

CAPÍTULO 3

3. PLAN DE INSPECCIÓN BASADO EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS APLICADO A TANQUES

3.1. Introducción

La importancia del desarrollo de un plan de inspección efectivo, es determinar el estado real de los componentes en estudio y luego de realizarlo, identificar las diferentes fallas existentes tales como errores de diseño, mal funcionamiento de equipos auxiliares, defectos de fabricación, etc. Con la inspección se logra conocer la tasa de daño y se puede determinar de manera efectiva la probabilidad de daño que posee el equipo.

Es importante determinar al momento de desarrollar el plan de inspección, los mecanismos de deterioro a los que estaría expuesto el componente en estudio que tiendan a determinar los

tipos de daños y poder elegir entre los diferentes ensayos no destructivos disponibles.

3.2. Desarrollo del plan de inspección

El propósito de un programa de inspección es planificar las actividades necesarias para detectar el deterioro al que están expuestos los equipos durante el servicio antes de que una falla ocurra.

Un programa de inspección debe ser desarrollado para identificar los diferentes tipos de daños posibles que deberían ser encontrados, el lugar donde estarían localizados, la técnica de inspección a utilizar y que tan frecuente se debe de realizar la inspección.

Para realizar una inspección de manera efectiva, se deberán de disponer de datos de diseño tales como los materiales de construcción, dimensiones y procesos de fabricación. Se necesita además de datos del proceso como la presión y temperatura de trabajo y el producto que es manejado por el equipo. Por último debe de conocerse la historia del equipo referente a datos de inspecciones realizadas anteriormente, análisis de fallas, actividades de mantenimiento, reparaciones y modificaciones.

3.2.1. Tipo de daño a encontrar

Los tipos de daños que pueden afectar a los equipos en su vida de servicio con respecto a las condiciones ambientales y de operación poseen características físicas que se encuentran en la tabla 3.1 y deben de ser consideradas al momento de seleccionar las técnicas de inspección a emplear.

Los mecanismos de daños de una falla pueden ser de tipo mecánico, por corrosión, inducido por hidrógeno, por corrosión bajo esfuerzos o metalúrgicos y ambientales, los cuales producen los diferentes daños citados en la Tabla 3.1. Los daños pueden ser generales en toda la superficie del equipo o localizada, la cual requiere de una inspección más detallada para que sea detectada por medio de un entendimiento de los mecanismos de daños.

TABLA 3.1

TIPOS DE DAÑOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Tipo de daño	Descripción
Reducción de espesor	Remoción de material de una o más superficies (general o localizada)
Fisuras en superficies conectadas	Fisuras en una o más superficies metálicas que están en contacto
Fisuras subsuperficiales	Fisuras desarrolladas en la superficie del metal
Formación de microfisuras o microvacíos	Fisuras microscópicas o vacíos desarrollados en la superficie del metal
Cambios metalográficos	Cambios en la microestructura del metal
Cambios dimensionales	Cambio en las dimensiones físicas o de la orientación
Ampolladuras	Ampollas inducidas por el hidrógeno
Cambios en las propiedades del material	Cambios en las propiedades del metal

3.2.2. Técnicas de inspección

Las técnicas de inspección se seleccionan de acuerdo a su efectividad de detectar defectos. Sin embargo los mecanismos que producen estos daños pueden influir en la selección de las técnicas de inspección.

La efectividad de las técnicas de inspección en función al tipo de daño se observan en el Apéndice J, en donde una combinación de las técnicas genera un mejor resultado al momento de la búsqueda de defectos.

Al momento de seleccionar un método de inspección se deben de considerar factores de evaluación como los que se detallan en la Tabla 3.2, la cual menciona la importancia que toma en el análisis de riesgos.

La efectividad de la inspección es cuantificada en términos de los estados de daños del elemento, con el objeto de determinar por medio del teorema de Bayes la probabilidad real de detección que posee el programa de inspección seleccionado con relación a la confiabilidad de la tasa de deterioro obtenida. Los valores se muestran en la Tabla 3.3.

TABLA 3.2

FACTORES DE EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA INSPECCIÓN

Factor de Evaluación	Valoración en el análisis de riesgos
Densidad del daño y variabilidad	1. El daño ocurre en un área grande o pequeña 2. El daño ocurre de forma aleatoria o la localización puede ser predicha
Validación de la muestra	El programa de inspección es diseñado para concentrarse en lugares donde es probable que un daño ocurra
Tamaño de la muestra	El área inspeccionada debería ser apropiada para los mecanismos de daños a localizar
Capacidad de detección	La capacidad del tipo de inspección es evaluada cualitativamente
Validación de predicciones basado en anteriores observaciones	Las observaciones anteriores son usadas para predecir el futuro, basado en el incremento o decremento en la tasa de daño

TABLA 3.3

CUANTIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA INSPECCIÓN

Estado de daño	Efectividad de la inspección				
	Alta	Normal	Regular	Mala	No efectiva
Estado 1: Tasa de daño medida (0 – 1X)	0.9	0.7	0.50	0.40	0.33
Estado 2: Tasa de daño alta (1 – 2X)	0.09	0.2	0.30	0.33	0.33
Estado 3: Tasa de daño alta (2 – 4X)	0.01	0.1	0.20	0.27	0.33

La frecuencia de la inspección es determinada por medio de cuatro factores que son:

1. Mecanismo de daño y el tipo de daño
2. Tasa de daño
3. La tolerancia del equipo para el tipo de daño
4. Probabilidad de detección y predicción de daños con las técnicas de inspección

La frecuencia de inspección es seleccionada como una fracción de la vida remanente del equipo, la cual esta definida por la ecuación 3.1. Además, en las normas de inspección de los diferentes componentes se da información sobre el periodo que debe de existir entre cada inspección

$$\text{Vida Remanente (años)} = \frac{\text{Tolerancia de daño}}{\text{Tasa de daño}} \quad (\text{ec. 3.1})$$

3.2.3. Selección del programa de inspección

Para la selección del programa de inspección, primero se debe definir el mecanismo de daño al que se encuentran

expuestos los 9 recipientes y determinar el posible tipo de daño a encontrar.

Debido a las condiciones de operación y propiedades físicas de las sustancias almacenadas, los tanques se encuentran expuestos al mecanismo de daño por corrosión causado en el interior del tanque producto de la acción corrosiva de la sustancia almacenada y a corrosión atmosférica debido a una atmósfera de trabajo tipo industrial, la cual contiene sulfatos en suspensión y afecta a la capa de pintura que poseen los tanques.

El tipo de daño que se va a encontrar en los tanques de almacenamiento es el de reducción de espesor producto de la reducción del espesor de las planchas que conforman a los tanques, provocando que los tanques puedan ser puestos fuera de servicio si al momento de la inspección se detecta un espesor menor al requerido para que soporte los esfuerzos producidos por el peso de la columna líquida de la sustancia almacenada.

De acuerdo a las recomendaciones del apéndice J, se han seleccionado la inspección visual y la medición de espesores

para la evaluación del estado de cada uno de los tanques y tentativamente se tiene que la inspección debería de realizarse al menos cada 5 años de acuerdo a las recomendaciones de la norma API 620 y API 653.

3.3. Inspección de los equipos seleccionados

En la Figura 3-1 se muestran a los tanques a ser inspeccionados en donde se observa el sistema de enfriamiento de los tanques en caso de ocurrir un incendio.



FIGURA 3-1. VISTA GENERAL DE LOS TANQUES A INSPECCIONAR

La inspección realizada en los recipientes en el sitio consistió de la evaluación visual de la integridad física de cada tanque de almacenamiento, en donde se tomo en cuenta las condiciones en que se encuentran las válvulas de despacho, válvulas de vacío, pintura sobre el recipiente, estado de los cordones de soldadura, estado del sistema de enfriamiento de los tanques, separación de las paredes del cubeto de contención y estado de las escaleras y plataformas por medio de la norma API 620 “Design and Construction of Large Welded, Low Pressure Storage Tank” y API 575 “Inspection of Atmospheric and Low – Pressure Storage Tanks”.

La medición de espesores de las planchas que conforman a los tanques fue llevada a cabo a través de las recomendaciones encontradas en la Norma ASME “Boiler and Pressure Vessel Code - Section V Nondestructive Examinations”. Para llevar a cabo estas mediciones, se utilizó un equipo de señal ultrasónica marca STRESSTEL modelo T – Mike, para obtener los espesores de cada tanque, realizando 2.5 lecturas por metro cuadrado. Las lecturas fueron puntuales y se llevaron acabo en las tapas y anillos que conforman a los tanques.

