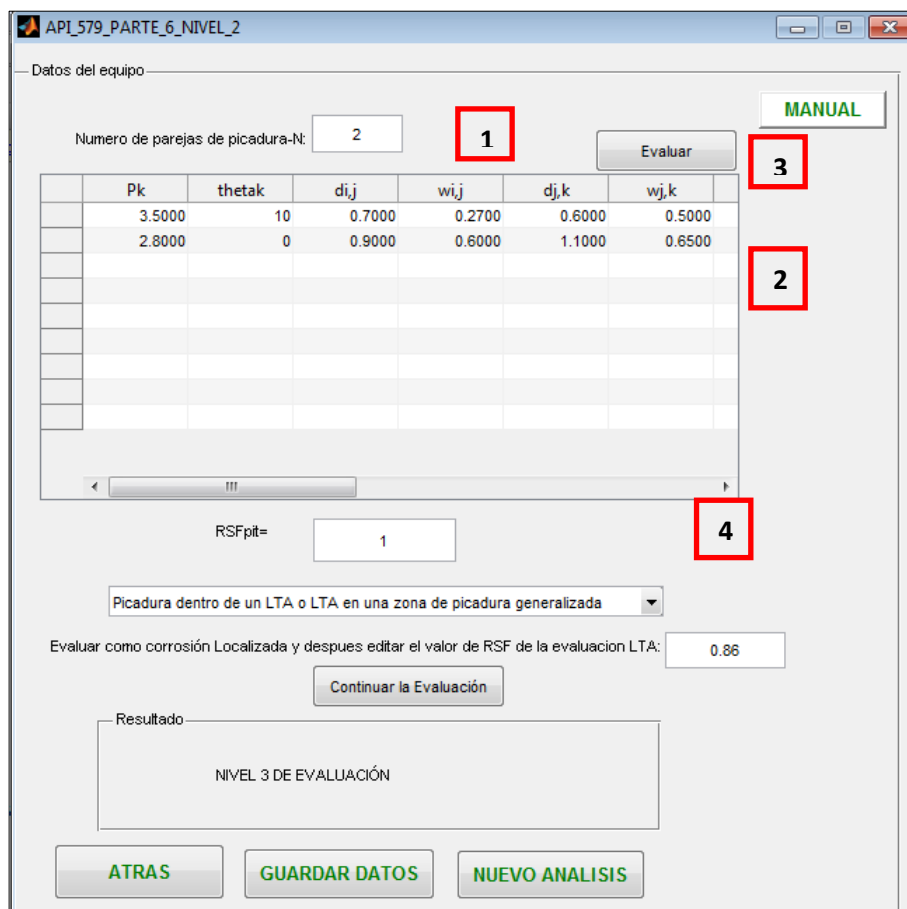


Fuente: Los Autores

Numeral 6. Esfuerzo 1 y Esfuerzo 2: Calcula los valores del esfuerzo longitudinal (2) y circunferencial (1).

Numeral 7. NIVEL 2: Se abre la interfaz API_579_PARTE_6_NIVEL_2. Pero antes de realizar una evaluación de nivel dos se debe guardar los datos y resultados encontrados con el botón GUARDAR DATOS

Figura 43. Corrosión por Picado Nivel 2.



Fuente: Los Autores

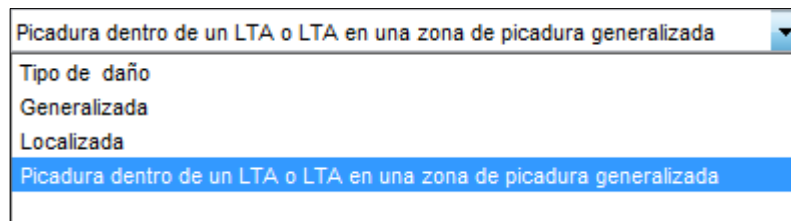
Numeral 1. Número de parejas de picaduras-N: Se debe editar el número de parejas de picaduras a evaluar.

Numeral 2. Tabla: El usuario debe editar las columnas Pk (Distancia entre las parejas de picaduras), θ_k (Angulo entre las parejas de picaduras en grados), $d_{i,j}$ (Diámetro de la picadura i), $d_{j,k}$ (Diámetro de la picadura j), $w_{i,j}$ (Profundidad de la picadura i), $w_{j,k}$ (Profundidad de la picadura j).

Numeral 3. Evaluar: Calcula los valores de las columnas; $w_{avg,k}$ (profundidad promedio de la picadura), $d_{avg,k}$ (diámetro promedio), $M_{avg,k}$, $p_{1,k}$, $p_{2,k}$, Y_k , Q_k , $E_{avg,k}$ y el factor de resistencia remanente de cada pareja de picaduras (RSF_k). Después se calcula un valor promedio de los factores de resistencia remanente (RSF_{pit})

Numeral 4. Tipo de daño: El usuario debe seleccionar el tipo de daño de la picadura.

Figura 44. Tipo de daño



Fuente: Los Autores

Daño por Hidrogeno

Figura 45. Daño por Hidrogeno Nivel 1 y Nivel 2.

The screenshot displays the 'API 579 PARTE 7 NIVEL11' software interface. The window title is 'API 579 PARTE 7 NIVEL11'. The interface is divided into several sections:

- Datos del equipo:** Includes 'Identificación del Equipo' (field 1), 'Tipo de Equipo' (Recipiente a Presión), 'Tipo de Componente' (Cuerpo cilíndrico), and 'Tipo de cabeza' (Elíptica). A 'MANUAL' button is also present.
- Inputs:** Fields for 'Espesor Nominal - tnom (in): 1.25', 'Provisión de Corrosión Futura - FCA (in): 0.125', 'Pérdida de Metal - LOSS (in): 0', 'Esfuerzo de tensión permisible-S(Psi): 17500' (field 2), 'Presión de Diseño-P(in): 300', 'Diámetro Interno - ID (in): 96', and 'Eficiencia de la unión soldada-E: 1'. A 'Calcular Tc (in)= 1.125' button (field 3) is also shown.
- Tipo de Daño:** Radio buttons for 'Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC)' (selected), 'Ampollamiento por Hidrogeno', and 'Agrietamiento inducido po hidrogeno orientado por esfuerzos (SOHIC)'. A 'MANUAL' button is also present.
- Dimensions and Distances:** Fields for 'Diámetro en la dirección longitudinal-S(in): 3', 'Diámetro en la dirección circunferencial-C(in): 5', 'Distancia más cercana a la mayor discontinuidad estructural-Lmsd(in): 50', 'Distancia mas cercana a la unión soldada-Lw(in): 10', 'Espesor mínimo medido para la superficie interna-Tmm-ID(in): 0.1', 'Espesor mínimo medido para la superficie exterior-Tmm-OD(in): 0.55', and 'Distancia a la HIC o a la ampolla mas cercana- LH(in): 20' (field 5).
- Other Parameters:** 'MAWP o MFH (psi)= 403.432', 'RSF= 1.05357' (field 7), and '¿El equipo permanecera en servicio de hidrógeno? Si'.
- Results and Actions:** A 'Resultado' field (field 6) is empty. At the bottom, there are buttons for 'Continuar', 'ATRAS', 'GUARDAR DATOS', and 'NUEVO ANALISIS'.

