

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TANQUE VERTICAL PARA EL
ALMACENAMIENTO DE 1870 M3 DE ÁCIDO SULFÚRICO EN
REFINERÍA NEXA-CAJAMARQUILLA 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

BACHILLERES: WILLIAMS JONATHAN SOTO INGAROCA

LUIS CRISTHIAN MORENO CASTILLON

Callao, 2021

PERÚ

**“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TANQUE VERTICAL PARA EL
ALMACENAMIENTO DE 1870 M3 DE ÁCIDO SULFÚRICO EN
REFINERÍA NEXA-CAJAMARQUILLA 2019”**

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

| | |
|--|-------------------|
| Dr. Juan Manuel Palomino Correa | Presidente |
| Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva | Secretario |
| Mg. Juan Guillermo Mancco Pérez | Miembro |
| Mg. Martin Toribio Sihuay Fernández | Asesor |

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis muy especialmente a nuestros padres, que con su ejemplo de esfuerzo, lucha, sacrificio y perseverancia nos inspiraron a seguir adelante hasta alcanzar la meta anhelada.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente tanto a Dios como a nuestros padres, por habernos encaminado por rumbo del estudio profesional. Sin ellos, no hubiese sido posible cada paso que hemos dado a lo largo de nuestras vidas, puesto que el camino recorrido no ha sido nada fácil. En segundo lugar, a los profesores de nuestra prestigiosa facultad y muy particularmente a nuestro asesor el Mg. Martín, Sihuay Fernandez, que con sus enseñanzas y consejos, fueron participes también de que podamos culminar satisfactoriamente nuestra carrera profesional.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 6 |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática | 13 |
| 1.2 Formulación del problema | 14 |
| 1.2.1 Problema general | 14 |
| 1.2.2 Problemas específicos..... | 14 |
| 1.3 Objetivos..... | 14 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 15 |
| 1.4 Limitantes de la investigación..... | 15 |
| 1.4.1 Teórico | 15 |
| 1.4.2 Temporal | 15 |
| 1.4.3 Espacial..... | 15 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 16 |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales | 16 |
| 2.2.2 Antecedentes nacionales | 18 |
| 2.2 Bases Teóricas | 21 |
| 2.2.1 Esfuerzos simples en elementos..... | 21 |
| a. Curva de esfuerzo-deformación..... | 21 |
| b. Esfuerzos normales máximo y mínimo..... | 23 |
| 2.2.2 Teorías de falla estática..... | 27 |
| a. Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (TECM)..... | 27 |
| b. Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico (TECO)..... | 29 |
| c. Teoría de la energía de distorsión (teoría de von Mises-Hencky) | 32 |
| d. Consideraciones sobre las teorías de falla estática | 35 |
| e. Resumen de las teorías de falla..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 Método de diseño de esfuerzo admisible (ASD)..... | 36 |
| Combinaciones de carga | 36 |
| 2.3 Conceptual..... | 37 |
| 2.3.1 Diseño mecánico | 37 |
| a. Definición de diseño | 37 |
| b. Importancia del diseño..... | 37 |
| c. Proceso de diseño | 38 |
| 2.3.2 Tanque | 40 |
| a. Tipos de recipientes..... | 40 |
| b. Tanques de almacenamiento..... | 41 |
| 2.3.3 Componentes del tanque | 45 |
| 2.3.4 Consideraciones del análisis y diseño estructural..... | 46 |
| a. Cargas de diseño | 46 |
| b. Análisis dinámico | 47 |
| 2.3.5 Método de los elementos finitos(MEF) | 47 |
| a. Principios del método del elemento finito | 48 |
| 2.3.6 Fabricación | 50 |
| a. Procesos de fabricación..... | 50 |
| 2.3.7 Normas y estándares aplicables | 55 |
| a. API Standard 650 | 55 |
| b. ANSI/AISC 360 | 58 |
| c. ASME V - IX | 58 |
| c. ASTM D 4285 - D 4417 | 59 |
| d. ASCE 7 – 10..... | 59 |
| e. AWS: Code D1.1 | 59 |
| f. SSPC (Steel Structures Painting council)..... | 60 |
| g. RNE..... | 60 |
| 2.4 Definición de términos básicos | 62 |
| III. HIPOTESIS Y VARIABLES..... | 63 |
| 3.1 Hipótesis general e hipótesis específicas..... | 63 |
| 3.1.1 Hipótesis General | 63 |
| 3.1.2 Hipótesis Específicas..... | 63 |
| 3.2 Definición conceptual de la variable..... | 64 |
| 3.2.1 Operacionalización de las variables..... | 65 |
| IV. DISEÑO METODOLÓGICO | 66 |

| | |
|---|-----|
| 4.1 Tipo y diseño de investigación..... | 66 |
| 4.1.1 Tipo | 66 |
| 4.1.2 Diseño | 66 |
| 4.2 Método de investigación..... | 67 |
| 4.3 Población y muestra..... | 68 |
| 4.3.1 Población..... | 68 |
| 4.3.2 Muestra | 68 |
| 4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado | 68 |
| 4.4.1 Lugar de estudio..... | 68 |
| 4.4.2 Periodo desarrollado..... | 68 |
| 4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información..... | 69 |
| 4.5.1 Técnica documental..... | 69 |
| 4.5.2 Técnica empírica | 69 |
| 4.6 Análisis y procesamiento de datos..... | 71 |
| 4.6.1 Procedimiento de la investigación..... | 72 |
| V. RESULTADOS..... | 178 |
| 5.1 Resultados | 178 |
| VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 190 |
| 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados | 190 |
| 6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares | 192 |
| 6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes | 195 |
| CONCLUSIONES..... | 196 |
| RECOMENDACIONES..... | 199 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 200 |
| ANEXOS | 206 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables..... | 65 |
| Tabla 2. Generalidades del tanque | 72 |
| Tabla 3. Proyección de espesores | 73 |
| Tabla 4. Zonificación sísmica..... | 76 |
| Tabla 5. Parámetros básicos. | 78 |
| Tabla 6. Datos para el cálculo..... | 78 |
| Tabla 7. Espesores para cada anillo. | 80 |
| Tabla 8. Techo auto soportado | 81 |
| Tabla 9. Dimensiones de las boquillas con bridas para techo. | 82 |
| Tabla 10. Dimensiones del manhole para techo..... | 84 |
| Tabla 11. Secciones típicas de anillos de refuerzos. | 85 |
| Tabla 12. Módulo de secciones de anillos de refuerzos. | 86 |
| Tabla 13. Dimensionamiento. | 90 |
| Tabla 14. Factor de importancia..... | 91 |
| Tabla 15. Factor de modificación de respuesta. | 92 |
| Tabla 16. Valor de periodo corto en función de la clase de sitio. | 93 |
| Tabla 17. Valor de periodo largo en función de la clase de sitio. | 94 |
| Tabla 18. Valores de la carga de sismo y presión de viento de diseño..... | 96 |
| Tabla 19. Área de cada elemento del tanque vertical..... | 98 |
| Tabla 20. Peso de cada elemento del tanque vertical | 100 |
| Tabla 21. Cargas de diseño. | 103 |
| Tabla 22. Requisitos mínimos para la altura libre..... | 104 |
| Tabla 23. Valores para altura libre. | 106 |
| Tabla 24. Valores de los coeficientes de las aceleraciones. | 110 |
| Tabla 25. Valores de la cortante basal..... | 111 |
| Tabla 26. Valores de la distancia desde la superficie del líquido al punto de análisis. | 113 |
| Tabla 27. Valores de los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas. | 116 |
| Tabla 28. Valores de los esfuerzos debido a la presión hidrostática del líquido..... | 118 |
| Tabla 29. Valores de los esfuerzos combinados de los anillos anulares de tensión..... | 121 |
| Tabla 30. Tensiones permitidas para diferentes materiales..... | 121 |
| Tabla 31. Valores de la relación de diseño..... | 123 |
| Tabla 32. Valores de estabilidad..... | 126 |
| Tabla 33. Criterios de relación de anclaje | 128 |
| Tabla 34. Elementos de composición del tanque vertical | 130 |
| Tabla 35. Combinaciones de carga en el cuerpo del tanque..... | 130 |
| Tabla 36. Desplazamiento del comportamiento de la deformada de combinación 3 respecto al espectro modal | 132 |
| Tabla 37. Desplazamientos del comportamiento de la deformada de combinación 4 respecto al espectro modal..... | 133 |
| Tabla 38. Periodo máximo respecto al espectro modal | 134 |
| Tabla 39. Periodo mínimo respecto al espectro modal..... | 134 |
| Tabla 40. Momento de la carga de sismo respecto al espectro modal | 135 |
| Tabla 41. Carga de la combinación 3 respecto a la carga hidrostática | 136 |
| Tabla 42. Carga de la combinación 4 respecto a la carga hidrostática | 137 |
| Tabla 43. Combinaciones de carga en el techo del tanque | 139 |
| Tabla 44. Desplazamientos del comportamiento de la deformada de la combinación N°3 | |