La inspección ha sido realizada después de 6 años de haberse realizado la última inspección y se procedió a comparar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con las anteriores a fin de determinar la tasa de deterioro de cada tanque y de esta forma predecir el tiempo de vida remanente.

Por falta de datos de diseño, se determinó el espesor mínimo requerido de acuerdo a las especificaciones de operación de los tanques y consideraciones de diseño. Además, se consideró una vida de diseño de 40 años como recomendación de la norma API 581 "Risk Based Inspection para realizar posteriormente el análisis de riesgos.

3.4. Resultados obtenidos

Los valores significativos de la medición de espesores obtenidos de cada tanque se muestran en las Tablas 3.4 a la 3.12 se comparan los valores actuales con los datos anteriores de las planchas del fondo por ser más susceptible a fallas y determinar la tasa de corrosión promedio de los tanques.

Los resultados de la inspección visual de los tanques son mostrados desde la Figura 3.2 hasta la Figura 3.8, en la que se proporciona una breve descripción de los defectos encontrados.

TABLA 3.4

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 1

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.60	3.80	3.67
	PL4	Mayo – 03	3.10	3.62	3.47
DIFERENCIA					0.20
AN2	PL4	Julio – 97	3.49	3.70	3.64
	PL4	Mayo – 03	3.48	3.65	3.58
DIFERENCIA					0.06
AN3	PL1	Julio – 97	3.30	3.80	3.53
	PL1	Mayo – 03	3.23	3.71	3.50
DIFERENCIA					0.03
AN4	PL1	Julio – 97	3.60	3.90	3.74
	PL5	Mayo – 03	3.59	3.70	3.65
DIFERENCIA					0.09
AN5	PL1	Julio – 97	3.20	3.80	3.57
	PL4	Mayo – 03	3.10	3.72	3.49
DIFERENCIA					0.08
AN6	PL1	Julio – 97	3.00	3.80	3.60
	PL4	Mayo – 03	3.00	3.50	3.31
DIFERENCIA					0.29
AN7	PL1	Julio – 97	3.40	3.80	3.61
	PL1	Mayo – 03	3.00	3.80	3.51
DIFERENCIA					0.10
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.02

TABLA 3.5

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 2

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.50	3.80	3.71
	PL4	Mayo – 03	3.50	3.79	3.70
DIFERENCIA					0.01
AN2	PL4	Julio – 97	3.60	3.70	3.65
	PL3	Mayo – 03	3.50	3.62	3.56
DIFERENCIA					0.09
AN3	PL1	Julio – 97	3.80	3.90	3.84
	PL4	Mayo – 03	3.20	3.82	3.59
DIFERENCIA					0.25
AN4	PL1	Julio – 97	3.70	4.00	3.81
	PL1	Mayo – 03	3.60	3.69	3.66
DIFERENCIA					0.15
AN5	PL1	Julio – 97	3.70	3.90	3.76
	PL1	Mayo – 03	3.42	3.85	3.67
DIFERENCIA					0.09
AN6	PL1	Julio – 97	3.60	3.90	3.72
	PL1	Mayo – 03	3.60	3.85	3.72
DIFERENCIA					0.00
AN7	PL1	Julio – 97	3.60	3.90	3.75
	PL4	Mayo – 03	3.32	3.90	3.62
DIFERENCIA					0.13
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.02

TABLA 3.6

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 3

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.40	4.00	3.80
	PL4	Mayo – 03	3.40	3.70	3.71
DIFERENCIA					0.09
AN2	PL4	Julio – 97	3.50	4.00	3.73
	PL1	Mayo – 03	3.50	3.80	3.72
DIFERENCIA					0.01
AN3	PL1	Julio – 97	3.60	3.90	3.73
	PL1	Mayo – 03	3.55	3.80	3.73
DIFERENCIA					0.00
AN4	PL1	Julio – 97	3.20	3.90	3.70
	PL6	Mayo – 03	3.62	3.79	3.69
DIFERENCIA					0.01
AN5	PL1	Julio – 97	3.60	4.00	3.84
	PL1	Mayo – 03	3.56	4.00	3.75
DIFERENCIA					0.09
AN6	PL1	Julio – 97	3.70	4.00	3.86
	PL1	Mayo – 03	3.70	3.90	3.79
DIFERENCIA					0.07
AN7	PL1	Julio – 97	3.70	4.80	4.26
	PL4	Mayo – 03	3.78	4.01	3.88
DIFERENCIA					0.38
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.02

TABLA 3.7

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 4

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.10	3.90	3.55
	PL1	Mayo – 03	3.10	3.77	3.54
DIFERENCIA					0.01
AN2	PL4	Julio – 97	3.10	3.80	3.46
	PL1	Mayo – 03	3.05	3.78	3.46
DIFERENCIA					0.00
AN3	PL1	Julio – 97	3.20	3.80	3.63
	PL1	Mayo – 03	3.30	3.80	3.62
DIFERENCIA					0.01
AN4	PL1	Julio – 97	3.50	3.90	3.71
	PL6	Mayo – 03	3.45	3.80	3.66
DIFERENCIA					0.01
AN5	PL1	Julio – 97	3.30	3.90	3.67
	PL3	Mayo – 03	3.60	3.73	3.66
DIFERENCIA					0.01
AN6	PL1	Julio – 97	3.70	3.90	3.73
	PL1	Mayo – 03	3.53	3.73	3.67
DIFERENCIA					0.06
AN7	PL1	Julio – 97	3.50	4.00	3.77
	PL1	Mayo – 03	3.45	3.80	3.69
DIFERENCIA					0.08
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.004

TABLA 3.8

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 5

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.50	3.90	3.79
	PL1	Mayo – 03	3.42	3.50	3.46
DIFERENCIA					0.33
AN2	PL4	Julio – 97	3.40	3.90	3.67
	PL1	Mayo – 03	3.35	3.81	3.52
DIFERENCIA					0.15
AN3	PL1	Julio – 97	3.50	4.00	3.83
	PL1	Mayo – 03	3.21	3.45	3.34
DIFERENCIA					0.49
AN4	PL1	Julio – 97	4.00	4.00	4.00
	PL2	Mayo – 03	3.50	3.62	3.56
DIFERENCIA					0.44
AN5	PL1	Julio – 97	3.30	4.00	3.56
	PL4	Mayo – 03	3.35	3.70	3.56
DIFERENCIA					0.00
AN6	PL1	Julio – 97	3.40	3.90	3.60
	PL1	Mayo – 03	3.40	3.75	3.56
DIFERENCIA					0.04
AN7	PL1	Julio – 97	3.50	4.00	3.71
	PL1	Mayo – 03	3.32	3.52	3.42
DIFERENCIA					0.29
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.04

TABLA 3.9

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 6

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	3.70	4.00	3.87
	PL4	Mayo – 03	3.45	3.71	3.58
DIFERENCIA					0.29
AN2	PL4	Julio – 97	3.40	4.00	3.67
	PL1	Mayo – 03	3.10	3.68	3.49
DIFERENCIA					0.18
AN3	PL1	Julio – 97	3.40	3.90	3.74
	PL4	Mayo – 03	3.43	3.87	3.66
DIFERENCIA					0.08
AN4	PL1	Julio – 97	3.40	3.80	3.61
	PL2	Mayo – 03	3.20	3.30	3.25
DIFERENCIA					0.36
AN5	PL1	Julio – 97	3.30	3.90	3.71
	PL4	Mayo – 03	3.50	3.72	3.63
DIFERENCIA					0.08
AN6	PL1	Julio – 97	3.30	4.00	3.57
	PL1	Mayo – 03	3.33	3.80	3.57
DIFERENCIA					0.00
AN7	PL1	Julio – 97	3.30	4.00	3.76
	PL1	Mayo – 03	3.12	3.60	3.36
DIFERENCIA					0.40
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.04