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando (Figura 22).

Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando (Figura 23). En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando (Figura 24).

Numeral 2. Datos de evaluación: dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Numeral 3. Calculo Tc: Calcula el valor del espesor nominal (Tc) en pulgadas

Numeral 4. Tipo de daño: Se elige el tipo de daño por hidrogeno a analizar:

- Agrietamiento inducido por hidrogeno (HIC)
- Agrietamiento inducido por hidrogeno orientado por esfuerzos (SOHIC)
- Ampollamiento por hidrogeno

Numeral 5. Datos del daño: El software habilita los datos que el usuario debe registrar dependiendo del tipo de daño escogido, después de digitar los datos se debe oprimir el botón 'continuar' para poder continuar la evaluación.

Numeral 6. Resultados: Muestra condiciones de funcionamiento dependiendo del tipo de daño:

- No cumple: $Lw > \text{Max} (2 \cdot Tc) , 1$
- No cumple: $Lmsd \geq (1.8 \cdot \text{sqrt} (D \cdot Tc))$
- El daño HIC es superficial
- El daño HIC es subsuperficial
- No cumple: $Lmsd \geq (1.8 \cdot \text{sqrt} (D \cdot Tc))$
- No cumple: $Lw > \text{Max} (2 \cdot Tc) , 1$
- La ampolla no tiene grieta periferia
- ¿La ampolla no tiene grieta corona?
- No cumple: $(Bp \leq 0.1 \cdot \text{Min} (S, C))$
- No cumple: $Lw > \text{Max} (2 \cdot Tc) , 1$

Cuando no muestra están condiciones indica que se cumplieron.

Numeral 2. Cálculos: Botones para calcular presión de operación máxima permitida (MAWP) o la Altura máxima de llenado (MFH) y para calcular el Factor de resistencia remanente (RSF). Cuando el valor de MAWP o MAWPr es mayor o igual a la presión de diseño se abre una interfaz mostrada en la figura 13.

Numeral 3. Evaluación de la fractura: Muestran las siguientes preguntas; ¿El equipo permanecerá en servicio de hidrógeno? y ¿El daño HIC se ha impedido? con dos opciones de respuesta; Si o No. Dependiendo de la selección se abre otra interfaz con una respuesta o se abre una nota en la respuesta.

Distorsión de Soldadura

Nivel 1

Figura 46. Distorsión de Soldadura Nivel 1.

API_579_PARTE_8_NIVEL_1

Identificación del Equipo **1**

Tipo de código de construcción original Código ASME B & PV , Sección VIII, División 1 y División 2 **2** MANUAL

Tolerancia de Fabricación

Código ASME B & PV, Sección VIII, División 1 y División 2

Deformación circunferencial en paredes cilíndricas P. 1.

1* Diámetro Máximo - Dmax (in):

2* Diámetro Mínimo - Dmin (in):

3* Diámetro Interno nominal - D (in):

4* Diámetro Externo - Do (in):

5* Espesor de Pared Actual - t(in):

6* Longitud de diseño - Lec (in):

Aperturas de Boquilla Análizar

Fig. Arco máximo de un cuerpo

ATRAS GUARDAR VOLVER A ANALIZAR

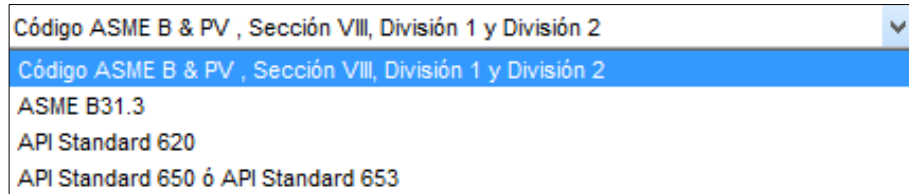
Fuente: Los Autores.

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Identificación del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de código de construcción original: al dar clic en la barra se desplegará un menú (Figura 47) en el cual se debe seleccionar el tipo de código de construcción original, ya sea: código ASME, sección VIII, división 1 y 2, ASME B 31.3, API Standard 620, API Standard 650 o API Standard 653.

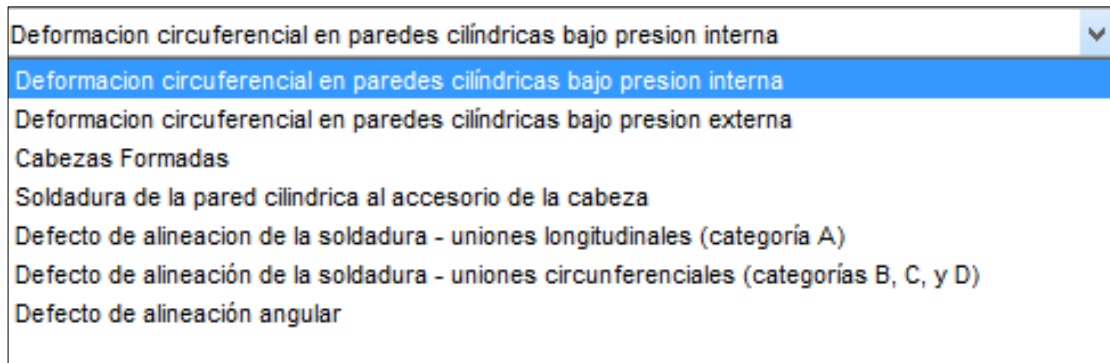
Figura 47. Código de construcción del equipo.



Fuente: Los Autores.

Tolerancia de Fabricación: esta barra va a cambiar dependiendo del código de construcción seleccionado en el paso anterior. Al seleccionar el defecto correspondiente el software habilitara el panel y datos correspondientes para el código y tolerancia seleccionada (Figura 48).

Figura 48. Selección de tolerancia de fabricación para Código ASME.



Fuente: Los Autores.

Numeral 2. Paneles para introducción de Datos:

Cada panel en la parte superior lleva por título el tipo de tolerancia de fabricación correspondiente. En la evaluación de un equipo construido bajo el código ASME B & PV, Sección VIII y con tolerancia de fabricación correspondiente a una deformación circunferencial en paredes cilíndricas bajo presión externa, como se puede observar en la Figura 48. En la parte izquierda del panel se deben introducir los datos para la evaluación de criterios y seguidamente dar clic en el botón analizar

Una vez el software arroje los valores de x y y para cada curva se debe ubicar el punto en las figura que el software muestra y seleccionar las ecuaciones correspondientes con base barras ubicadas en la parte inferior derecha del panel y así obtener el resultado final de la evaluación.

Figura 48. Panel de código ASME para deformación circunferencial en paredes cilíndricas bajo presión interna.

API_579_PARTE_8_NIVEL_1

Identificación del Equipo

Tipo de código de construcción original Código ASME B & PV , Sección VIII, División 1 y División 2 MANUAL

Tolerancia de Fabricación Deformación circunferencial en paredes cilíndricas bajo presión externa

Código ASME B & PV, Sección VIII, División 1 y División 2

Deformación circunferencial en paredes cilíndricas P. I.