| | |
|--|-----|
| respecto a la cobertura del techo..... | 144 |
| Tabla 45. Especificaciones y cantidades de ángulos, canales y vigas..... | 146 |
| Tabla 46. Especificaciones y cantidades de tuberías..... | 147 |
| Tabla 47. Especificaciones y cantidades de bridas..... | 148 |
| Tabla 48. Especificaciones y cantidades de planchas..... | 148 |
| Tabla 49. Soldadores homologados..... | 154 |
| Tabla 50. Especificaciones de pintura base..... | 162 |
| Tabla 51. Especificaciones de aplicación de pintura base..... | 163 |
| Tabla 52. Especificaciones de pintura intermedia..... | 164 |
| Tabla 53. Especificaciones de aplicación de pintura intermedia..... | 164 |
| Tabla 54. Áreas y pesos de materiales para fabricación de tanque..... | 168 |
| Tabla 55. Partida de capacitaciones e inducción..... | 169 |
| Tabla 56. Partida de corte y biselado..... | 169 |
| Tabla 57. Partida de fabricación del tanque de almacenamiento..... | 170 |
| Tabla 58. Partida de inspección por tintes penetrantes..... | 170 |
| Tabla 59. Partida de arenado y pintado de estructuras..... | 171 |
| Tabla 60. Costo directo de fabricación del tanque..... | 172 |
| Tabla 61. Presupuesto del proyecto..... | 173 |
| Tabla 62. Especificación de actividades por día..... | 174 |
| Tabla 63. Avance programado vs Avance ejecutado..... | 176 |
| Tabla 64. Resultado de los parámetros de diseño..... | 178 |
| Tabla 65. Resultado del dimensionamiento del tanque vertical..... | 178 |
| Tabla 66. Resultado de las cargas de diseño del tanque vertical..... | 179 |
| Tabla 67. Resultado de los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas..... | 179 |
| Tabla 68. Resultado de los esfuerzos debido a la presión hidrostática del líquido..... | 179 |
| Tabla 69. Resultado de los esfuerzos combinados de anulares de tensión..... | 180 |
| Tabla 70. Resultados de la relación de diseño..... | 180 |
| Tabla 71. Resultado de la estabilidad del tanque..... | 180 |
| Tabla 72. Resultado de la simulación del tanque vertical..... | 181 |
| Tabla 73. Resultado de la simulación del techo auto soportado..... | 183 |
| Tabla 74. Denominaciones y materiales..... | 185 |
| Tabla 75. Especificaciones y ubicación de planchas..... | 186 |
| Tabla 76. Actividades realizadas en las planchas..... | 186 |
| Tabla 77. Pasos a seguir en el soldeo de estructuras del tanque..... | 186 |
| Tabla 78. Pasos a seguir en el soldeo de estructuras del tanque..... | 187 |
| Tabla 79. Preparación superficial..... | 187 |
| Tabla 80. Pintado..... | 188 |
| Tabla 81. Costos de fabricación..... | 188 |
| Tabla 82. Presupuesto..... | 189 |
| Tabla 83. Cronograma de ejecución de actividades..... | 189 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Diagrama Esfuerzo - Deformación | 22 |
| Figura 2. Esfuerzos principales en un elemento..... | 24 |
| Figura 3. Diagrama del Círculo de Mohr | 25 |
| Figura 4. El máximo esfuerzo cortante en una probeta sometida a tracción es igual a la mitad del esfuerzo principal máximo. | 28 |
| Figura 5. Elementos de círculos de Mohr para estados de esfuerzo plano..... | 28 |
| Figura 6. Esfuerzos octaédricos. Actúan en un plano que forma ángulos iguales con los planos principales..... | 30 |
| Figura 7. Energía de deformación U almacenada en un volumen unitario de cuerpo, debido a la aplicación de un esfuerzo normal | 33 |
| Figura 8. Estados de esfuerzo con un esfuerzo cortante y un solo esfuerzo normal..... | 35 |
| Figura 9. Modelo de French para el proceso de diseño..... | 40 |
| Figura 10. Esquema de clasificación de recipientes a presión..... | 41 |
| Figura 11. Tanque de almacenamiento horizontal con sus principales componentes señalados. | 42 |
| Figura 12. Tanque vertical de fondo plano. | 42 |
| Figura 13. Tanque de techo fijo auto soportado | 43 |
| Figura 14. Tanque con techo flotante..... | 44 |
| Figura 15. Tanque vertical sin techo | 44 |
| Figura 16. Discretización con elemento finito de una barra. | 49 |
| Figura 17. Discretización con elementos triangulares..... | 49 |
| Figura 18. Punzonado. | 51 |
| Figura 19. Corte plasma y oxicorte..... | 51 |
| Figura 20. Servicio de doblez..... | 52 |
| Figura 21. Servicios especiales de soldadura | 53 |
| Figura 22. Pre-tratamiento de pintado, limpieza química con fosfato..... | 54 |
| Figura 23. Servicio de pintura | 54 |
| Figura 24. Diagrama de flujo de procesamiento de datos..... | 71 |
| Figura 25. Proyección de espesor (mm) al 2019, de las planchas de acero del tanque.... | 73 |
| Figura 26. Modelamiento de tanque de almacenamiento. | 74 |
| Figura 27. Diagrama de espesores en el tanque..... | 74 |
| Figura 28. Zonificación..... | 76 |
| Figura 29. Boquillas con bridas para techo | 82 |
| Figura 30. Manhole del techo con placa de refuerzo. | 83 |
| Figura 31. Espectro de pseudo aceleraciones | 96 |
| Figura 32. Altura impulsiva y convectiva del tanque vertical | 108 |
| Figura 33. Comportamiento respecto al espectro modal | 131 |
| Figura 34. Comportamiento de la deformada de la combinación 3 respecto al espectro modal | 132 |
| Figura 35. Comportamiento de la deformada de la combinación 4 respecto al espectro modal | 133 |
| Figura 36. Comportamiento respecto a las cargas hidrostáticas..... | 135 |
| Figura 37. Comportamiento de la deformada de la combinación 3 respecto a la carga hidrostática | 136 |
| Figura 38. Comportamiento de la deformada de la combinación 4 respecto a la carga hidrostática | 137 |