TABLA 3.10

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 7

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	1.60	3.80	3.37
	PL4	Mayo – 03	2.40	3.50	3.30
DIFERENCIA					0.07
AN2	PL4	Julio – 97	3.00	3.70	3.39
	PL1	Mayo – 03	3.00	3.75	3.37
DIFERENCIA					0.02
AN3	PL1	Julio – 97	2.70	3.90	3.51
	PL4	Mayo – 03	2.70	3.80	3.51
DIFERENCIA					0.00
AN4	PL1	Julio – 97	3.10	3.90	3.56
	PL2	Mayo – 03	3.00	3.89	3.53
DIFERENCIA					0.03
AN5	PL1	Julio – 97	2.70	3.80	3.51
	PL1	Mayo – 03	3.36	3.70	3.50
DIFERENCIA					0.01
AN6	PL1	Julio – 97	3.40	3.70	3.51
	PL1	Mayo – 03	3.28	3.70	3.51
DIFERENCIA					0.00
AN7	PL1	Julio – 97	3.40	3.80	3.57
	PL1	Mayo – 03	3.45	3.60	3.52
DIFERENCIA					0.05
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.004

TABLA 3.11

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 8

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	5.56	5.72	5.65
	PL4	Mayo – 03	5.52	5.70	5.61
DIFERENCIA					0.04
AN2	PL4	Julio – 97	5.40	5.80	5.61
	PL1	Mayo – 03	5.35	5.70	5.48
DIFERENCIA					0.13
AN3	PL1	Julio – 97	5.60	5.90	5.74
	PL1	Mayo – 03	5.40	5.90	5.60
DIFERENCIA					0.14
AN4	PL1	Julio – 97	4.80	5.70	5.43
	PL1	Mayo – 03	5.14	5.52	5.37
DIFERENCIA					0.06
AN5	PL1	Julio – 97	5.50	5.70	5.61
	PL1	Mayo – 03	5.38	5.70	5.61
DIFERENCIA					0.00
AN6	PL1	Julio – 97	5.40	5.70	5.54
	PL1	Mayo – 03	5.40	5.70	5.49
DIFERENCIA					0.05
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.01

TABLA 3.12

MEDICIÓN DE ESPESORES TANQUE N° 9

Anillo N°	Plancha N°	Fecha de medición	Lecturas (mm)		
			L. min	L. max	L. prom
AN1	PL4	Julio – 97	6.00	6.00	6.00
	PL1	Mayo – 03	5.79	6.35	5.95
DIFERENCIA					0.05
AN2	PL4	Julio – 97	5.80	6.00	5.91
	PL4	Mayo – 03	5.80	6.00	5.90
DIFERENCIA					0.01
AN3	PL1	Julio – 97	5.80	6.00	5.93
	PL4	Mayo – 03	5.79	5.87	5.82
DIFERENCIA					0.11
AN4	PL1	Julio – 97	5.90	6.00	5.93
	PL4	Mayo – 03	5.78	6.10	5.90
DIFERENCIA					0.03
AN5	PL1	Julio – 97	5.90	6.00	5.96
	PL1	Mayo – 03	5.80	6.05	5.94
DIFERENCIA					0.02
Tasa de corrosión promedio (mm/año)					0.01



FIGURA 3-2. FALTA DE SEGURIDAD EN LA DESCARGA DE PRODUCTO



FIGURA 3-3. CORROSIÓN DEL SOPORTE DE LA PLATAFORMA- TK 2



FIGURA 3-4. CORROSIÓN EN LAS SILLETAS DE SOPORTE- TK 2



FIGURA 3-5. TAPA CORROÍDA Y SIN PERNOS DE SUJECIÓN- TK 3



FIGURA 3-6. DISMINUCIÓN DE ESPESOR LOCALIZADA- TK 7



FIGURA 3-7. CORROSIÓN ENTRE ESCALERA Y TANQUE- TK 8



FIGURA 3-8. DISTANCIA DE TANQUE A CUBETO INADECUADO– TK 9



FIGURA 3-9. DISTANCIA ENTRE TANQUES INSUFICIENTES

3.5. Determinación cuantitativa del índice de riesgos

El análisis de riesgos de forma cuantitativa se utiliza para establecer el nivel de riesgo del componente en estudio en términos de área afectada por año o por pérdidas económicas por año, luego de haber ejecutado el plan de inspección seleccionado anteriormente con el análisis cualitativo

La determinación del riesgo cuantitativo se realiza por medio de los procedimientos explicados en las secciones 2.4 y 2.5. Para la determinación del índice de riesgos, se deben definir las características del fluido almacenado y de esta manera calcular la tasa de emisión al ambiente a fin de encontrar las consecuencias que provocarán las diferentes emisiones dependiendo del tamaño de agujeros seleccionados y a través de la determinación de la probabilidad de falla, determinar el índice de riesgos dependiendo del interés requerido.

3.6. Índice de riesgos cuantitativo de los componentes seleccionados

De acuerdo a los factores de inflamabilidad, toxicidad y reactividad, el tanque N° 4 no será considerado en el análisis cuantitativo.

El primer paso consiste en determinar el fluido representativo en cada tanque con la Tabla 2.6 y definir sus propiedades, Además se debe tener en cuenta la fase del fluido dentro del recipiente y a condiciones ambientales para modelar el fluido de acuerdo a la Tabla 2.9. El fluido representativo de cada tanque con sus propiedades y forma de modelado se puede observar en la Tabla 3.13.

Con los valores de la Tabla 2.7, seleccionamos el juego de agujeros para realizar el análisis y por tratarse de tanques de almacenamiento atmosféricos horizontales, se seleccionan los cuatro tipos de agujeros, es decir ¼”, 1”, 4” y ruptura.

La cantidad disponible a ser emitida en una fisura, será en este caso del 50% del contenido de líquido en cada recipiente y se procede a calcular la tasa de descarga de cada sustancia para cada tamaño de agujero con la ecuación 2.2, donde C_d toma el valor de 0.61 y los resultados se muestran en la Tabla 3.14

$$Q_L = C_d A \sqrt{2\rho - \rho \frac{g_c}{144}} \quad (\text{ec. 2.2})$$

TABLA 3.13

FLUIDO REPRESENTATIVO, PROPIEDADES Y TIPO DE MODELADO

Tanque	Fluido Contenido	Material Representativo	Gravedad específica	Tipo de modelado
1	Diluyente	C ₃ – C ₅	0.799	Líquido
2	Xileno	Aromático; C ₆ – C ₈	0.86	Líquido
3	Hexano	C ₆ – C ₈	0.675	Líquido
5	Butanol	C ₃ – C ₅	0.805	Líquido
6	Tolueno	Aromático	0.87	Líquido
7	Acetato de etilo	C ₁ – C ₂	0.785	Líquido
8	Ácido Sulfúrico	Ácido (alto)	1.84	Líquido
9	Soda Líquida	Ácido (alto)	1.78	Líquido

TABLA 3.14

TASA DE DESCARGA POR AGUJERO PARA CADA TANQUE

Tanque	1/4"	1"	4"	Ruptura
	(lb/s)	(lb/s)	(lb/s)	(lb/s)
1	0.282	4.505	72.081	1153.310
2	0.292	4.674	74.783	1196.525
3	0.259	4.141	66.253	1060.046
5	0.283	4.522	72.352	1157.632
6	0.294	4.701	75.216	1203.462
7	0.279	4.465	71.448	1143.161
8	0.427	6.837	109.386	1750.176
9	0.420	6.724	107.588	1721.404

A continuación se establece si la emisión será instantánea, si la cantidad emitida del fluido es mayor a 10000 libras en 3 minutos, caso contrario, será continua. Utilizando el fluido del tanque 3 que posee las menores tasa de emisión, se encontró que para los agujeros de ¼ y 1" la emisión es continua, mientras que el agujero de 4" y la ruptura, obedecen a una emisión instantánea.