1° Diámetro Máximo - Dmax (in):

2° Diámetro Mínimo - Dmin (in):

3° Diametro Interno nominal - D (in):

4° Diametro Externo - Do (in):

5° Espesor de Pared Actual - t(in):

6° Longitud de diseño - Lec (in):

Aperturas de Boquilla Análizar

Fig. Arco máximo de un cuerpo

Deformación circunferencial paredes cilíndricas bajo presión externa

Eje y: Do / t

Eje x: Lec /Do

Selección de acuerdo con la ubicación del punto en x y y las ecuaciones a utilizar:
e = 1.0 t Arc = 0.030 Do

Desviación Máxima - e : Arco Máximo - Arc :

ATRAS
GUARDAR
VOLVER A ANALIZAR

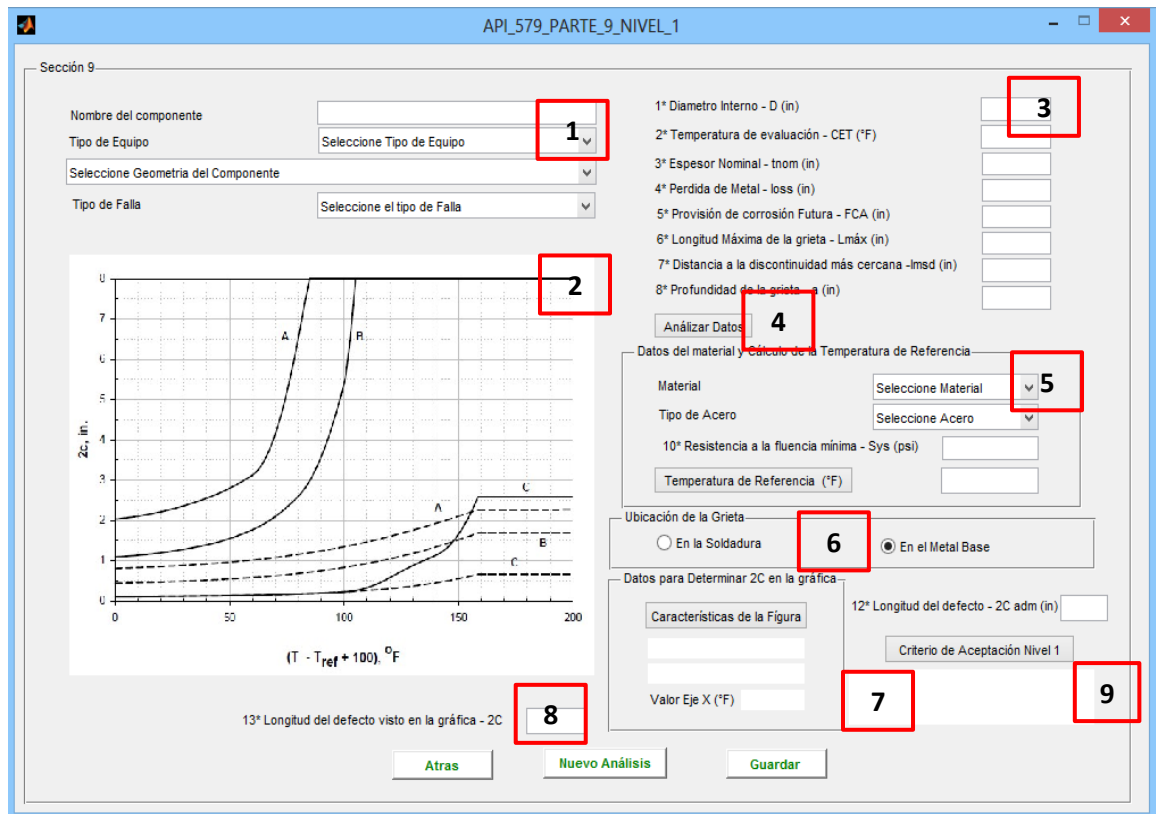
Fuente: Los Autores.

En términos generales una vez seleccionado el código de construcción original y la tolerancia de fabricación correspondiente se mostrara un panel con la indicación de los datos a introducir, los cuales tienen como característica que comienzan con un número seguido del nombre del dato a registrar, una vez digitados dichos datos, se debe dar clic en el botón analizar y el software arrojará los resultados de la evaluación según los criterios de construcción para el nivel 1.

Grietas

Nivel 1

Figura 49. Grietas Nivel 1



Fuente: Los Autores.

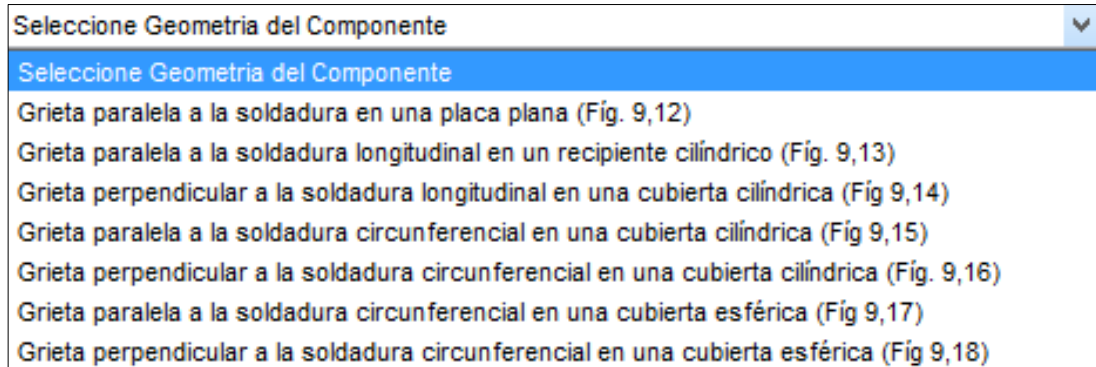
Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando (Figura 22).

Geometría del componente y orientación de la grieta: en esta barra se debe seleccionar la geometría correspondiente a la pieza o componente a evaluar y la respectiva orientación de la grieta una vez se elija la opción adecuada el software mostrará la figura a utilizarse en la evaluación (figura 6), más adelante se indicará como debe utilizarse dicha gráfica y la curva correspondiente según los datos introducidos.

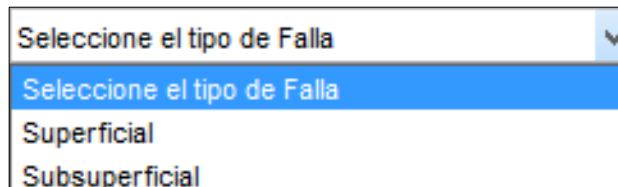
Figura 50. Elección geometría del componente y orientación de la grieta



Fuente: Los Autores

Tipo de falla: en la barra mostrada se debe seleccionar el tipo de falla: si es de tipo superficial o subsuperficial.

Figura 51. Elección tipo de falla



Fuente: Los Autores

Numeral 2. Figura correspondiente para la evaluación: la gráfica mostrada en este espacio depende de la geometría del componente y se le dará uso al final de la evaluación.