| | |
|---|-----|
| Figura 39. Comportamiento de la combinación 4. | 138 |
| Figura 40. Comportamiento de la combinación 3. | 138 |
| Figura 41. Estructuración de la cobertura del techo | 139 |
| Figura 42. Vista en planta de la cobertura del techo..... | 140 |
| Figura 43. Verificación de deflexiones en la cobertura | 141 |
| Figura 44. Verificación de diagrama de momentos en la cobertura | 141 |
| Figura 45. Verificación de la deflexión en el canal C10x15.3..... | 142 |
| Figura 46. Verificación de diseño de la cobertura del techo. | 142 |
| Figura 47. Verificación de la relación de diseño para el canal C10x15.3. | 143 |
| Figura 48. Verificación de la relación de diseño para el ángulo L2x1/4..... | 143 |
| Figura 49. Comportamiento de la deformada de la combinación N°3 con la cobertura del techo. | 144 |
| Figura 50. Diagrama de flujo de desarrollo de actividades. | 145 |
| Figura 51. Plancha de acero ASTM A36 en taller..... | 146 |
| Figura 52. Tubería perteneciente al techo del tanque | 147 |
| Figura 53. Brida perteneciente al techo del tanque. | 148 |
| Figura 54. Traslado de planchas de acero ASTM A36 a taller..... | 149 |
| Figura 55. Corte y medición de planchas de acero ASTM A36 en taller. | 149 |
| Figura 56. Biselado de planchas de acero ASTM A36 en taller | 150 |
| Figura 57. Calza y plancha de acero ASTM A36 en taller. | 150 |
| Figura 58. Limpieza de planchas previas al soldeo | 151 |
| Figura 59. Soldadura vertical con ranura cuadrada. | 151 |
| Figura 60. Soldadura horizontal con ranura cuadrada. | 152 |
| Figura 61. Soldadura a traslape sin bisel | 152 |
| Figura 62. Proceso de soldadura GMAW | 153 |
| Figura 63. Inspección visual en taller | 155 |
| Figura 64. Inspección por tintes penetrantes en taller. | 156 |
| Figura 65. Limpieza previa de materiales..... | 157 |
| Figura 66. Limpieza de estructuras mediante chorro abrasivo..... | 159 |
| Figura 67. Aplicación de 4 mils de pintura e capa base..... | 163 |
| Figura 68. Aplicación de 7 mils de pintura en capa intermedia. | 165 |
| Figura 69. Preparación de pintura según proporción de mezcla indicada. | 165 |
| Figura 70. Aplicación de pintura a estructuras en taller. | 165 |
| Figura 71. Psicrómetro..... | 166 |
| Figura 72. Termómetro de superficie | 166 |
| Figura 73. Medidor digital de película seca. | 167 |
| Figura 74. Cronograma de ejecución de actividades..... | 175 |
| Figura 75. Diagrama de curva S de Avance programado vs Avance ejecutado..... | 177 |
| Figura 76. Comportamiento respecto a las cargas hidrostáticas..... | 182 |
| Figura 77. Comportamiento de la combinación 4. | 182 |
| Figura 78. Comportamiento de la combinación 3. | 183 |
| Figura 79. Verificación de la deflexión en el canal C10x15.3..... | 184 |
| Figura 80. Simulación de relaciones de diseño en la cobertura del techo..... | 184 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Matriz de consistencia..... | 206 |
| Anexo 2. Reporte preliminar CS. 19. 11. 099 de estado del tanque | 207 |
| Anexo 3. Calificación de soldadores. | 212 |
| Anexo 4. Certificado de homologación del pintor | 216 |
| Anexo 5. Certificado de calibración de instrumentos y/o equipos. | 217 |
| Anexo 6. Certificado de calidad de insumos para inspección, soldadura y pintura..... | 234 |
| Anexo 7. Especificaciones de materiales y pesos | 240 |
| Anexo 8. Tabla de esfuerzos permisibles para acero A36(API estándar 650). | 249 |
| Anexo 9. Tabla de módulo de secciones para anillo rigidizador superior (API estándar 650)..... | 250 |
| Anexo 10. Manhole del techo auto soportado (API estándar 650)..... | 251 |
| Anexo 11. Sección Sísmica (API estándar 650)..... | 252 |
| Anexo 12. Norma Técnica E.020, Cargas de diseño..... | 253 |
| Anexo 13. Norma Técnica E.030, Mapa sísmico..... | 254 |
| Anexo 14. Norma Técnica E.090, Combinaciones de Cargas..... | 255 |
| Anexo 15. Arreglo general | 256 |
| Anexo 16. Elevaciones y cortes | 257 |
| Anexo 17. Conexiones en techo auto soportado..... | 258 |
| Anexo 18. Vista de secciones en techo auto soportado | 259 |
| Anexo 19. Detalles de secciones en techo auto soportado | 260 |

RESUMEN

La refinera de Cajamarquilla hasta mediados del año 2019, no cumplía con la demanda nacional e internacional de zinc, debido al bajo índice de producción.

La empresa Nexa Resources contaba con un tanque vertical, indispensable para el almacenamiento de ácido sulfúrico, que se encontraba inoperativo por mantenimiento.

El propósito de la investigación fue diseñar y fabricar los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinera NEXA – Cajamarquilla. La investigación fue de tipo tecnológica de nivel aplicada, haciendo uso del diseño no experimental, descriptivo simple y empleando una metodología hipotético-deductivo.

Con el apoyo de una memoria de cálculo se obtuvieron los parámetros de diseño, la resistencia, rigidez y estabilidad del tanque vertical. Posteriormente, los resultados obtenidos se llegaron a simular y contrastar con el software de diseño mecánico SAP 2000. Cumpliendo así con los estándares que se exigen para este tipo de diseño, lo cual nos permitió pasar con plena confianza a la fabricación de los anillos y techo auto soportado. Para esta parte, se siguió una secuencia de 7 etapas estratégicamente seleccionadas que se realizaron de acuerdo a lo indicado en normas y códigos con aceptación de carácter internacional. De esta manera, se logró diseñar y fabricar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical.

ABSTRACT

The Cajamarquilla refinery until mid-2019, did not meet the national and international demand for zinc, due to the low production rate.

The company Nexa Resources had a vertical tank, indispensable for the storage of sulfuric acid, which was inoperative due to maintenance.

The purpose of the investigation was to design and manufacture the No° 4,5,6 rings and self-supporting roof of a vertical tank for the storage of 1870 m³ of sulfuric acid at THE NEXA – Cajamarquilla refinery. The research was of a basic type, of descriptive level, with a hypothetical-deductive methodology.

With the support of a calculation memory; the design parameters, the resistance, the rigidity and the stability of the vertical tank were obtained. The results were then simulated and contrasted with the SAP 2000 mechanical design software. Thus complying with the standards that are required for this type of design, which allowed us to move with full confidence to the manufacture of the rings and self-supported roof. For this part, a sequence of 7 strategically selected stages was followed that were carried out according to what is indicated in standards and codes with international acceptance. In this way, it was possible to design and manufacture the rings N°4,5,6 and self-supported roof of the vertical tank.

INTRODUCCIÓN

La empresa Nexa Resources S.A. cuenta con un tanque vertical, construido en 1978, de 1870 m³ para el almacenamiento de ácido sulfúrico el cual se encuentra en estado de deterioro externo e interno debido a desgaste por corrosión, ocasionando fuga de ácido por picaduras cercanas a los cordones de soldadura del tanque. Como parte del desarrollo y mejoramiento de sus procesos productivos, la empresa dispuso la habilitación de este tanque que se encuentra en la planta de ácido ubicado en la sección N°32 de la refinería de Cajamarquilla.

En base a inspecciones y pruebas preliminares de espesores afectados por la corrosión, se detectó que las partes más afectadas se encuentran en los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical. Nuestro diseño tiene la finalidad de fabricar los anillos N°4,5,6 y el techo auto soportado del tanque vertical, para incrementar la capacidad productiva de la empresa.

Es por este motivo que realizamos esta tesis para el diseño y fabricación de los componentes ya mencionados del tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico; obtener los parámetros de diseño, mostrar los procesos de fabricación e inspección y pruebas del mismo.

Adicionalmente, usamos un software de diseño para corroborar el valor de la resistencia, rigidez y estabilidad de los componentes ya mencionados.

La investigación que realizamos fue de tipo básica de nivel descriptivo, con una metodología hipotético-deductivo.

A continuación, mencionaremos los capítulos contenidos en el presente trabajo y lo que contienen cada uno de manera concisa.

En el capítulo I, se formulan las interrogantes sobre las cuales gira el presente trabajo, también se mencionan los objetivos y los limitantes que encontramos en el desarrollo de nuestra investigación.

En el capítulo II, se ponen en evidencia los antecedentes de nuestra investigación, se presentan las bases teóricas que están ligadas directamente al tema principal de nuestra investigación y además el marco teórico-conceptual en el que sustentamos los principios que utilizamos para resolver el problema de nuestra investigación.