El área afectada por consecuencias inflamables para cada tipo de emisión de los tanques 1 al 7, excepto el 6, es calculada con las ecuaciones de las Tablas 2.11 y 2.12 y los resultados se muestran en la Tabla 3.15. Para los tanques 8 y 9, se utilizará la curva que obedece a la ecuación 3.2 de la Figura 2.9 en las emisiones continuas y los resultados se observan en la Tabla 3.16

$$A = 2699.5x^{0.2024} \quad (\text{ec. 3.2})$$

Como el tolueno es tóxico, para el tanque N° 6 se considera el porcentaje de evaporación de la Tabla 2.16 para el tiempo de duración de una fuga continua de la Tabla 2.10, en donde el sistema de detección y de aislamiento tienen categoría C de acuerdo a la Tabla 2.5. El área afectada se calcula con la ecuaciones 2.7 de acuerdo al tipo de emisión. La Tabla 3.17 muestra los resultados obtenidos

TABLA 3.15

ÁREA AFECTADA POR LAS CONSECUENCIAS INFLAMABLES

Tanque	Área afectada (m ²) por agujero			
	1/4"	1"	4"	Ruptura
1	45.91	555.91	2923.22	2923.22
2	16.03	189.11	4356.98	4356.98
3	14.41	169.79	3606.86	3606.86
5	46.06	557.80	2941.86	2941.86
7	No se modela			

TABLA 3.16

ÁREA AFECTADA POR LAS CONSECUENCIAS TÓXICAS

Tanque	Área afectada (m ²) por agujero			
	1/4"	1"	4"	Ruptura
8	211.11	370.075	No se modela	
9	210.406	368.829	No se modela	

TABLA 3.17

ÁREA AFECTADA POR LA EMISIÓN DE TOLUENO DEL TANQUE 6

Tamaño de agujero (pulg.)	1/4	1	4	Ruptura
Duración de la fuga (min)	60	40	Instantánea	
Cantidad emitida (lb)	1058.4	11282.4	37891.95	37891.95
Tasa de evaporación (lb/s)	0.011	0.118	0.395	0.395
Área afectada (m ²)	0.00061	0.007	0.022	0.022

El acetato de etilo contenido en el tanque N° 7, no puede ser modelado tanto para consecuencias inflamables como para consecuencias tóxicas, debido a que el estado final del fluido es líquido, lo cual concuerda con el análisis cualitativo que lo calificó con un índice 3B, el que significa que su riesgo es bajo, por lo tanto no se lo considerará para la determinación cuantitativa del índice de riesgos.

El siguiente paso consiste en encontrar la probabilidad de falla a los que se encuentran expuestos los tanques en estudio por medio de la ecuación 2.8

$$Frecuencia_{Ajustada} = Frecuencia_{genérica} \times F_E \times F_M \quad (\text{ec. 2.8})$$

Del Apéndice I, se obtiene la frecuencia genérica de falla de los tanques para cada agujero. A continuación se procede a calcular el factor de modificación del equipo, el cual consta de 4 subfactores explicados en la sección 2.5.1.

Para el cálculo del subfactor de módulo técnico, se establece el mecanismo de daño, el cual fue establecido al momento de desarrollar el plan de inspección y se determinó que los tanques están expuestos a corrosión, lo que provoca reducción de espesor

de las planchas que conforman al recipiente. El tipo de daño se encuentra considerado dentro de la norma API 581 en su Apéndice G, para el cálculo de este módulo, el cual consiste en aplicar la ecuación 3.3 y de acuerdo a la efectividad de la inspección para corrosión detallada en la Tabla 3.18 y el número de inspecciones realizadas determinar el subfactor de módulo técnico a partir del Apéndice K. Este valor deberá ser multiplicado por el factor de sobre diseño de la Tabla 3.19 de acuerdo a la ecuación 3.4.

$$\frac{ar}{t} \quad (\text{ec. 3.3})$$

$$\frac{T_{actual}}{T_{actual} - CA} \quad (\text{ec. 3.4})$$

Donde a representa el tiempo, r la tasa de corrosión y t el espesor en la ecuación 3.3 y T_{actual} se refiere al espesor actual y CA el espesor considerado para la corrosión.

Con las recomendaciones de la norma API 620, se determinó que el espesor mínimo requerido para los tanques es de aproximadamente de 1.3 mm, en donde los resultados del subfactor de módulo técnico para cada tanque se encuentran en la Tabla 3.20

TABLA 3.18

APRECIACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA INSPECCIÓN

Efectividad de la inspección	Tipo de inspección
Alta	Examinación visual interna completa con medición por ultrasonido de espesores
Normal	Examinación visual interna parcial con medición por ultrasonido de espesores
Regular	Medición ultrasónica externa de espesores
Mala	Prueba del martillo
No efectiva	Examinación externa visual

TABLA 3.19

AJUSTES POR SOBRE DISEÑO

$T_{\text{actual}}/(T_{\text{actual}} - CA)$	Factor de sobre diseño
1.0 a 1.5	1
> 1.5	0.5

TABLA 3.20

MÓDULO TÉCNICO DE LOS TANQUES

Tiempo entre inspecciones			6 años				
Tipo de Inspección			Normal				
Número de Inspecciones			1				
Tanque	r (mm/año)	t (mm)	ar/t	SFMT	CA (mm)	FSD	SFMT_{Final}
1	0.02	3.00	0.04	1	1.7	0.5	0.5
2	0.02	3.20	0.04	1	1.9	0.5	0.5
3	0.02	3.40	0.04	1	2.1	0.5	0.5
5	0.04	3.21	0.08	1	1.91	0.5	0.5
6	0.04	3.10	0.08	1	1.8	0.5	0.5
8	0.01	5.14	0.01	1	3.84	0.5	0.5
9	0.01	5.78	0.01	1	4.48	0.5	0.5

Los datos encontrados son de moderada fiabilidad de acuerdo a la Tabla 2.22, debido a que los datos fueron obtenidos por mediciones en el sitio y la efectividad de la inspección para los diferentes estados de daños se muestra en la Tabla 3.3, por lo que aplicando la ecuación 2.9 se tiene que la inspección para un estado de daño tipo 1 posee una fiabilidad del 90.74%

$$p[A / B_k] = \frac{0.7 \times 0.7}{0.7 \times 0.7 + 0.2 \times 0.2 + 0.1 \times 0.1} = 0.9074$$

Procedemos al cálculo del subfactor universal, el cual es el mismo para todos los tanques e involucra la condición en que se encuentran los tanques en la planta, las condiciones ambientales de operación y la actividad sísmica de la región. Las condiciones en planta son similares a compañías típicas, la temperatura en invierno es superior a los 40°F y la actividad sísmica de la región es 2, por lo que de acuerdo a los valores asignados en la Tabla 2.24, los tanques poseen un subfactor universal de 1.

El subfactor mecánico depende de la complejidad de los tanques, el código de construcción utilizado, el ciclo de vida y el factor de seguridad. El número de inyectores de cada tanque es 1, por lo que se asigna un valor de -1 de la Tabla 2.25. Los tanques se diseñados con la norma API620 en el año de 1971 y es mantenido

bajo ese código y por lo que corresponde un valor numérico 1 de la Tabla 2.27.

Al no existir datos de diseño se asume un tiempo de vida de 40 años sugerido en la norma API 581 y los tanques llevan en operación 32 años por lo que la vida en servicio es de un 80%, correspondiente a un valor numérico de 1 en la Tabla 2.28. Los tanques operan a presión atmosférica y en el diseño de estos tanques la presión de diseño tiene un margen de seguridad de 1.5, por lo tanto la relación entre la presión de operación con respecto a la de diseño es menor a 0.5, correspondiente a un valor numérico de -2 sugerido en la Tabla 2.29. El subfactor mecánico es de -1

El último subfactor a calcular es el correspondiente al proceso, en donde se considera la continuidad y estabilidad de la operación y el estado de las válvulas de alivio. Los mantenimientos planificados son 2 al año, mientras que los no planificados es 1 al año por lo que el valor numérico asignado es de -1.5 de la Tabla 2.31. La estabilidad de operación de los tanques se encuentra dentro de los procesos promedios por lo que su asignación numérica es 0 con respecto a la Tabla 2.32.

El plan de mantenimiento considera a todas las válvulas de los tanques las que poseen un servicio libre de suciedad por lo que el valor numérico asignado es de -2 de la Tabla 2.33. A excepción de los tanques 8 y 9, los tanques en su interior no poseen sustancias corrosivas por lo que su valor numérico es de 0, mientras que para los tanques 8 y 9 el valor numérico corresponde a 3, obtenidos de la Tabla 2.33. El subfactor de proceso de los tanques 1 al 7 es de -3.5 y el de los tanques 8 y 9 es de 0.5.

Los cuatro subfactores se suman y se obtiene el Factor de modificación de equipo. Para los tanques 1 al 7 el Factor toma un valor de 3 y para los tanques 8 y 9 el valor es de 1.

El último factor a considerar en la determinación de la probabilidad de fallas es el factor de evaluación del sistema de administración de la compañía, el cual es válido para todos los tanques en estudio e involucra la calificación que se obtenga de 101 preguntas sobre una calificación de 1000 puntos, resultado que será evaluado en la Figura 2.11 y servirá para incrementar o disminuir la frecuencia de falla de los tanques

Las preguntas con sus respectivos puntajes son mostradas a continuación en la Tabla 3.21.