Numeral 3. Datos de evaluación: en este espacio se digitarán los datos indicados en cada caja de texto, de carácter necesario para realizar la evaluación.

Numeral 4. Analizar datos: Al oprimir este botón el software revisará los datos proporcionados, el radio dividido entre el espesor real: espesor nominal menos la pérdida de metal, debe ser mayor a 5 in. Y el espesor real a su vez debe ser menor a 1.5 in. En caso de cumplir las dos condiciones mencionadas el software habilitará un nuevo panel (Figura 52) y se podrá continuar con la evaluación.

Numeral 5. Cargas: Para poder continuar con la evaluación el equipo debe cumplir con todas las condiciones mostradas en este panel, por lo que al dar clic en el botón analizar de este panel el software revisa la selección de cada una de las check box y continúa con la evaluación habilitando un nuevo panel llamado "Material" en esta misma posición (Figura 53).

Figura 52. Cargas

Cargas

Solo se produce presión en el esfuerzo de membrana

Esfuerzo de membrana estan dentro de los límites del código de construcción

Geometría de la unión soldada en forma de v sencilla o doble v

Análizar

Fuente: Los Autores

Material: en este panel se digitan los datos propios del material indicados en el mismo. Una vez digitados los datos se debe dar clic en el botón analizar, el cual revisará los criterios presentados por la norma para este tipo de datos, donde: el esfuerzo permisible debe ser menor o igual a 25 Psi, la resistencia a la fluencia mínima debe ser menor o igual a 40 Psi y la resistencia a la tracción mínima debe ser menor o igual a 70 Psi. En caso de cumplir con todos los criterios se habilitará un nuevo panel llamado “Datos del material y Cálculo de la temperatura de referencia” (Figura 54).

Figura 53. Material

Material

El material es acero al carbono (P1, grupo 1 o 2)

9* Esfuerzo Permisible - S

10* Resistencia a la fluencia mínima - Sys

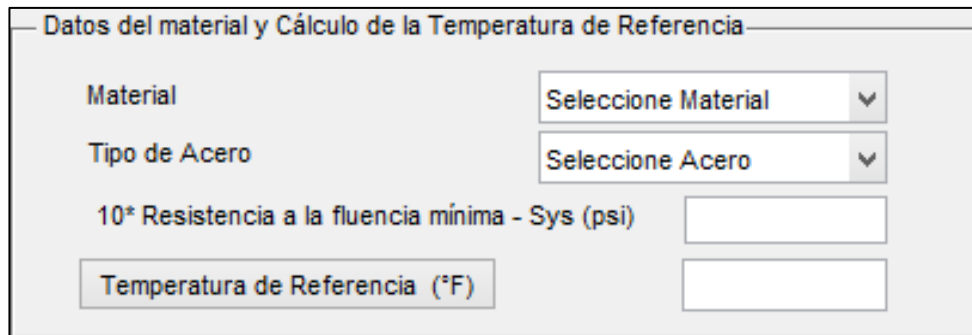
11* Resistencia a la tracción mínima - Suts

Análizar

Fuente: Los Autores

Datos del material y Cálculo de la temperatura de referencia: panel en el cual se debe seleccionar el tipo de material, tipo de acero y nuevamente digitar la resistencia a la fluencia mínima, al dar clic en el botón Temperatura de Referencia el software calculará su valor interpolando en caso de requerirlo, basado en la tabla 3.2 de la parte 3 de la norma.

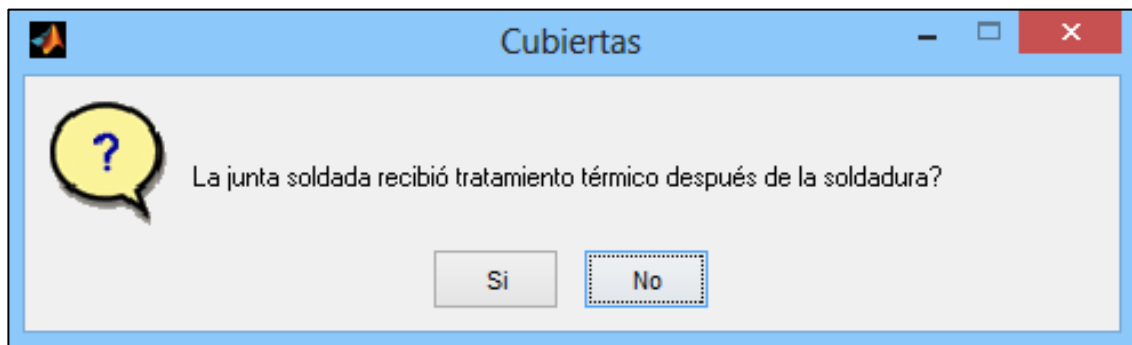
Figura 54. Temperatura de Referencia



Fuente: Los Autores

Numeral 6. Ubicación de la grieta: en este panel se debe seleccionar la ubicación de la grieta ya sea en la soldadura o en el metal base, si se elige en la soldadura en software mostrará una ventana preguntando si la junta recibió tratamiento térmico. Con base en estos criterios se mostrará cual curva se debe tener en cuenta para la obtención del dato 2C.

Figura 55. Ventana de pregunta.



Fuente: Los Autores

Numeral 7. Determinar 2C: al dar clic en el botón características de la Figura se obtendrán los parámetros para poder digitar el dato requerido en el paso siguiente, tanto la curva a utilizar como el valor del eje x.

Numeral 8. Dato 2C: se debe digitar en la caja de texto el valor de 2C, a partir de las características de la figura indicadas anteriormente, junto con el valor de 2C admisible

Numeral 9. Criterios de Aceptación: al dar clic en el botón Criterio de Aceptación Nivel 1 (Figura 16), se mostrará un texto indicando el resultado de la evaluación.

Grietas

Nivel 2

Figura 56. Grietas Nivel 2.

The screenshot shows the software interface for crack analysis at Level 2. The interface is divided into several sections, each highlighted with a red box and a number:

- 1**: Identification of the equipment (top left), including fields for equipment identification, load condition (Levantamiento), pressure, resistance to flow, resistance to traction, and crack characterization (Defecto a través de la pared).
- 2**: Dimensioning (middle left), including fields for defect length (2C), depth (2a), plate thickness (t), and thickness (d).
- 3**: Resistance to fracture - K mat (bottom left), including fields for temperature (T), reference temperature (Tref), sigma, and correlation calculation.
- 4**: Factors of Safety Partial - PSF (middle right), including fields for COVs, Pf, and safety factors (Rc, PSFk, PSFs, PSFa).
- 5**: Values Corrected (bottom left), including fields for membrane stress (Pm), bending stress (Pb), and fracture resistance (Kmat).
- 6**: Results (bottom right), including a dropdown for component geometry, a dropdown for crack geometry, and a list of results (15° to 20°) and a calculation button.

A diagram of a crack in a plate is shown in the top right, illustrating the geometry with parameters 2c and t.