En el capítulo III, se proponen la hipótesis general y las hipótesis específicas de nuestra investigación, además se identifican las variables, cada una con sus respectivas dimensiones e indicadores.

En el capítulo IV, se explica el diseño metodológico de nuestra investigación, el proceso de los cálculos, población, análisis de datos, los parámetros que han sido de guía para nuestra investigación.

En el capítulo V, se muestran los resultados obtenidos en nuestra investigación, los cuales corresponden al procedimiento que seguimos para el diseño.

En el capítulo VI, se discuten los resultados obtenidos y luego se contrastan con las hipótesis para declinarlas o aseverarlas, de igual modo los comparamos con los resultados de las otras investigaciones que escogimos como antecedentes para nuestro estudio.

En el capítulo VII, se presentan las conclusiones a las que llegamos después de desarrollar toda nuestra investigación.

En el capítulo VIII, se dan las recomendaciones pertinentes que podemos compartir habiendo ya desarrollado nuestra investigación.

En el capítulo IX, se colocan debidamente las referencias bibliográficas que han servido de ayuda para poder desarrollar de manera fehaciente nuestra investigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La refinera de Cajamarquilla es la única en producción de fundición de zinc refinado en el Perú y la séptima más grande del mundo por volumen de producción, según un estudio realizado por Wood Mackenzie (grupo global de consultoría e investigación en energía, productos químicos, energías renovables y minería) con datos de 2018.

El problema principal de la planta de ácido, ubicada en la sección 32 de la refinera de Cajamarquilla, es que tenía un bajo índice de producción y por lo cual no cubría la demanda nacional e internacional. Ante esta situación, la empresa Nexa Resources dispuso la habilitación del tanque vertical que se encontraba en stand by por mantenimiento.

El tanque se construyó en 1978, con un espesor inicial del anillo n°1 de 20mm, n°2 de 17mm, n°3 de 14mm, n°4 de 11mm, n°5 de 8mm, n°6 de 7mm y techo de 7mm. En base a inspecciones preliminares de los espesores afectados por la corrosión y pruebas y/o ensayos (inspección visual, medición de espesores por ultrasonido, partículas magnéticas, prueba de vacío y líquidos penetrantes), se pudo detectar que las partes más afectadas se encontraban entre los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical. Puesto que, estas arrojaron una disminución notable pero todavía aceptable (según normas) en la proyección al 2019 de los espesores, obteniendo así para el anillo n°1 un espesor de 16.85mm, el n°2 de 13.50mm, el n°3 de 9.96mm; por otro lado, no aceptable para los siguientes anillos debido a que se obtuvo para el anillo n° 4 un espesor de 5.23mm, el n°5 de 3.51mm, el n°6 de 4.27mm y el techo de 3.88mm.

El tanque vertical ocupa un espacio físico en la planta de ácido, para mejorar la capacidad productiva de la demanda actual es importante su habilitación, si el presente trabajo no se realiza se sometería a la eliminación total del mismo para dejar el espacio físico para la construcción de un tanque nuevo como consecuencia se tendría una mayor inversión.

Es por ello que se propuso diseñar y fabricar los anillos N°4,5,6 y el techo auto soportado del tanque vertical con el objetivo de almacenar 1870 m³ de ácido sulfúrico, de esta manera los índices de producción serán superiores a los ya existentes, se deberán realizar diferentes acciones correctivas a fin de mantener la integridad del tanque.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo diseñar y fabricar un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo determinar los parámetros de diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla?
- ¿Cómo diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla?
- ¿Cómo validar la resistencia, rigidez y estabilidad mediante el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla?
- ¿Cómo desarrollar el procedimiento de fabricación de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar y fabricar un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla.
- Diseñar los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla empleando la norma API 650.
- Validar la resistencia, rigidez y estabilidad de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla.
- Desarrollar el procedimiento de fabricación de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórico

No tuvimos limitantes del tipo teóricas, ya que, desde el principio, hemos contado con toda la información necesaria para poder comenzar con el presente trabajo, su desarrollo y culminación del mismo.

1.4.2 Temporal

En cuanto al manejo de los tiempos, entre la solicitud y recepción de toda la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo, no tuvimos limitantes del tipo temporal, puesto que para cuando se empezó la presente investigación, ya se disponía de todo lo necesario.

1.4.3 Espacial

Para el tema de los permisos de ingreso a ciertas áreas restringidas, zonas resguardadas y puntos de control en la refinería, no tuvimos limitaciones del tipo espacial; en ese momento laborábamos en el lugar, por ende, tuvimos libre acceso a todos los lugares donde necesitábamos ir para la recolección de todos los datos suficientes para el desarrollo del presente trabajo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A continuación, se presentan los siguientes trabajos, los cuales sirvieron de guía para el desarrollo de esta investigación:

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Gonza (2014), en su tesis titulada “Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs”, cuyo objetivo general fue calcular y diseñar un tanque de almacenamiento de 3000 bbls para derivados de petróleo mediante la norma API650, empleó una investigación de tipo tecnológica aplicada, llegando a las siguientes conclusiones:
 - Para el cálculo y diseño del tanque de almacenamiento de petróleo se utilizó la norma API 650, décima segunda edición de marzo del 2013, la cual orienta al diseñador en el proceso para cumplir con los métodos de fabricación, calificación y procedimiento de soldadura, montaje, inspección técnica, etc.
 - La velocidad del viento para su estudio se establece en 85 millas por hora (mhp) ya que el API 650 tiene una referencia mínima de 100 millas por hora (mhp), de igual manera dicho resultado se relaciona con la norma ecuatoriana de construcción (NEC), la cual manifiesta que para alturas de 10 metros la velocidad mínima del viento sea de 47 millas por hora (mhp), pero por razones del sitio donde se realiza el estudio no se puede alcanzar la velocidad mínima del API.
 - Para la construcción del tanque tanto para el fondo, cascaron y techo, se utilizaron juntas a tope, filete, doble filete y traslapada las cuales están caracterizadas por la norma API 650, cabe destacar que los

procesos de soldadura no son establecidos por la norma, estos serán especificados por el fabricante mediante la norma AWS, la cual gobierna dichos procesos y es aprobada por el cliente.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que utiliza la norma API estándar 650 y el reglamento nacional de construcción propio del lugar, para obtener los parámetros de diseño. En el caso de la presente investigación, se utilizó el reglamento nacional de edificaciones (RNE) que nos brindó el soporte para iniciar con el diseño en base a los lineamientos establecidos en la norma API estándar 650.

- Cabezas y Núñez (2011), en su tesis titulada “Diseño y simulación de un tanque de techo fijo para almacenar petróleo de 3000 BLS de capacidad en la plataforma del pozo sacha 192, ubicada en la provincia de Orellana”, cuyo objetivo principal fue diseñar un tanque fijo – cónico con capacidad de almacenamiento de 3000 barriles de petróleo, requerido para abastecer el incremento de producción del campo sacha 192, empleó la metodología de diseño tecnológico, llegando a las siguientes conclusiones:
 - Los procedimientos de fabricación descritos en el proyecto, proporcionan una herramienta útil y práctica, conservando las restricciones de la norma API 650. Así mismo, los procesos de soldadura: SMAW, GMAW, FCAW, SAW, PAW, descritos y avalados por la Norma API 650, se seleccionarán de acuerdo a factores técnicos, económicos y la disponibilidad del equipo, se presentarán las características, ventajas y desventajas de cada una de ellas.
 - Los procedimientos de limpieza y pintura, son llevados a cabo de acuerdo a la especificación SSPC, STEEL STRUCTURE PAINTING COUNCIL. Recubrir al tanque con un sistema de pintura adecuado es vital para alargar la vida útil de un tanque protegiendo la integridad de

sus componentes ante la corrosión.