TABLA 3.21

PREGUNTAS DEL FACTOR DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN

1. Gerencia y Administración		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	La compañía tiene políticas sobre la administración de seguridad de los procesos.	10	10
2	La política general se tiene en:		
	a) Manuales	2	2
	b) Afiches en varios sitios	2	2
	c) Se incluye en todos los folletos	2	2
	d) Publicada en programas de capacitación	2	0
	e) Utilizada en otras formas	2	0
3	Las responsabilidades de los gerentes están claramente descritas	10	10
4	Los objetivos de seguridad son establecidos anualmente por el personal involucrado	15	15
5	Que porcentaje de la gerencia a participado en seminarios sobre seguridad en los últimos 3 años	%x10	8
6	Existe un comité de seguridad o similar?	5	5
	a) Es parte del organigrama este comité	5	5

	b) El comité conoce de los documentos a ser implantados	5	5
Puntaje Total		70	64
2. Información segura del proceso		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Los datos de seguridad de las sustancias químicas manipuladas están disponibles en cada unidad	5	0
	a) La cantidad máxima a almacenar esta documentada	2	2
	b) La información esta disponible para el personal de mantenimiento, operadores y contratistas en la unidad	2	2
	c) Son los efectos peligros y el personal esta capacitado para situaciones riesgosas	2	0
2	Los procedimientos de control de calidad para todos los materiales permiten la identificación de las especificaciones cuando son recibidos o utilizados	10	10
3	Si información de lectura disponible en el sitio es:		
	a) Resumen del proceso químico	3	0
	b) Límites de operación (temperatura, presión, flujo)	3	0
	c) Consecuencias en caso de pasar los límites	3	0
4	Existe un diagrama de flujo disponible para el entendimiento del proceso para los operadores	5	0

5	Están disponibles los planos de instrumentación y proceso de todas las unidades en el sitio	10	0
6	Existe documentación de que los equipos se han diseñado bajo normas	8	0
7	Todos los equipos se han diseñado bajo norma	4	4
	Existe los datos de mantenimiento y diseño en el manual de seguridad del operador	4	0
8	Se tiene información escrita de los equipos de:		
	a) Materiales de construcción	1	1
	b) Códigos de diseño	1	1
	c) Clasificación eléctrica	1	1
	d) Diseño de sistemas de alivio	1	1
	e) Diseño del sistema de ventilación	1	1
	f) Sistemas de seguridad	1	1
9	Los procedimientos en el sitio de cada individuo son conocidos dentro del proceso de seguridad	5	5
10	La documentación sobre la seguridad del proceso es mantenida como referencia en cada elemento	8	0
Puntaje Total		80	29
3. Análisis de peligros del proceso		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Que porcentaje de todas las unidades que manejan	%x10	0

	sustancias peligrosas se han considerado en un análisis de peligros del proceso en los últimos 5 años		
2	Existe un orden de prioridad para conducir este tipo de análisis en el futuro Este análisis incluye los siguientes factores: a) La cantidad de material tóxico o inflamable b) El nivel de toxicidad o reactividad del material c) El número de personas cercanas al sitio d) Complejidad del proceso e) Condiciones de operación críticas	5 . 1 1 1 1 1	5 . 1 1 1 1 1
3	El análisis de peligros del proceso posee datos de: a) Los peligros del proceso b) Revisión previa de accidentes de cada equipo c) Control de peligros entre la ingeniería y administración d) Consecuencia de fallas e) Facilidades del sitio f) Factores humanos g) Evaluación cualitativa de los efectos de las fallas	 2 2 2 . 2 2 2 2 2	 2 0 0 . 2 2 2 2 2
4	Basado en el más reciente análisis de peligros a) El líder del equipo poseía experiencia	 3	 0

	b) El líder recibió preparación para el análisis	3	0
	c) Se tenía un experto en análisis de peligros en el equipo de análisis	3 .	0 .
	d) Fueron cubiertas todas las áreas durante el análisis	3 .	0 .
	e) Uno de los miembros del equipo no participó en el diseño original de las instalaciones	3	0
5	El sistema en el sitio posee las reglas y recomendaciones y están documentadas para asegurarse que sea utilizadas en un tiempo establecido	8	0
	a) Los tiempos de implementación están establecidos	3	0
	b) El sistema requiere que las decisiones del análisis de peligro y la implementación sea comunicada a todas las personas afectadas	3	0
6	La metodología utilizada en anteriores análisis o en la utilizar a futuro es la apropiada para la complejidad del proceso	10	10
7	El análisis de peligros fue guiado por alguien que estaba capacitado en la metodología empleada	12	0
8	Basado en el más reciente análisis, son las tasas promedio de análisis apropiados para la complejidad del sistema analizado	10	0
9	Después de que los peligros del proceso han sido identificados, son las probabilidades y consecuencias de fallas valorizadas con un estudio cualitativo o	5	5

	cuantitativo.		
Puntaje Total		100	35
4. Gestión de cambios		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Existe documentación pertinente sobre los pasos a seguir en caso de cambios en el proceso	9	9
	Los procesos autorizados son claros y tienen un alto nivel	5	5
2	Los siguientes tipos de cambios están considerados en el procedimiento de gestión de cambios		
	a) Cambios físicos del sistema	4	4
	b) Cambios en los procesos químicos	4	4
	c) Cambios en las condiciones del proceso	4	4
	d) Cambios significativos en el procedimiento de operación	4	4
3	Esta claramente entendido que es un cambio temporal	10	10
	a) La gestión de cambios maneja los cambios temporales como permanentes	4	4
	b) Las instalaciones temporales son removidas luego de un tiempo o se la re califica como permanentes	5	5
4	Los procedimientos de la gestión de cambios requiere que las siguientes acciones se revisen en el proceso		
	a) Análisis de peligros de los equipos		

	b) Actualizar los procedimientos de operación	3	0
	c) Actualizar los programas de mantenimiento	3	3
	d) Modificación de los planos de proceso e instrumentación y límites de operación	3	3
	e) Notificar de los cambios al personal involucrado	.	.
	f) Notificar a los contratistas de los cambios	3	3
	g) Revisión de los efectos de los cambios propuestos	3	0
		3	3
5	Cuando los cambios son hechos en el proceso o en la operación, se documentan los efectos en los equipos y materiales de construcción para determinar si la tasa de daños se incrementa o habrá nuevos mecanismos de daños en los equipos del proceso	10	0
6	Cuando se cambian los materiales de los equipos por reparación o mantenimiento, se hace una revisión metalúrgica para verificar que el nuevo material es acorde con el proceso	5	0
Puntaje Total		80	62
5. Procedimientos de operación		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Los procedimientos escritos de operación son disponibles para el personal de cada equipo.	10	10
	Los procedimientos de operación definen las responsabilidades de cada persona	5	5

2	Los procedimientos de operación consideran:		
	a) Arranque	2	2
	b) Operación normal	2	2
	c) Parada normal	2	2
	d) Parada de emergencia	2	2
	e) La posición de las personas para iniciar la parada de emergencia	2	2
	f) Paso para corregir o evitar desviaciones en el proceso	2	2
	g) Arranque después de la emergencia	2	2
	h) Sistemas de seguridad y sus funciones	2	2
3	Las siguientes consideraciones de seguridad son cubiertas en el uso de químicos en el proceso	.	.
	a) Propiedades de los químicos	3	3
	b) Precauciones a seguir y equipo de protección	4	4
	c) Medidas de control en caso de contacto físico	3	3
4	Los procedimientos de operación son fáciles de comprender	10	10
5	Son adecuados los procedimientos de transferencia de información	10	10
6	Con que frecuencia se revisa los procedimientos de operación		

	a) Anualmente o cuando ocurre un cambio	11	11
	b) Cada dos años	6	
	c) Solamente cuando se hacen grandes cambios	3	
	d) No esta establecido	0	
7	Conque frecuencia se hace una evaluación imparcial del nivel de complejidad de los procedimientos escritos	.	4
	a) Cada 6 meses	8	
	b) Anualmente	4	
	c) Cada 3 años	2	
	d) No se hace	0	
Puntaje Total		80	76
6. Prácticas seguras de trabajo		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Las prácticas de seguridad en el trabajo desarrolladas e implementadas por los empleados y contratistas para controlar los peligros durante la operación o el mantenimiento incluyen:		
	a) Trabajos con temperatura	2	0
	b) Procedimientos de interrupción de líneas	2	2
	c) Cerrojos y adhesivas	2	0
	d) Ingreso a espacios confinados	2	2