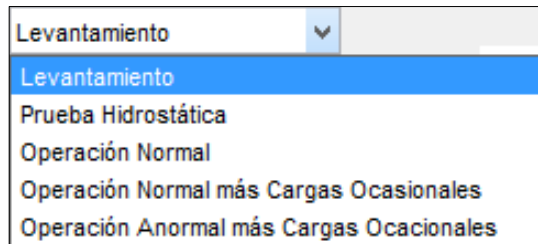
Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo: en esta sección se deben establecer los datos básicos y de identificación del equipo (Figura 2).

Identificación del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Condición de carga: en esta barra se debe seleccionar la condición de carga, ya sea: levantamiento, prueba hidrostática, operación normal, operación normal más cargas ocasionales u operación anormal más cargas ocasionales.

Figura 57. Barra condición de carga.

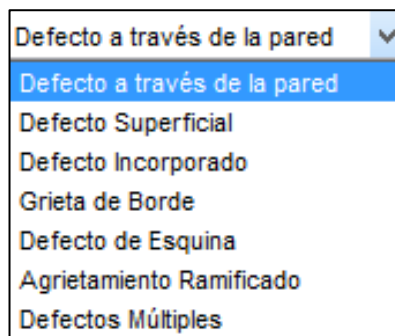


Fuente: Los autores.

Datos básicos: se deben introducir los datos básicos para inicial la evaluación: presión, resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción.

Caracterización de la grieta: en esta barra se debe seleccionar el tipo de defecto encontrado en el equipo o componente, que puede ser: defecto a través de pared, defecto superficial, defecto incorporado, grieta de borde, defecto de esquina, agrietamiento ramificado o defectos múltiples. Al realizar esta selección podemos observar como el software no muestra un esquema o figura del tipo de defecto en el campo indicado con el numeral 8.

Figura 58. Barra de caracterización de grietas



Fuente: Los Autores.

Numeral 2. Dimensionamiento: en este panel se deben digitar los datos correspondientes a las dimensiones de la grieta, una vez digitados los datos de las dimensiones se debe dar clic en el botón recategorizar, el cual arrojará el valor de las nuevas dimensiones del defecto en la parte derecha del panel, dimensiones para cálculos siguiendo el procedimiento fitness for service. También se deben digitar los datos correspondientes a la resistencia a la fractura.

Numeral 3. Resistencia a la fractura: al introducir los datos de temperatura, temperatura de referencia hallada en el nivel 1 de evaluación y sigma, se debe

dar clic en calcular correlación y software calcula los valores correspondientes, el K_{mat} o resistencia a la fractura debe ser digitado con base en estos valores.

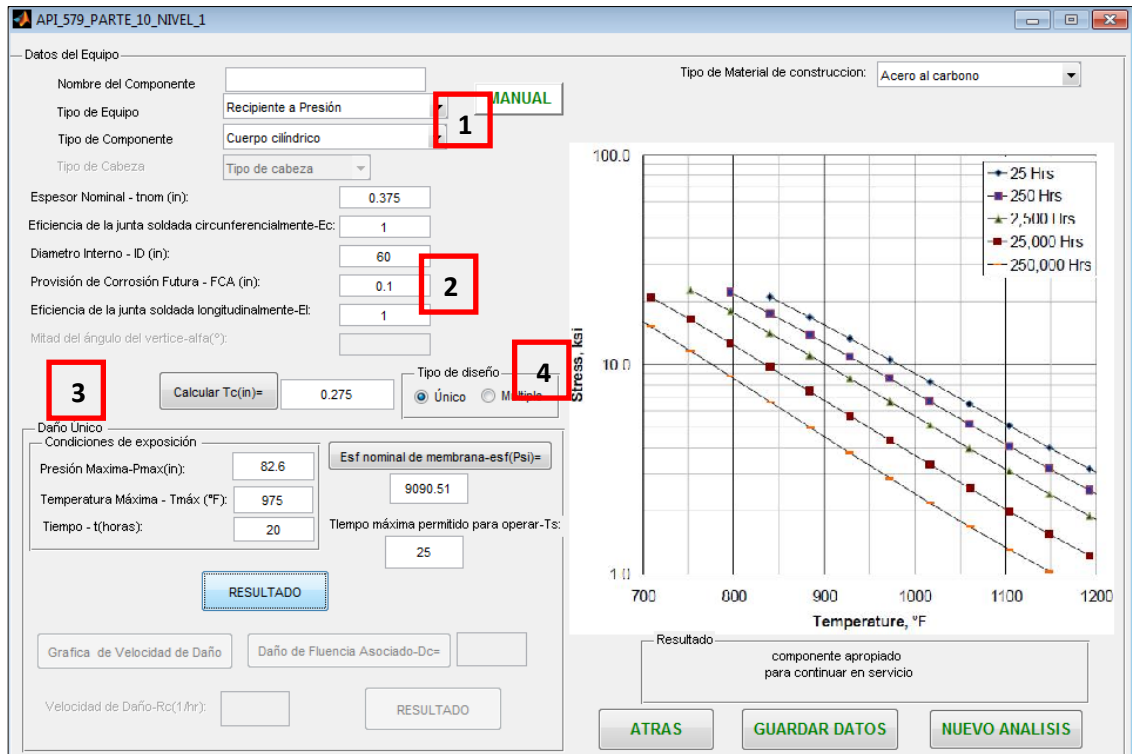
Numeral 4. Factores de seguridad parcial: utilizando el coeficiente de variación COV, utilizado para definir la incertidumbre en la distribución de esfuerzo primario, la probabilidad de categoría de falla y el esfuerzo por fluencia, el software determinara al dar clic en el botón calcular: un valor de intersección para definir las regiones de pandeo plástico/fractura por fragilidad (R_c) y PSF basado en la tabla 9.2 proporcionada por la norma.

Numeral 5. Valores Corregidos: en este panel se deben digitar los valores del esfuerzo de la membrana primario y esfuerzo de pandeo y dar clic en el botón modificar, para encontrar los nuevos valores a utilizar.

Numeral 6. Resultados: panel en el cual se selecciona la geometría del componente y de la grieta seguido de algunos datos indispensables para la evaluación indicados con un número en la parte izquierda, después se da clic en el botón calcular, ubicamos el cursor en la caja de texto del último dato "Relación de dureza" al dar Enter aparecerá el Diagrama de evaluación de falla (FAD), indicando el punto de ubicación de la falla según los datos proporcionados y si se encuentra en la región Aceptable o no.

Daños por Creep

Figura 59. Daño por Fluencia.



Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo que se está evaluando (Figura 22).

Tipo de Componente: en esta barra se debe seleccionar el tipo de componente que se está evaluando (Figura 23). En caso de ser seleccionada la opción de cabeza formada se habilitara una barra de selección para elegir el tipo de cabeza que se está evaluando (Figura 24).

Numeral 2. Datos de evaluación: dependiendo de las opciones escogidas en el numeral 1 el software habilitara los espacios adecuados para la introducción de los datos iniciales.

Numeral 3. Calculo Tc: Calcula el valor del espesor de pared (Tc) en pulgadas

Numeral 4. Tipo de diseño: Existen dos tipos de diseño:

- Diseño Único

Figura 60. Diseño único

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Condiciones de exposición: El usuario debe editar los algunos datos de condiciones de funcionamiento del componente.