- Con la ayuda de la simulación en el programa SAP 2000 se pudo constatar que el diseño del tanque es el correcto ya que se encuentra estable después de soportar tanto las cargas muertas, viva, hidrostática, sismo y viento, de esta forma se pudo comprobar que las deformaciones del tanque se encuentran dentro del rango requerido por la norma API 650 que no debe exceder de 1/2”.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que utiliza el programa SAP 2000 para constatar que el diseño del tanque es el correcto, puesto que se encontró estable después de soportar las cargas de diseño ingresadas. Así mismo, mencionan que el procedimiento de fabricación descrito por ellos conserva las restricciones de la norma API estándar 650 y SSPC.

2.2.2 Antecedentes nacionales

- Málaga (2014), en su tesis titulada “Evaluación del diseño estructural de un sistema tanque-plataforma de lixiviación de 3336 m³ de capacidad”, cuyo objetivo principal fue realizar una evaluación del diseño estructural del conjunto tanque plataforma, aplicando conceptos de ingeniería, según la normativa vigente y empleando para el cálculo el método de los elementos finitos (MEF), con la finalidad de garantizar un funcionamiento seguro, aplicó la metodología de diseño tecnológico, llegando a las siguientes conclusiones:
 - Se logró realizar una evaluación estructural del conjunto tanque-plataforma de lixiviación en base a los requerimientos de las normas API 650 y AISC 360, desarrollada aplicando el método de los elementos finitos (MEF).

- La norma API 650 es una herramienta confiable en el diseño de tanques de almacenamiento y modelado de sus cargas, siempre que se tomen en cuenta las recomendaciones de diseño planteadas. Sin embargo, para condiciones especiales como en el caso de la plataforma montada sobre el tanque, no brinda información suficiente. Por ello, cualquier modificación deberá ser respaldada por análisis más detallado, como en el presente trabajo.
- La carga sísmica modela por el método de elementos finitos (MEF) en base a las normas, API 650 y el reglamento nacional de edificaciones (RNE) E.030 logra una representación más detallada del método de la cortante basal, ya que modela de manera continua cargas planteadas como discretas en las normas con un bajo error de aproximación (3.93%).

Este trabajo se relaciona con la investigación, ya que realiza la simulación de la carga sísmica determinada en base a la norma API estándar 650 y el reglamento nacional de edificaciones (RNE) con el método de elementos finitos (MEF), logrando una representación más detallada. En el caso de la presente investigación, se utilizó el software SAP 2000 para simular el comportamiento del periodo espectral modal, determinado en la carga sísmica en base a la norma API estándar 650 y el RNE.

- Pejerrey (2017), en su tesis titulada “Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento atmosférico de 60,000 barriles para almacenaje de gasolina de 90 octanos en la selva”, cuyo objetivo principal fue realizar el diseño y cálculo estructural para la implementación de un tanque de almacenamiento de 60,000 barriles de capacidad que será montado en la refinería de la zona selva, aplicó la metodología de diseño tecnológico, llegando a las siguientes conclusiones:

- Si bien el standard API 650 indica varios métodos para calcular los espesores de la envolvente del tanque. el más usado es el método de un pie debido a la facilidad de cálculo y a la fiabilidad que este brinda al momento de realizar el cálculo, además que este método vincula directamente al material usado para la fabricación, al líquido almacenado, al proceso del cliente y el entorno de ubicación del tanque.
- Para casos de tolerancias en deformaciones de las planchas y perfiles que se usan para la conformación del tanque, el estándar API 650 tiene muchos vacíos que deja a criterio del fabricante y cliente, pero si estos quisieran basarse en estándares ya establecidos se debe recurrir a los estándares del ASTM, AWS y ASME según sea el caso.
- El proyecto ha sido elaborado usando exclusivamente el estándar API 650, 12th Edición, año 2013 el cual es usado siempre cuando se requiere un proyecto de este tipo, no obstante, las empresas clientes que requieren este tipo de unidades además de usar este estándar para basar los diseños tienen estándares propios los cuales son en su mayoría más limitativos y exigentes que el mismo API 650 en sí, para este caso, se ha diseñado un tanque usando solo el estándar API 650, 12th Edición, año 2013, sin comprometer los estándares de alguno de los clientes de la empresa, obteniéndose un tanque de almacenamiento bastante genérico pero aun así cumpliendo los parámetros para ser aceptado por la Osinerning.

Este trabajo se relaciona con la investigación, ya que utiliza el método de un pie descrito en la norma API estándar 650, para calcular los espesores del cuerpo del tanque vertical. En el caso de la presente investigación, se utilizó dicho método dando fiabilidad al cálculo, puesto que involucra al material usado en la fabricación y al líquido almacenado.

2.2 Bases Teóricas

El desarrollo de las teorías y los puntos que iremos tocando a continuación, tienen como principal fin llevarnos a obtener lo que buscamos con la investigación en el presente trabajo, el diseño y fabricación de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. Se irán citando y describiendo de manera puntual y acorde al orden del desarrollo del presente trabajo.

Las teorías que iremos mencionando a continuación están desarrolladas con respecto a los materiales dúctiles, ya que es con ellos, que hemos trabajado en esta investigación.

2.2.1 Esfuerzos simples en elementos

a. Curva de esfuerzo-deformación

Esta curva a la tracción de ingeniería la obtenemos por acción de una carga estática sobre una probeta estándar.

- En muchos de los materiales, esta curva tiene al inicio, una región elástica lineal. Donde vemos que la deformación es independiente del tiempo y reversible.
- A la pendiente de esta región la conocemos como Modulo de Young (E).
- Al punto donde la curva comienza a desviarse de la línea recta, lo conocemos como el limite elástico proporcional(LEP).
- Después que deja de actuar la carga; al punto sobre la curva más allá del cual está presente la deformación plástica, lo conocemos como el limite elástico. (Ma San, 2013).

- **Diagrama Esfuerzo – Deformación**

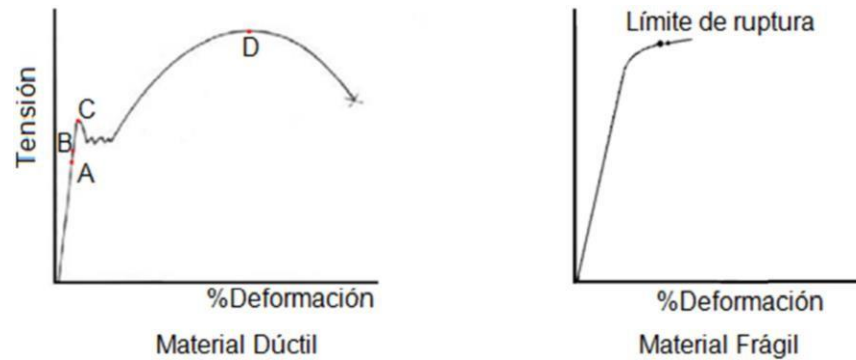


Figura 1. Diagrama Esfuerzo - Deformación.

Tomada de “Diseño de elementos de máquina I”, por Ma San,2013, p. 14.

Ma San (2013), nos dice que:

- El límite de proporcionalidad es hasta donde el material obedece a la ley de Hooke. Al módulo de elasticidad de un material, lo podemos determinar como:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} , \text{ es la pendiente de la curva. (1)}$$

- El límite elástico es la tensión máxima que puede aplicarse al material sin que ocurra una deformación (al retirar la tensión).
- El límite de fluencia (S_y), es el punto donde el material pasa de elástico a plástico.
- El límite de rotura o resistencia a la tracción (S_u), es la máxima tensión que alcanza el material en el diagrama Deformación – Tensión.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\lambda} \quad (2)$$

Donde:

ε = Alargamiento (deformación unitaria).

δ = Deformación.

λ = Longitud original del cuerpo.

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \text{ Ley de Hooke (3)}$$

Esta ley nos dice que, dentro de cierto límite, la tensión de un material es proporcional a la deformación que origina.