	e) Tuberías o abertura de equipos de procesos	2	0
	f) Ingreso a las instalaciones para personal contratista, de mantenimiento, de laboratorio u otro personal.	2	2
	g) Ingreso de vehículos	2	0
	h) Grúas de carga	2	0
	i) Manejo de materiales peligrosos	2	2
	j) Inspección o mantenimiento de equipos en servicio	2	2
2	Las recomendaciones listadas anteriormente requieren de una autorización previa para iniciar la actividad Si es así, los procedimientos permiten:	10 .	10 .
	a) Formas para resguardar el área	1	1
	b) Instrucciones claras suministradas	1	1
	c) Autorización para emisiones	1	1
	d) Firmas para completar el trabajo	1	1
	e) Procedimientos para extensión del trabajo	1	1
3	Existe una capacitación formal a las personas acerca de las autorizaciones emitidas	10	10
4	Son los empleados afectados capacitados acerca de las autorizaciones y requerimientos de procedimientos	10	10

5	Conque frecuencia se evalúa los requerimientos para realizar trabajos en algún componente	.	
	Cada 3 meses	8	
	Cada 6 meses	4	2
	Anualmente	2	
	No se realiza	0	
6	Los procedimientos en el sitio requieren que los procedimientos autorizados y reglas de trabajo sean revisadas y actualizados formalmente cada 3 años	10	10
	Los registros indican que estas revisiones se han llevado a cabo	5	0
7	Se tiene fuentes para determinar que las condiciones ambientales de trabajo son consistentes con los estándares de ergonomía	4	0
	Las deficiencias encontradas en estas fuentes han sido corregidas	4	0
Puntaje Total		85	57
7. Capacitación		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Están escritos los procedimientos que definen la capacitación general sobre seguridad, practicas de trabajo, etc. para que sean recibidos por todos los empleados	10	10

2	Se encuentra documentado la cantidad y contenido de las especificaciones de los programas de capacitación para nuevos empleados	10	10
3	Los procedimientos de capacitación incluyen:		
	a) Revisión de los procesos y las especificaciones de seguridad y peligros para la salud	3	3
	b) Capacitación en todos los procedimientos de operación	3	3
	c) Capacitación en los procedimientos de emergencia	3	3
	d) Énfasis en la seguridad de las actividades tales como las autorizaciones de trabajos, etc.	3	3
	e) Prácticas seguras de trabajo	3	3
	f) Habilidades básicas requeridas	3	3
4	Que métodos se utilizan para evaluar la comprensión de los operadores dentro de los programas de capacitación		
	Pruebas escritas y la observación de las actividades	10	
	Pruebas escritas solamente	7	3
	Opinión del instructor	3	
	No existe verificación	0	
5	Conque frecuencia se refresca los conocimientos del personal		

	Cada 3 años	10	
	Cuando se hacen cambios mayores	5	5
	Nunca	0	
6	Cual es el promedio del tiempo de capacitación que reciben los empleados por año		
	15 días/año o más	10	
	11 a 14 días/año	7	
	7 a 10 días/año	5	3
	3 a 6 días/año	3	
	menos de 3 días/año	0	
7	Existe una forma para identificar las áreas de capacitación que requiere el personal	4	4
	a) Los programas de capacitación están establecidos de acuerdo a las necesidades identificadas	4	4
	b) Son revisadas y actualizadas periódicamente	4	0
8	Se incluye lo siguiente en los programas de capacitación		
	a) Calificación del instructor	5	0
	b) Lecciones escritas se utilizan para verificar de que se han cubierto todos los tópicos	5	0
	c) Simulaciones son utilizadas para una mejor capacitación	5	0

	d) Se guardan registro de cada programa de capacitación y se utiliza para verificar si fue aprovechado el programa por el personal	5	0
Puntaje Total		100	57
8. Integridad mecánica		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Los registros desarrollados de los programas de inspección para los equipos incluye:		
	a) Los equipos necesarios para la inspección	2	0
	b) El personal responsable de las inspecciones	2	2
	c) La frecuencia de inspección	2	2
	d) Los métodos de inspección a utilizar	2	0
	e) Los requerimientos en los reportes de inspección	2	0
2	Los programas de inspección incluyen un programa de inspección visual de todas las unidades	2	2
	a) En la inspección visual se considera: la condición externa, aislamiento, pintura, soportes, identificación de mecanismos de daños, corrosión, fuga, vibración o componentes mal reparados	1	1
	b) Los recipientes a presión son revisados visualmente al menos cada 5 años	2	2
	c) Las tuberías que manejan productos inflamables, volátiles, tóxicos, ácidos y cáusticos son revisados visualmente al menos cada 5 años	2	2

3	Los recipientes a presión son inspeccionados detalladamente con técnicas no destructivas cada 10 años	5	5
4	Se utiliza personal capacitado para la identificación de las posibles causa de deterioro o falla	5	5
	a) La información es utilizada para establecer los métodos de inspección, frecuencia y desarrollo del programa de mantenimiento preventivo	1	1
	b) Se definen los límites basados en las consideraciones de aptitud para el servicio	1	1
5	Se realiza la medición de espesores de tuberías y recipientes	3	3
	a) En la localización de espesores críticos se elige		
	1. Factores del análisis de las probabilidades y frecuencias de fallas	1	1
	2. Consideraciones de corrosión localizada y erosión	1	1
	b) Las mediciones son registradas en un dibujo del elemento para poder verificar la medición en caso de ser requerido	2	2
	c) Los espesores se encuentran actualizados	2	2
	d) Los resultados predicen la vida remanente y la próxima inspección	2	2
6	La máxima presión de trabajo en las tuberías esta	3	3

	establecido por norma de acuerdo a las condiciones de operación Son revisadas después de la medición de espesores, utilizando la tasa de corrosión y espesor mínimo	2	2
7	Para cambios en los métodos y frecuencia de inspección existen procedimientos establecidos por personal calificado	5	0
8	Se utiliza una lista de revisión para la inspección Son periódicamente revisados y actualizados	3 2	3 2
9	Las inspecciones, pruebas y reparaciones de los equipos se encuentra registrado La documentación incluye: a) Fecha de la inspección b) Nombre de la persona que la realizó c) Identificación del equipo inspeccionado d) Descripción de la prueba utilizada e) Resultado de la inspección f) Recomendaciones producto de la inspección g) Fecha y descripción de las actividades de mantenimiento	3 3	3 3
10	Las deficiencias encontradas en la inspección son corregidas en un tiempo corto y existe forma de verificar que se las haya realizado	5	0

	a) Existen sistemas auxiliares para realizar las operaciones del equipo	1	1
	b) Si se encuentran defectos, la decisión de continuar en operación esta basado en criterios de ingeniería recomendados en la aptitud para el servicio	2	0
11	Existe un archivador con la información de l programa de inspección	3	3
	La información está disponible para el personal que vaya a trabajar en el proceso	2	2
12	Todos los empleados envueltos en el mantenimiento y la inspección de los equipos están capacitados para las desviaciones del proceso y sus peligros	5	5
13	Todos los empleados envueltos en el mantenimiento y la inspección de los equipos están capacitados para el cumplimiento de sus tareas a fin de que sean seguras y efectivas	3	3
	La capacitación incluye un método de evaluación sobre la comprensión por parte del personal	2	0
14	Los inspectores están capacitados de acuerdo a los códigos industriales	5	5
15	Se tienen programas de capacitación para el personal de contratista a fin de garantizare la seguridad en el trabajo a realizar	5	0
16	Se tiene una lista establecida para la inspección de las	3	3

	válvulas de alivio de cada componente		
	a) La lista es conocida?	1	1
	b) Todas las reparaciones e inspecciones están documentadas	1	1
	c) Las reparaciones fueron hechas por personal calificado y con experiencia en el mantenimiento de válvulas	1	1
17	El programa de mantenimiento preventivo utiliza los siguientes criterios		
	a) Los puntos críticos tales como interruptores eléctricos y equipo rotativo están identificados	1	1
	b) Se utiliza lista de inspección	1	1
	c) El trabajo debe ser realizado en un tiempo establecido	1	1
	d) El programa es actualizado después de cada inspección	1	0
	e) Las reparaciones son identificadas en el programa de mantenimiento preventivo	1	1
18	En los programas de mantenimiento y construcción se asegura que:	.	.
	a) Materiales de construcción adecuadas sean utilizados	1 .	1 .
	b) Los procedimientos de fabricación e inspección sean apropiados	1	1