Numeral 2. Esfuerzo nominal de membrana: Calcula el valor del esfuerzo nominal de membrana (esf), para que el usuario encuentre el valor del tiempo máximo permitido en la gráfica mostrada en la Figura 59 y lo edite.

Numeral 3. Grafica de velocidad de daño: Abre la gráfica de velocidad de daño teniendo en cuenta el tipo de material de construcción seleccionado, Después el usuario debe editar el valor de la velocidad de daño (Rc) encontrado en la gráfica mostrada en la Figura 59.

Numeral 4. Daño de fluencia asociado: Calcula el valor del daño de fluencia asociado (Dc).

- Diseño Múltiple

Figura 61. Diseño múltiple

Daño Múltiple

Numero de condiciones de funcionamiento-N: 2

Calcular

	max	Pmax	ttotal	esfm	Rc	Dc
1	1125	210	175200	4.3000e+03	1.7500e-06	0.3066
2	1220	210	336	4.3000e+03	6.5000e-05	0.0218

Daño de fluencia total -Dc total= 0.32844

Evaluar

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Número de Condiciones de Funcionamiento: El usuario debe editar el número de condiciones de funcionamiento del componente a evaluar y después dar clic.

Numeral 2. Tabla: El usuario debe editar la columna Tmax (Temperatura máxima de funcionamiento), Pmax (presión máxima de funcionamiento) y t total (Tiempo de funcionamiento) en horas. Después debe dar clic en el botón 'Calcular' para que se muestren los valores calculados de la columna esfm (esfuerzo nominal de membrana) para cada condición de funcionamiento, después el usuario debe editar la columna Rc (Velocidad del daño) en horas⁻¹ basándose en la gráfica y después volver a oprimir el botón calcular para determinar los valores de la columna Dc y el Daño de fluencia total-(Dc).

Numeral 3. Evaluar: Realiza la evaluación con los valores encontrados anteriormente, mostrando el resultado.

Daños por Fuego

Figura 62. Daños por Fuego

API_579_PARTE_11_NIVEL_1

Datos del equipo

Identificación de equipo: PRIMERO

¿Existen daños mecánicos o desviación dimensional? No

Aceros Inoxidables Austeniticos

MANUAL

Se puede evaluar de tres maneras, seleccione la más apropiada:

- Indique el rango de temperatura que alcanzó el componente
- Determinar la temperatura máxima según las evidencias de los materiales del equipo
- Determine directamente la zona de exposición del equipo

Rango de Temperatura

- Temperatura Ambiente
- Por encima de Temperatura Ambiente a 150 °F
- Por encima de 150°F a 400°F
- Por encima de 400°F a 800°F
- Por encima de 800°F a 1350°F
- Por encima de 1350°F

Evaluar

RESULTADO

Componente Apropriado para seguir en servicio

ATRAS

NUEVO ANÁLISIS

GRABAR DATOS

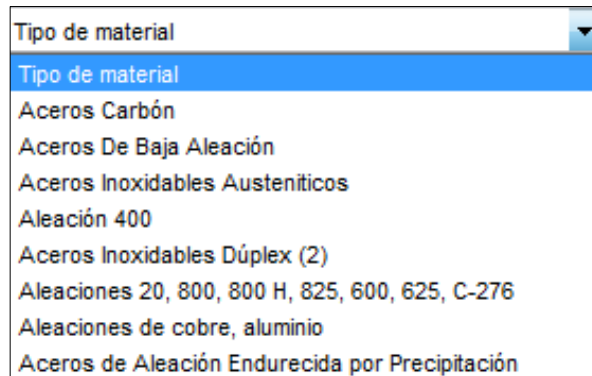
Fuente: Los Autores.

Numeral 1. Nombre del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Numeral 2. Botón de opción: Es el primer requisito que debe cumplir ya que si no lo cumple no es posible continuar la evaluación.

Numeral 3. Tipo de Material: Se elige el material de construcción del componente que se está evaluando

Figura 63. Tipo de material

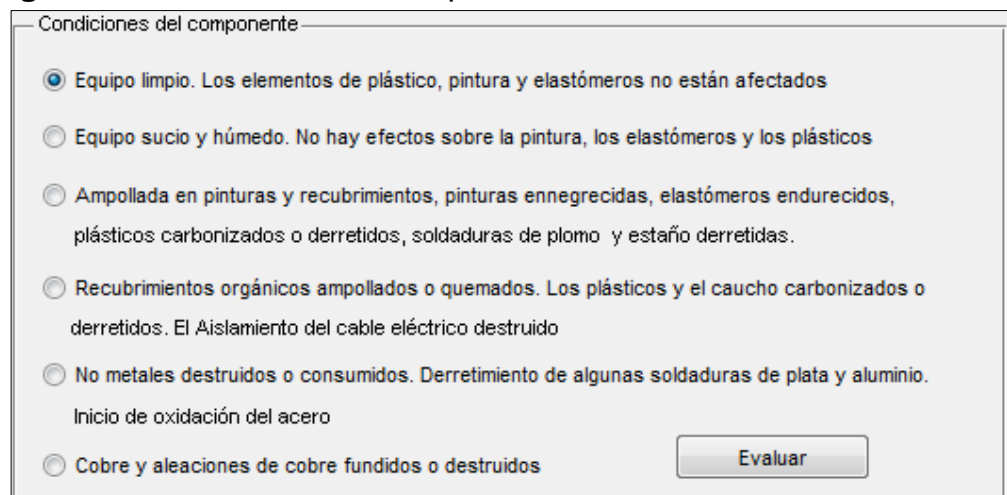


Fuente: Los Autores.

Numeral 4. Botón opción: Inicialmente el software selecciona la opción rango de temperatura que alcanzo el componente pero el usuario puede evaluar de otras dos maneras, el usuario debe seleccionar la más apropiada:

- **Indique el rango de temperatura que alcanzo el componente:** El usuario debe establecer la temperatura que alcanzo el componente y el rango en el que se encuentra esta temperatura. Después debe oprimir el botón evaluar para mostrar el resultado (Figura 62).
- **Determinar la temperatura máxima según las evidencias de los materiales del equipo:** El usuario debe seleccionar las condiciones en las que se encontro el componente despues del incendio. Despues se debe oprimir el boton evaluar para obtener el resultado

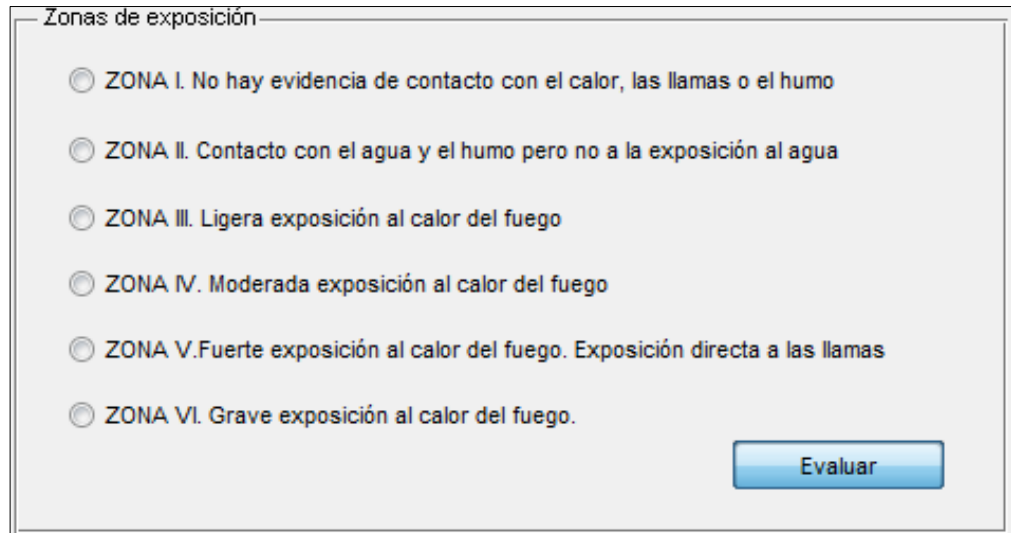
Figura 65. Condiciones del componente



Fuente: Los Autores.