Donde:

E= Modulo de Young o de elasticidad ($\frac{Kg}{cm^2}$).

b. Esfuerzos normales máximo y mínimo

Los esfuerzos de tracción y compresión, lo denominaremos $S_n(\text{máx.})$ y $S_n(\text{mín.})$, se pueden determinar para el caso general de una carga bidimensional sobre una partícula, de la siguiente manera:

$$S_n(\text{máx.}) = \frac{S_x + S_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{S_x - S_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} \quad (4)$$

$$S_n(\text{mín.}) = \frac{S_x + S_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{S_x - S_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} \quad (5)$$

Donde:

S_x : Es el esfuerzo de tracción o compresión en el punto crítico perpendicular a la sección transversal considerada. Puede tener su origen en cargas axiales o de flexión (o en combinación). Cuando es tracción va con signo (+) y Cuando es compresión con signo (-).

S_y : Es el esfuerzo crítico en el mismo punto y en una dirección perpendicular al esfuerzo S_x .

T_{xy} : Es el esfuerzo cortante en el mismo punto crítico actuando en el plano normal al eje Y y en el plano normal al eje x. Este esfuerzo cortante puede tener su origen en un momento de torsión, en una carga transversal (o una combinación).

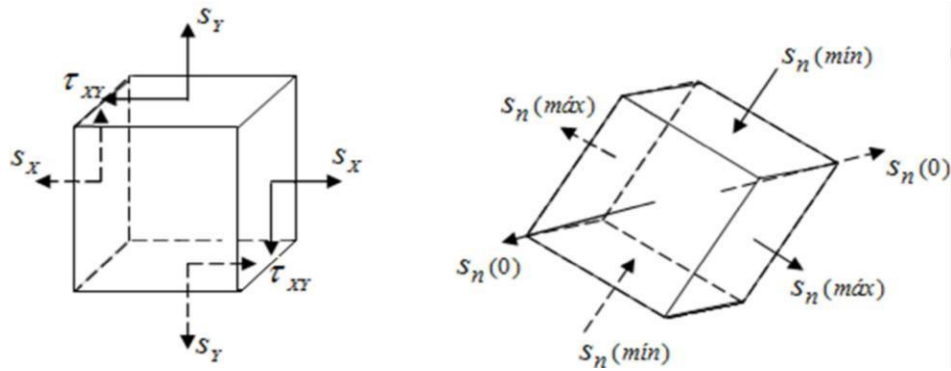


Figura 2. Esfuerzos principales en un elemento.

Tomada de "Diseño de elementos de máquina I", por Ma San, 2013, p. 16.

Así tenemos que a $S_n(\text{máx})$ y $S_n(\text{mín})$, los denominamos esfuerzos principales y los representamos sobre planos que forman 90° entre sí, a los cuales llamamos planos principales. Estos también a la vez, son planos de esfuerzo cortante. (Ma San, 2013).

- **Círculo de Mohr**

Ma San (2013) nos indica que, es un método gráfico que usamos para expresar relaciones obtenidas de los esfuerzos, el cual es muy eficaz para la visualización del estado de esfuerzos y tener en cuenta la dirección de un sistema de coordenadas.

- Los esfuerzos normales se representan en las abscisas y los cortantes en las ordenadas.
- Los esfuerzos principales vienen dados por:

$$S_n(\text{máx.}) = \frac{S_x + S_y}{2} + \frac{S_x - S_y}{2} * \cos 2\phi + T_{xy} * \sin 2\phi \quad (6)$$

$$S_n(\text{mín.}) = \frac{S_x + S_y}{2} - \left[\frac{S_x - S_y}{2} * \cos 2\phi + T_{xy} * \sin 2\phi \right] \quad (7)$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{S_x - S_y}{2} * \sin 2\phi + T_{xy} * \sin 2\phi \quad (8)$$

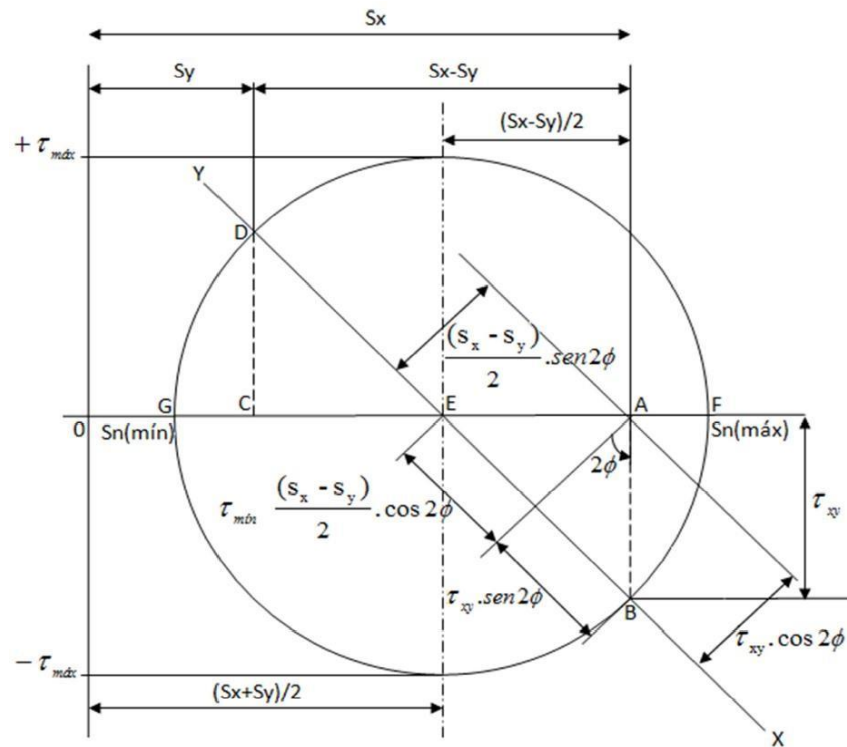


Figura 3. Diagrama del Círculo de Mohr.
Tomada de "Diseño de elementos de máquina I", por Ma San, 2013, p. 20.

- **Teorema de Castigliano**

Este teorema establece que cuando fuerzas actúan sobre sistemas elásticos, el desplazamiento correspondiente a cualquier fuerza, se puede encontrar obteniendo la derivada parcial de la energía de deformación respecto a esta fuerza. Para este caso, los términos: Fuerza y Desplazamiento, se tendrían que interpretar con amplitud, ya que se aplican de igual manera a momentos y a los desplazamientos angulares.

El teorema de Castigliano es una excelente herramienta para determinar deformaciones en estructuras complejas.

- Hemos visto que la energía de deformación es:

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} A$$

Si en esta ecuación, sustituimos $\sigma = \frac{F}{A}$, resulta que :

$$U = \frac{F^2 l}{2AE} \quad (9)$$

Si derivamos la ecuación (9), respecto a F, tenemos:

$$\frac{dU}{dF} = \frac{Fl}{AE} = \delta$$

Podemos observar que esta derivada es idéntica a la deformación.

- Además, sabemos que la energía de deformación de la torsión es:

$$U = \frac{T^2 l}{2GJ} \quad (10)$$

Si derivamos la ecuación (10), respecto a T, tenemos:

$$\frac{dU}{dT} = \frac{Tl}{GJ} = \theta$$

Podemos observar que es la ecuación de desplazamiento angular bajo una carga de torsión.

- La energía de deformación para una viga en voladizo, con una carga concentrada en un extremo, viene dado por:

$$U = \frac{F^2 l^3}{6EI} \quad (11)$$

La derivada respecto a F, de esta expresión nos da:

$$\frac{dU}{dF} = \frac{Fl^3}{3EI} = Y_{\text{máx}}$$

Que viene a ser la deformación de la viga.

Al teorema de Castigliano, lo podemos establecer matemáticamente como:

$$\delta n = \frac{\partial U}{\partial F_n} \quad (12)$$

Dónde: δn = Desplazamiento del punto de aplicación de F_n en la dirección F_n .

Se puede aplicar una fuerza imaginaria Q , si en caso no existiera en la realidad ninguna fuerza en este punto. Después de haber obtenido la expresión de δn , esta fuerza Q la igualamos a cero; la expresión que resulta es el desplazamiento en el punto de aplicación de la fuerza imaginaria Q y en la dirección en la que se imaginó que actuaba esta fuerza Q . (Ma San, 2013).