	c) Los equipos son mantenidos de acuerdo al código de construcción utilizado	1	1
	d) Las bridas son ensambladas correctamente	1	0
	e) Los materiales de reemplazo y mantenimiento son especificados, inspeccionados y almacenados correctamente	1	1
19	Los registros de todos los recipientes a presión incluyen <ul style="list-style-type: none"> a) Datos de la manufactura b) Identificación del recipiente c) Información de las válvulas de alivio d) Resultado de las inspecciones, reparaciones, alteraciones a la fecha 	5	0
20	Existe la metodología para comprobar que los diseños y reparaciones de recipientes o tuberías son acordes a las normas	5	5
Puntaje Total		120	88
9. Revisión inicial de seguridad		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Dentro de las políticas de la compañía, se requiere de un análisis de peligros de proceso en la concepción y diseño de proyectos de nuevos desarrollos, construcciones y grandes modificaciones	10	0
2	Si los procedimientos escritos antes de realizar	10	0

	<p>modificaciones o nuevas instalaciones requieren de:</p> <p>a) Los procedimientos de operación</p> <p>b) Capacitación completa del personal envuelta en el proceso</p> <p>c) Procedimientos adecuados de mantenimiento, seguridad y emergencia</p> <p>d) Alguna recomendación producto del análisis de peligros del proceso</p>		
3	<p>Si en los procedimientos se considera la inspección antes de la instalación para confirmar que se cumplan las especificaciones de diseño y manufactura</p> <p>a) Se requiere de un informe de la inspección de la fabricación y la inspección</p> <p>b) Los procedimientos definen las acciones correctivas a seguir en caso de encontrar deficiencias</p>	<p>10</p> <p>5</p> <p>5</p>	<p>10</p> <p>5</p> <p>0</p>
4	<p>En la revisión inicial de seguridad, se requiere de una revisión física para confirmar:</p> <p>a) Fugas en los equipos mecánicos antes de introducir materiales peligrosos</p> <p>b) Verificación de los sistemas de control antes de arrancar el proceso</p> <p>c) Revisión de la instalación y operación de los equipos de seguridad</p>	<p>5</p> <p>5</p> <p>5</p>	<p>5</p> <p>5</p> <p>5</p>

5	Los datos anteriormente expuestos requieren de un documento certificado antes de comenzar la operación	5	5
Puntaje Total		60	35
10. Reacción a emergencias		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Se tiene un plan de emergencia escrito con todas las emergencias probables	10	10
2	¿Existe un requerimiento formal de revisión y actualización del programa basado en una planificación específica? :		
	a) Los procedimientos de administración de cambios incluyen un procedimiento que considera los impactos posibles en las instalaciones del programa de emergencia	2	2
	b) Los resultados actualizados del análisis de peligros en el proceso son revisados para determinar si algún peligro identificado requiere que se hagan cambios en el programa de emergencia	2	0
3	El programa de emergencia incluye lo siguiente:		
	a) Pasos para designar a un coordinador en una situación de emergencia con las responsabilidades bien definidas	2	2
	b) Procedimientos y rutas de escapes	2	2
	c) Pasos a seguir por los empleados para evitar	2	2

	situaciones críticas antes de la evacuación		
	d) Procedimientos para contar al personal después de la evacuación	2	2
	e) Obligaciones médicas y de rescate que deben de cumplir los empleados	2	2
	f) Datos a incluir en los reportes de incendios y otras emergencias	2	0
	g) Procedimientos de control de materiales peligrosos	2	2
	h) Programas de búsqueda y rescate	2	2
	i) Procedimientos para el reingreso a las instalaciones	2	2
4	Tienen un centro de control de emergencia designado dentro de las instalaciones Los recursos mínimos que posee son:	5	0
	a) Fuente de energía de emergencia	2	0
	b) Instalaciones para comunicación	2	0
	c) Copia de los planos, procesos y toda información referente a las unidades de la planta	2	0
5	Se tienen designadas las personas quienes pueden ser contactadas para dar información o explicaciones de las obligaciones bajo el programa de emergencia La lista esta localizada en sitios accesibles al personal	5 2	0 0

6	Existe una forma establecida para evaluar y reforzar el programa de emergencia	10	10
Puntaje Total		65	38
11. Investigación de incidentes		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Se tiene un procedimiento escrito de investigación para el estudio de accidentes y fallas	10	10
	El procedimiento incluye que las recomendaciones de la investigación sean realizadas	5	5
2	Los procedimientos requieren que el equipo de investigación incluya:		
	a) Un miembro capacitado en las técnicas de investigación de accidentes	3	3
	b) Personal que este familiarizado con el proceso	3	3
3	Indique si los procedimientos de investigación incluyen el registro de los siguientes datos		
	a) Incendios y explosiones	2	2
	b) Propiedades perdidas o establecer un costo base	2	2
	c) Lesiones e incapacidad laboral	2	2
	d) Descarga de sustancias peligrosas	2	2
	e) Otros incidentes	2	2
4	Los estándares de investigación de accidentes incluyen		

	la siguiente información.		
	a) Fecha del incidente	2	2
	b) Fecha que comenzó la investigación	2	2
	c) Descripción del incidente	2	2
	d) Causas básicas del incidente	2	2
	e) Evaluación del potencial severo y la frecuencia de recurrencia	2	2
	f) Recomendaciones para prevenir las recurrencias	2	2
5	Basado en la revisión de los registros de la compañía, Que grado se muestra que los procedimientos de investigación de incidentes son realizados	5	4
6	Si un incidente involucra la falla de un equipo o parte del mismo, el personal de ingeniería es apropiado para realizar un análisis de fallas	10	0
7	Los reportes de investigación de incidentes incluyen al personal afectado incluyendo el personal de contratista	5	5
8	Durante los últimos 12 meses, se han tenido accidentes en donde las conclusiones del reporte son transmitidas a otras compañías con instalaciones similares	6	0
9	Los procedimientos de estudios de incidentes y análisis de peligros en el proceso requieren que las observaciones sean revisadas e incorporadas en futuros análisis de peligros del proceso	6	0

Puntaje Total		75	52
12. Contratistas		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Los procedimientos de selección de contratistas incluyen las siguientes prioridades para otorgar el contrato		
	a) Si los contratistas poseen programas de seguridad y salud	3	0
	b) Si los contratistas poseen experiencia en el estudio de daños	3	3
	c) Poseen documentación que acredite que la compañía puede realizar el trabajo de forma segura y eficiente	3	3
2	Antes de comenzar los trabajos, los contratistas son asesorados por escrito de:		
	a) Conocimiento de los peligros del proceso	2	2
	b) Prácticas de seguridad de la compañía	2	2
	c) Control de accesos	2	2
	d) Los suministros disponibles en una emergencia	2	2
3	Las reuniones previas al trabajo revisan el alcance de las actividades a realizar y los requerimientos por partes de la compañía	9	0
4	Se toma un periodo para asegurar que los contratistas sean capacitados a fin de asegurar que el personal	9	0

	tenga conocimiento de las prácticas de seguridad.		
5	Todos los contratistas para mantenimiento o reparación cumplen los procedimientos establecidos en esta sección	10	0
Puntaje Total		45	14
13. Auditorías		Puntaje Posible	Puntaje Actual
1	Con qué frecuencia se realiza una valorización del sistema de gestión de seguridad del proceso Cada año Cada tres años No se realiza.	10 7 0	7
2	Se tiene un plan de acción desarrollado para conocer las necesidades del programa como se indicaron en la última revisión	10	0
3	Basado en la última revisión, el equipo de trabajo incluía personas con las siguientes habilidades: a) Capacitación formal en las técnicas aplicadas b) Conocimiento profundo del proceso	5 5	5 5
4	Basado en la última revisión, fue esta amplia y profunda de acuerdo a las instalaciones de la compañía	10	10
Puntaje Total		40	27

Total: 634/1000, equivalente al 63.4%.

De la Figura 2.11, se tiene que el factor de evaluación del sistema de administración es de 0.5, el cual se aplica a todos los componentes en estudio.