- Determine directamente la zona de exposición del equipo: El usuario debe seleccionar directamente la zona de exposición al calor a la que estuvo expuesto del componente y después oprimir el botón evaluar para obtener el resultado

Figura 66. Condiciones del componente



Zonas de exposición

- ZONA I. No hay evidencia de contacto con el calor, las llamas o el humo
- ZONA II. Contacto con el agua y el humo pero no a la exposición al agua
- ZONA III. Ligera exposición al calor del fuego
- ZONA IV. Moderada exposición al calor del fuego
- ZONA V. Fuerte exposición al calor del fuego. Exposición directa a las llamas
- ZONA VI. Grave exposición al calor del fuego.

Fuente: Los Autores.

Abolladuras

Figura 67. Abolladuras

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Zona de identificación del equipo a evaluar

Nombre del Equipo: espacio en el cual se puede digitar el nombre o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Tipo de Daño: se debe seleccionar el tipo de daño ya sea: abolladuras, hendiduras o combinación de estas.

Figura 68. Tipo de daño.

Fuente: Los Autores

Tipo de Equipo: en esta barra se debe seleccionar el tipo de equipo a evaluar, ya sea: recipientes a presión, tuberías o tanques de almacenamiento.

Numeral 2. Datos: en este panel se deben digitar los datos requeridos para la evaluación, según el tipo de daño y tipo de equipo seleccionado se habilitarán los datos necesarios, todos los datos habilitados son totalmente necesarios para realizar la evaluación.

Numeral 3. Variación de la presión: una vez digitados los datos se debe indicar si hay variación de la presión en caso de que la respuesta sea si se debe realizar una evaluación nivel 2. En caso de elegir la opción no el software habilitará una caja de texto para digitar el valor de la presión de operación.

Numeral 4. Calculo Espesor y presión: al dar clic en cada uno de los botones de calculará el respectivo valor.

Numeral 5 y 6 Gráfica y criterios: en caso de ser requerido el software habilitará la sección señalada como numeral 6. Al dar clic al botón calcular se calcularan los respectivos valores de tensión, relaciones de presión y esfuerzo, ubicando en la gráfica dichos valores se puede conocer el resultado de la evaluación. En caso de no estar habilitada esta sección solo se debe dar clic al botón analizar y observar el resultado de la evaluación.

Numeral 7. Resultado: al dar clic en el botón analizar se muestran los valores y resultados finales de la evaluación.

Laminaciones

Figura 69. Laminaciones.

API_579 PARTE_13_NIVEL_1

Identificación del Equipo: 1

¿Existe Abultamiento en la superficie interno ó externa?

Si No 2

Datos

Tipo de Equipo Seleccione Tipo de Equipo 3

1* Espesor de Pared - trd [in]

2* Corrosión Permitida a Futuro - FCA [in]

3* Esfuerzo Admisible - S [Psi]

4* Diámetro interior - D [in]

5* Eficiencia de la junta soldada - E

6* Radio - R [in]

7* Hilo ó Profundidad de ranura - MA [in]

8* Coeficiente - YB31 [in]

9* Perdida de Metal - Loss [in]

10* Gravedad específica del líquido almacenado - G

¿Existe agrietamiento a través del espesor?

Si No 6

14* Espesor mínimo remanente sin daño - tmm [in]

15* Distancia a la junta soldada más cercana - Lw [in]

16* Distancia a la discontinuidad est más cercana - Lmsd [in]

Datos para dos laminaciones

¿Las láminas se encuentran en el mismo plano? 7

Si No

17* Distancia a la otra laminación - Ls [in]

Análizar

Resultados 8

Calcular

Esesor corroído a futuro - Tc [in]

Presión Máxima de operación permitida - MAWP [Psi]

Análizar

MANUAL ATRAS GUARDAR NUEVO ANÁLISIS

Fuente: Los Autores

Numeral 1. Identificación del Equipo: espacio en el cual se debe digitar la identificación o referencia correspondiente al equipo a evaluar.

Numeral 2. Abultamiento en la superficie: en este panel se debe seleccionar si existe o no abultamiento en la superficie, una vez seleccionado, el software indicará si se debe continuar o no con la evaluación.

Numeral 3. Datos evaluación: dependiendo de la opción seleccionada en tipo de equipo el software habilitara los espacios adecuados para la digitación de los datos de carácter indispensable para la evaluación. En caso de no seleccionar ningún tipo de equipo en la barra aparecerá una ventana indicando que dicha elección es totalmente necesaria.

Numeral 4. Servicio de carga de Hidrogeno: en este panel se debe indicar si el equipo se encuentra sometido a servicio de carga de hidrogeno en caso de seleccionar la opción si, se habilitaran las cajas de texto para la introducción de datos y al dar clic en el botón analizar se indicará el resultado según este criterio.

Numeral 5. Cantidad de laminaciones: en esta barra se deben indicar la cantidad de laminaciones: una o dos y dependiendo de la cantidad indicada se activarán los espacios para la introducción de datos y paneles necesarios para la realización de la evaluación.

Numeral 6. Agrietamiento a través del espesor: en caso de existir se debe seleccionar la opción si y continuar la evaluación digitando los valores indicados con la activación de los espacios para datos.

Numeral 7. Datos para dos Laminaciones: este panel solo se activará en caso tal de haber indicado que el número de laminaciones era 2, una vez introducidos los datos se debe dar clic en el botón analizar y el software arrojará el resultado según los criterios para evaluación de dos laminaciones.

Numeral 8. Resultados: en este panel al dar clic en el botón calcular se mostrarán los valores del espesor corroído a futuro y de la presión de trabajo máxima permitida. Seguidamente se debe dar clic en el botón analizar y el software arrojará el resultado final de la evaluación.