2.2.2 Teorías de falla estática

a. Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (TECM)

Vanegas (2018) nos dice que, esta teoría fue propuesta por primera vez por Coulomb, pero después por Tresca. Es por tal motivo, que muchas veces se nombra más a este último cuando se trata de esta teoría.

Esta teoría establece que la falla comúnmente ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo del cuerpo (T_{max}), excede el valor del esfuerzo cortante máximo en una probeta de ensayo sometida a fuerzas de tracción, cuando el esfuerzo normal máximo es igual a la resistencia S_y (o S_u). Como ecuación, esta teoría la podemos expresar como:

$$T_{max} \geq T_{maxp} \quad (13)$$

Donde el valor de T_{maxp} corresponde a la condición ($\sigma_{1p} = S_y$) y el subíndice "p" se refiere a la probeta sometida a tracción.

Recordar que el esfuerzo cortante máximo en una probeta sometida a tracción, es igual a la mitad del esfuerzo normal máximo (fig.4), siendo así, $T_{maxp} = \sigma_{1p}/2$; entonces, cuando $\sigma_{1p} = S_y$, $T_{maxp} = S_y/2$.

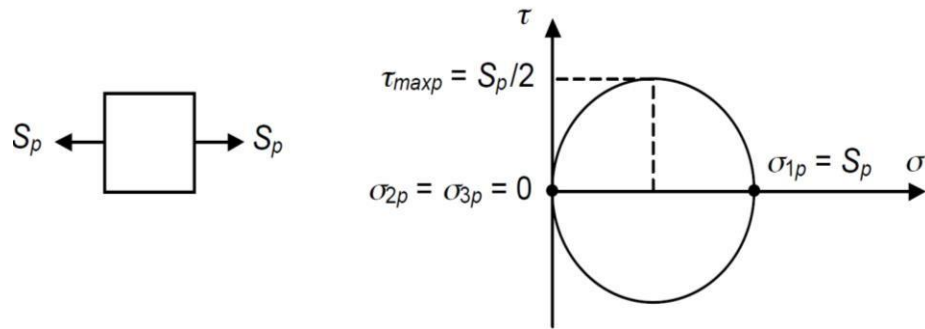


Figura 4. El máximo esfuerzo cortante en una probeta sometida a tracción es igual a la mitad del esfuerzo principal máximo.
Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas,2018, p. 155.

De acuerdo con lo visto, la ecuación 13 puede expresarse como:

$$T_{max} \geq S_y / 2 \quad (14)$$

Y como el valor de $T_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$, es así por lo siguiente:

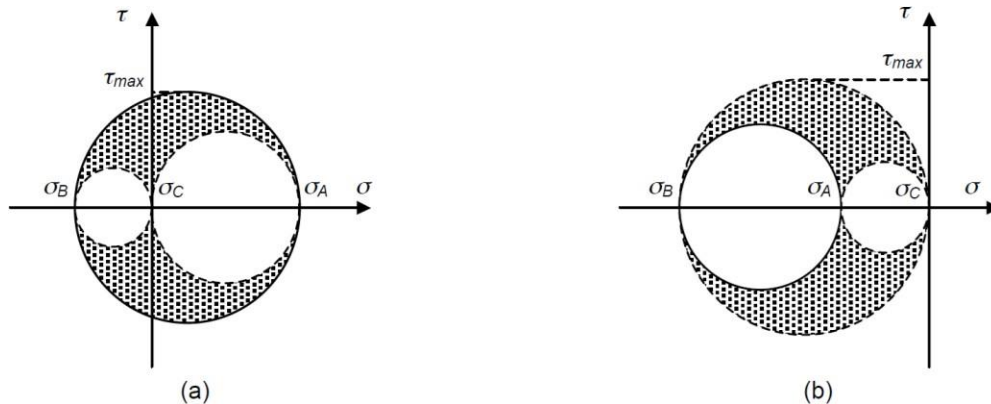


Figura 5. Elementos de círculos de Mohr para estados de esfuerzo plano.
Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas,2018, p. 128.

Para la figura 5(a), $\sigma_1 = \sigma_A$, $\sigma_2 = \sigma_C$ y $\sigma_3 = \sigma_B$, y para la figura 5(b) $\sigma_1 = \sigma_C$, $\sigma_2 = \sigma_A$ y $\sigma_3 = \sigma_B$.

De la figura 5, se puede obtener el máximo esfuerzo cortante en el punto, llamado esfuerzo cortante máximo, T_{max} . Se puede observar que T_{max} es igual al radio de la circunferencia más grande, la cual tiene un diámetro igual a $\sigma_1 - \sigma_3$, por lo tanto:

$$T_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (15)$$

Podemos decir entonces que:

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \quad (16)$$

Esta última expresión es la forma más usada de la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (TECM). Se puede aplicar para cualquier tipo de estado de esfuerzo cuando se trata con un material dúctil.

La idea de esfuerzo equivalente, σ_e , se puede aplicar en la ecuación 16. Ya que el término $\sigma_1 - \sigma_3$ se iguala a la resistencia de fluencia, se deduce que el esfuerzo equivalente de acuerdo con la TECM, se puede representar de la siguiente manera:

$$\sigma_e = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (17)$$

- **Ecuaciones de diseño para la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo**

La Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (TECM), se aplica en materiales dúctiles y se representa por las ecuaciones 16 y 17 (antes vistas). Las cuales son válidas para todo tipo de estado de esfuerzo.

Para temas de diseño, Vanegas (2018) dice que se necesita usar un factor de seguridad (N), con la finalidad de evitar fallas. Para introducir un factor de seguridad en las ecuaciones 16 y 17, se necesita reemplazar S_y por S_y/N y S_{ys} por S_{ys}/N , las veces que sean necesario. Habiendo dicho esto, de las ecuaciones 16 y 17, obtenemos que:

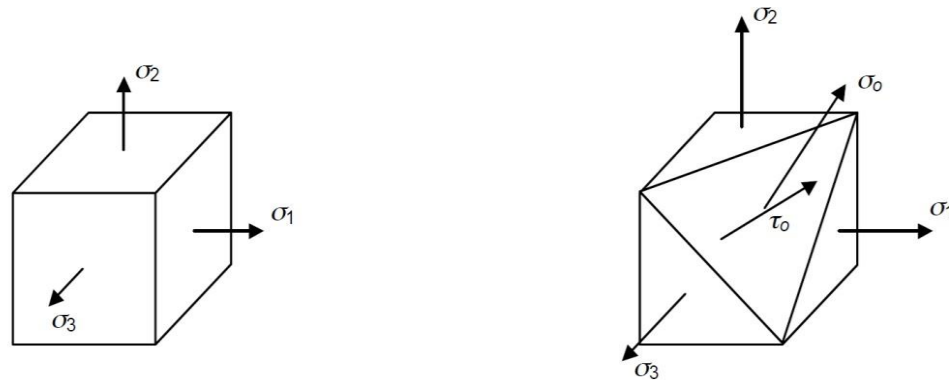
$$\sigma_e = \sigma_1 - \sigma_3 = S_y/N \quad (18)$$

b. Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico (TECO)

Esta teoría se utiliza en la práctica para diseñar con materiales dúctiles y concuerda de mejor manera con datos experimentales que la teoría del esfuerzo cortante máximo. Los resultados que se obtienen aquí, coinciden con la Teoría de la energía de distorsión, que veremos en el siguiente punto.

Se llama plano del octaedro, al plano que forma ángulos iguales con los tres planos principales, en donde actúan los esfuerzos principales. Así como se muestra en la

siguiente figura. En este plano actúa un esfuerzo normal octaédrico(σ_o) y a la vez también, un esfuerzo cortante octaédrico (T_o).



(a) Planos principales y esfuerzos principales (b) Plano octaédrico y esfuerzos octaédricos
Figura 6. Esfuerzos octaédricos. Actúan en un plano que forma ángulos iguales con los planos principales.

Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas,2018, p. 162.