Una vez determinados los factores de modificación de equipo y de evaluación del sistema de administración, se procede al cálculo de la frecuencia ajustada de falla de cada uno de los tanques para los agujeros seleccionados a partir de la frecuencia genérica de falla. Los resultados son mostrados en la tabla 3.22.

Con las áreas afectadas por cada tanque de las tablas 3.15, 3.16 y 3.17, se procede junto a los valores de frecuencia ajustada a determinar el índice de riesgo cuantitativo del juego de agujeros y encontrar de esta manera el índice de riesgos total, los cuales se observan desde la Tabla 3.23 a la 3.31

El análisis de riesgos en los tanques en estudio, corresponden a un nivel 3, en donde se tiene un lucro cesante por la falla de un tanque entre 7000 y 40000 dólares. Para el análisis se ha escogido el valor más crítico, el cual coincide con los costos de falla sugeridos en el apéndice G y para el caso de ruptura se asumirá el valor de 80000 dólares recomendado en el apéndice, el cual es permitido por la norma API 581.

TABLA 3.22

FRECUENCIA AJUSTADA DE LOS TANQUES

Tanques	Tamaño de agujero (pulg.)	F genérica (veces/año)	F _E	F _M	F ajustada (veces/año)
1 al 7	¼	4 x 10 ⁻⁵	3	0.5	6x10 ⁻⁴
	1	1 x 10 ⁻⁴			1.5x10 ⁻⁴
	4	1x10 ⁻⁵			1.5x10 ⁻⁵
	Ruptura	2x10 ⁻⁵			3x10 ⁻⁵
8 y 9	¼	4 x 10 ⁻⁵	1	0.5	2x10 ⁻⁵
	1	1 x 10 ⁻⁴			5x10 ⁻⁵

TABLA 3.23

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 1 CON DILUYENTE

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	45.91	80000	0.0275	48
1	1.5x10 ⁻⁴	555.91	120000	0.0834	18
4	1.5x10 ⁻⁵	2923.22	280000	0.0438	4.2
Ruptura	3x10 ⁻⁵	2923.22	320000	0.0876	9.6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.2423	79.8
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3C (medio)	

TABLA 3.24

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 2 CON XILENO

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
1/4	6x10 ⁻⁴	16.03	40000	0.0096	24
1	1.5x10 ⁻⁴	189.11	120000	0.0284	18
4	1.5x10 ⁻⁵	4356.98	280000	0.0654	4.2
Ruptura	3x10 ⁻⁵	4356.98	320000	0.1307	9.6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.2341	55.8
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3C (medio)	

TABLA 3.25

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 3 CON HEXANO

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	14.41	40000	0.0086	24
1	1.5x10 ⁻⁴	169.76	120000	0.0255	18
4	1.5x10 ⁻⁵	3606.86	280000	0.0541	4.2
Ruptura	3x10 ⁻⁵	3606.86	320000	0.1082	9.6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.1964	55.8
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3B (bajo)	

TABLA 3.26

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 4 CON ACEITE AGRICOLA

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6×10^{-4}	0	40000	0	24
1	1.5×10^{-4}	0	40000	0	6
4	1.5×10^{-5}	0	40000	0	0.6
Ruptura	3×10^{-5}	0	80000	0	2.4
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0	33
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3A (bajo)	

TABLA 3.27

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 5 CON BUTANOL

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	46.06	120000	0.0276	72
1	1.5x10 ⁻⁴	557.8	200000	0.0837	30
4	1.5x10 ⁻⁵	2941.86	280000	0.0441	4.2
Ruptura	3x10 ⁻⁵	2941.86	320000	0.0883	9.6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.2437	115.8
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3C (medio)	

TABLA 3.28

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 6 CON TOLUENO

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	0.00061	40000	3.66X10 ⁻⁷	24
1	1.5x10 ⁻⁴	0.007	40000	1.05X10 ⁻⁶	6
4	1.5x10 ⁻⁵	0.022	40000	3.3X10 ⁻⁷	0.6
Ruptura	3x10 ⁻⁵	0.022	80000	6.6X10 ⁻⁷	2.4
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				2.4X10 ⁻⁶	33
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3D (medio alto)	

TABLA 3.29

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 7 CON ACETATO ETILO

Agujero (pulg.)	F_{ajustada} (veces/año)	Área afectada (m²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m²/año)	Riesgos (USD/año)
¼	6×10^{-4}	0	40000	0	24
1	1.5×10^{-4}	0	40000	0	6
4	1.5×10^{-5}	0	40000	0	0.6
Ruptura	3×10^{-5}	0	40000	0	2.4
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0	33
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3B (bajo)	

TABLA 3.30

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 8 CON ÁCIDO SULFÚRICO

Agujero (pulg.)	F ajustada (veces/año)	Área afectada (m ²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m ² /año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	211.11	40000	0.1266	24
1	1.5x10 ⁻⁴	370.075	40000	0.0555	6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.1821	30
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3D (medio alto)	

TABLA 3.31

ÍNDICE DE RIESGOS DEL TANQUE 9 CON SODA LÍQUIDA

Agujero (pulg.)	F ajustada (veces/año)	Área afectada (m ²)	Costo de falla (USD)	Riesgos (m ² /año)	Riesgos (USD/año)
¼	6x10 ⁻⁴	210.406	40000	0.1266	24
1	1.5x10 ⁻⁴	368.829	40000	0.0555	6
ÍNDICE DE RIESGO TOTAL				0.1821	30
NIVEL DE RIESGO CUALITATIVO				3D (medio alto)	

3.7. Tipo de fallas encontradas

Las fallas encontradas en el programa de inspección por medio de la inspección visual son iguales para todos los tanques, las cuales se detallan a continuación:

- La pintura en la parte superior ha sido afectada por derrame del producto contenido, lo cual es ocasionado cuando el proceso de llenado de los tanques no es controlado adecuadamente.
- Las tapas de los tanques se encuentran corroídas en su superficie y se puede observar la falta de la mayoría de pernos de sujeción.
- Se observa en algunos cordones de soldaduras defectos tales como: corrosión, porosidades y falta de penetración.
- Las silletas de soporte de los tanques presentan signos de corrosión producto de la acumulación de humedad y no poseen placa de desgaste.
- En el tanque N° 7 se observó una fuga del sistema de enfriamiento ubicado sobre el tanque, lo cual puede provocar

el deterioro de la pintura y acumulación de humedad en las silletas de soporte.

- Entre la escalera y la superficie del tanque N° 8, se observa corrosión localizada debida a la acumulación de humedad en esta zona.
- La separación entre los tanques no es la adecuada de acuerdo a la “Industrial Risk Insurers”, donde la separación entre tanques es igual a la tercera parte suma de los diámetros.
- La distancia entre los tanques y los muros de contención es pequeña, la cual debe de ser al menos la altura del tanque para contenerlo en el interior en caso de volteo.

Los tanques poseen una baja tasa de corrosión y cada año se reemplaza la pintura de la superficie exterior, lo cual hace que no sea necesario aplicar las recomendaciones de la norma 579 “Fitness for Service”, la que se utiliza cuando los componentes inspeccionados no cumplen los requisitos mínimos para poder seguir operando de acuerdo a los requerimientos del proceso y en caso de no poder realizarse los ajustes necesarios, la norma ayuda a la determinación de los nuevos parámetros de operación.

Para no afectar la integridad de los tanques se plantean realizar las siguientes observaciones:

- Colocar un sello asfáltico en las silletas a fin de evitar la acumulación de humedad
- Instalar las placas de desgaste en los tanques en la zona de contacto con las silletas de soporte
- Controlar mejor el proceso de llenado de los tanques para evitar derrames de productos que afecten la pintura.
- Reparar las soldaduras defectuosas
- Reparar las tapas corroídas y colocar todos los pernos de sujeción.
- Reemplazar la pintura deteriorada por derrame de producto.
- Evitar fugas en el sistema de enfriamiento de los tanques
- Eliminar el contacto entre la escalera y el tanque N° 8 a fin de evitar corrosión localizada
- Reemplazar las válvulas donde la manija se encuentre rota.

- De ser posible, separar los tanques entre si, por medio de las recomendaciones dadas por la “Industrial Risk Insurers”
- Tratar de que los muros de contención se encuentren ubicados a una distancia igual o mayor a la altura de los tanques.