CONDICIONES DE MANEJO DEL SOFTWARE

1. Al momento de la ejecución de cada una de las interfaces de los diferentes mecanismos de daño se debe tener en cuenta que solo será útil cuando equipo cumpla con los requerimientos establecidos en la norma API 579 para cada uno de los mecanismos de daño

2. Todas las interfaces tienen los botones:

- **MANUAL:** Permite conocer el procedimiento a seguir del software.
- **ATRÁS:** Con este botón podemos regresar a la interfaz anterior, ya sea al menú principal o al nivel uno del mecanismo de daño en evaluación.
- **NUEVO ANÁLISIS:** Botón que debe usarse para limpiar la interfaz y comenzar de nuevo a realizar la evaluación
- **GUARDAR DATOS:** Botón que debe usarse para guardar los datos de la evaluación realizada en la Base de Datos. Cuando no se realiza la grabación de datos no es posible establecer los datos y resultados de la evaluación.

3. Cuando se desea abrir la base de datos para buscar una evaluación realizada anteriormente se debe ingresar al editor de MATLAB y escribir en el Command Window 'Load Base_Datos', después oprimir enter y escribir 'API_579.' Seguido del nivel que se desea abrir (Nivel_1. o Nivel_2.) y de la parte que se desea abrir (Parte_3, Parte_4, Parte_5, Parte_6, Parte_7, Parte_8, Parte_9, Parte_10, Parte_11, Parte_12 y Parte_13) ahí aparecerán todos los valores editados y calculados en las interfaces, el usuario debe buscar por el nombre del equipo editado al momento de realizar la evaluación.

4. Cuando se desea salir de la interfaz se debe cerrar con el botón 'cerrar' de Windows.

Anexo B. Tabla 4.4 Parte 1 Criterios de aceptación para evaluación

Assessment Parameter	Level 1 Assessment Acceptance Criteria	Level 2 Assessment Acceptance Criteria
Average Measured Thickness from Point Thickness Readings (<i>PTR</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows $t_{am} - FCA \geq t_{min}$ Spherical Shells and Formed Heads $t_{am} - FCA \geq t_{min}$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks $t_{am} - FCA \geq t_{min}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows $t_{am} - FCA \geq RSF_a \cdot t_{min}$ Spherical Shells and Formed Heads $t_{am} - FCA \geq RSF_a \cdot t_{min}$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks $t_{am} - FCA \geq t_{min}$
Average Measured Thickness from Critical Thickness Profiles (<i>CIP</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows $t_{am}^c - FCA \geq t_{min}^c$ $t_{am}^l - FCA \geq t_{min}^l$ Spherical Shells and Formed Heads $\min[t_{am}^c, t_{am}^l] - FCA \geq t_{min}$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks $t_{am}^c - FCA \geq t_{min}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows $t_{am}^c - FCA \geq RSF_a \cdot t_{min}^c$ $t_{am}^l - FCA \geq RSF_a \cdot t_{min}^l$ Spherical Shells and Formed Heads $\min[t_{am}^c, t_{am}^l] - FCA \geq RSF_a \cdot t_{min}$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks $t_{am}^c - FCA \geq t_{min}$
<i>MAWP</i> or <i>MFH</i> from Point Thickness Readings (<i>PTR</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows Compute the $MAWP_r$ based on the thickness $(t_{am} - FCA)$ Acceptability criteria $MAWP_r \geq MAWP$ Spherical Shells and Formed Heads Compute the $MAWP_r$ based on the thickness $(t_{am} - FCA)$ Acceptability criteria $MAWP_r \geq MAWP$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks Compute MFH_r based on the thickness $(t_{am} - FCA)$ Acceptability criteria $MFH_r \geq MFH$ 	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows Compute the $MAWP_r^c$ based on the thickness $(t_{am} - FCA)/RSF_a$ Compute the $MAWP_r^l$ based on the thickness $(t_{am} - t_d - FCA)/RSF_a$ Acceptability criteria $\min[MAWP_r^c, MAWP_r^l] \geq MAWP$ Spherical Shells and Formed Heads Compute the $MAWP_r$ based on the thickness $(t_{am} - FCA)/RSF_a$ Acceptability criteria $MAWP_r \geq MAWP$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks Compute the MFH_r based on the thickness $(t_{am} - FCA)$ Acceptability criteria $MFH_r \geq MFH$

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Fitness for Service

Tabla 4.4 Parte 2 Criterios de aceptación para evaluaciones de Nivel 1 y 2

Assessment Parameter	Level 1 Assessment Acceptance Criteria	Level 2 Assessment Acceptance Criteria
<i>MAWP</i> or <i>MFH</i> from Critical Thickness Profiles (<i>CTP</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows Compute the $MAWP_r^c$ based on the thickness $(t_{am}^c - FCA)$ Compute the $MAWP_r^l$ based on the thickness $(t_{am}^l - FCA)$ Acceptability criteria $\min[MAWP_r^c, MAWP_r^l] \geq MAWP$ Spherical Shells and Formed Heads Compute the $MAWP_r$ based on the thickness $(\min[t_{am}^s, t_{am}^c] - FCA)$ Acceptability criteria $MAWP_r \geq MAWP$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks Compute the MFH_r based on the thickness $(t_{am}^a - FCA)$ Acceptability criteria $MFH_r \geq MFH$ 	<ul style="list-style-type: none"> Cylindrical and Conical Shells, and Elbows Compute the $MAWP_r^c$ based on the thickness $(t_{am}^c - FCA)/RSF_a$ Compute the $MAWP_r^l$ based on the thickness $(t_{am}^l - t_{al} - FCA)/RSF_a$ Acceptability criteria $\min[MAWP_r^c, MAWP_r^l] \geq MAWP$ Spherical Shells and Formed Heads Compute the $MAWP_r$ based on the thickness $(\min[t_{am}^s, t_{am}^c] - FCA)/RSF_a$ Acceptability criteria $MAWP_r \geq MAWP$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks Compute the MFH_r based on the thickness $(t_{am}^a - FCA)$ Acceptability criteria $MFH_r \geq MFH$
Minimum Measured Thickness	<ul style="list-style-type: none"> Pressure Vessel Components $(t_{mm} - FCA) \geq \max[0.5t_{min}, t_{lim}]$ $t_{lim} = \max[0.2t_{nom}, 2.5 \text{ mm (0.10 inches)}]$ Piping Components $(t_{mm} - FCA) \geq \max[0.5t_{min}, t_{lim}]$ $t_{lim} = \max[0.2t_{nom}, 2.5 \text{ mm (0.10 inches)}]$ Atmospheric And Low Pressure Storage Tanks $(t_{mm} - FCA) \geq \max[0.6t_{min}, t_{lim}]$ $t_{lim} = \max[0.2t_{nom}, 2.5 \text{ mm (0.10 inches)}]$ 	
<p>Notes:</p> <ol style="list-style-type: none"> Procedures to compute the minimum required thickness (i.e. t_{min}^c, t_{min}^l, and t_{min}, as applicable) for pressure vessel components, piping components and atmospheric storage tank shells are provided in Annex A Procedures to compute the maximum allowable working pressure (i.e. $MAWP^c$, $MAWP^l$, and $MAWP$, as applicable) for pressure vessel components and piping components, and the maximum fill height, MFH, for atmospheric storage tank shells are provided in Annex A In the above equations, t_{mm} may be substituted for t_{am}, t_{am}^c, or t_{am}^l to produce a conservative result. 		

Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Fitness for Service