Para determinar este esfuerzo en función de los esfuerzos principales, hay que aplicar ecuaciones de equilibrio, que son sumas de fuerzas. Así, podemos demostrar que:

$$T_o = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \quad (19)$$

Para casos de tracción simple, el estado de esfuerzo sería uniaxial y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, por lo tanto, de la ecuación 19 decimos que:

$$T_o = \frac{\sqrt{2}}{3} 1p \quad (20)$$

Encontrando que el subíndice “ p ”, hace referencia a una probeta sometida a fuerzas de tracción.

Con esto podemos enunciar la teoría. “La TECO establece que la falla suele ocurrir cuando el esfuerzo cortante octaédrico del cuerpo, T_o , excede el valor del esfuerzo cortante octaédrico en una probeta de ensayo sometida a tracción, cuando el esfuerzo normal máximo es igual a la resistencia, S_y ”. (Vanegas,2018, p. 162.). Podemos expresar esa teoría en una ecuación de la siguiente, manera:

$$T_o \geq T_{op} \quad (21)$$

Donde vemos que T_{op} corresponde a la condición $\sigma_1 p = S_y$.

Usando la ecuación 20, cuando $\sigma_1 p = S_y$, $T_{op} = (\frac{\sqrt{2}}{3})S_y$; así, de la ecuación 21 tenemos que :

$$T_o \geq \frac{\sqrt{2}}{3}S_y \quad (22)$$

O también si en caso reemplazamos la ecuación o, reemplazando la ecuación 19 en la 22 y todo lo reordenamos, obtenemos que:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \geq S_y \quad (23)$$

Esta es la expresión más usada de la Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico, la cual se puede aplicar a cualquier punto de un material dúctil, con cualquier tipo de estado de esfuerzo.

Se puede aplicar aquí el concepto de esfuerzo equivalente (σ_e). El término que se iguala a S_y , viene a ser el esfuerzo equivalente para la Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \quad (24)$$

A lo obtenido, se le conoce como esfuerzo equivalente de Von Mises. (Vanegas,2018)

- **Ecuaciones de diseño para la Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico**

Vanegas (2018) explica que, esta teoría se puede utilizar con materiales dúctiles y lo representamos en las ecuaciones 23 y 24. Siendo estas válidas, para cualquier estado de esfuerzo. Para poder diseñar elementos usando esta teoría, deberíamos introducir un factor de seguridad en las ecuaciones, así reemplazaríamos S_y por S_y/N y S_{ys} por S_{ys}/N , las veces que haga falta.

De este modo, tenemos que:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} = \frac{S_y}{N} \quad (25)$$

Si nos encontramos que el estado de esfuerzo es plano, podemos usar también:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 - \sigma_A \sigma_B} = \frac{S_y}{N} \quad (26)$$

c. Teoría de la energía de distorsión (teoría de von Mises-Hencky)

A la teoría de la energía de distorsión, también se le conoce más popularmente como la teoría de Von Mises-Hencky. Los resultados obtenidos de esta teoría, coinciden con los de la Teoría del Esfuerzo Cortante Octaédrico (TECO). En cuanto al diseño de materiales dúctiles, muchas veces los resultados de estas teorías son los más mencionados y usados, por lo mismo que concuerdan mejor con los datos experimentales.

Los esfuerzos cortantes dentro de la estructura de los materiales dúctiles, van de la mano de una distorsión en forma del elemento. Tener en cuenta que, los esfuerzos normales presentes en el elemento, lo alargan o acortan, mientras que los cortantes lo deforman angularmente, en otras palabras, lo distorsionan. Si queremos deformar una pieza, se debe de efectuar un trabajo, el mismo que se llega a almacenar en ella en forma de energía. Esta energía está relacionada a la magnitud del esfuerzo cortante presente, a causa de la distorsión. (Vanegas,2018)

- **Energía total de deformación**

La energía total de deformación (U), está representada por el área bajo la curva de esfuerzo-deformación, hasta el punto donde se le aplica el esfuerzo, así como se ve en la siguiente figura, para el caso de esfuerzo uniaxial.

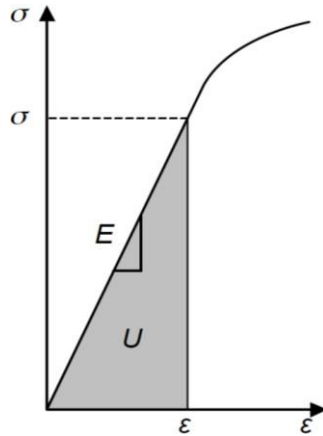


Figura 7. Energía de deformación U almacenada en un volumen unitario de cuerpo, debido a la aplicación de un esfuerzo normal.
Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas, 2018, p. 168.

Podemos observar que la curva esfuerzo-deformación, es prácticamente recta hasta el límite de fluencia. Esto pasa normalmente en el análisis de los materiales dúctiles. La energía (U), viene a ser el área del triángulo sombreado de la figura 7, en un volumen unitario, esto para el caso de esfuerzos uniaxiales. Así:

$$U = \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad (27)$$

Si usamos la ecuación 27, para tratar un caso en el que el esfuerzo es triaxial, la energía total por deformación se daría por la sumatoria de las energías correspondientes a cada esfuerzo principal:

$$U = \frac{1}{2} (\sigma_1 \epsilon_1 + \sigma_2 \epsilon_2 + \sigma_3 \epsilon_3) \quad (28)$$

Teniendo que σ_1 , σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales y ϵ_1 , ϵ_2 y ϵ_3 son las deformaciones principales. Usaremos las siguientes ecuaciones que vienen de la teoría de la elasticidad, para eliminar estas tres últimas variables. Las cuales, nos dicen que la deformación en una sola dirección, no depende solo del esfuerzo en esa dirección, sino que además de los esfuerzos en otras direcciones:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu\sigma_2 - \nu\sigma_3) \quad (29)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \nu\sigma_1 - \nu\sigma_3) \quad (30)$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E}(\sigma_3 - \nu\sigma_1 - \nu\sigma_2) \quad (31)$$

Teniendo que ν es la relación de Poisson y E es el módulo de elasticidad. Luego, si reemplazamos las ecuaciones 29,30 y 31, obtenemos:

$$U = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] \quad (32)$$

Un cuerpo, cuando se le somete a esfuerzos, pasa por un cambio de volumen y una distorsión. La energía expresada en la ecuación 32, se puede dividir en una energía producida por el cambio de volumen y otra producida por la distorsión. La teoría de Von Mises, tiene que ver con la segunda componente. Cuando la energía producto de la distorsión, alcanza cierto valor crítico, llega a ocurrir alguna falla. (Vanegas,2018).

- **Ecuaciones de diseño para la teoría de la energía de la distorsión o de Von Mises-Hencky**

La teoría de Von Mises es la más usada para los materiales dúctiles. Para el caso de las ecuaciones de diseño, a estas se introduce el factor de seguridad:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} = \frac{s_y}{N} \quad (33)$$

El esfuerzo equivalente aquí, es conocido como esfuerzo equivalente de Von Mises o también, esfuerzo de Von Mises.

En la situación en la que haya un estado de esfuerzo plano, podemos utilizar:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 - \sigma_A\sigma_B} = \frac{s_y}{N} \quad (34)$$

En el caso en que haya un estado de esfuerzo biaxial, en el que uno de sus esfuerzos normales es cero, como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 8. Estados de esfuerzo con un esfuerzo cortante y un solo esfuerzo normal.
Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas,2018, p. 165.

Podemos usar también:

$$\left(\frac{S}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{S_s}{S_{ys}}\right)^2 = \left(\frac{1}{N}\right)^2 \quad (35)$$

Donde, $S_{ys} = 0.577S_y$

Notar que:

$$S_{ys} = 0.577S_y$$

Tiene ese valor según la teoría de Von Mises-Hencky. (Vanegas,2018).

d. Consideraciones sobre las teorías de falla estática

- **Ecuación de diseño**

Analizando las ecuaciones antes vistas, podemos decir que, para cualquier teoría de falla, solo se necesita encontrar el esfuerzo equivalente e igualarlo al esfuerzo de diseño, obteniendo así una relación entre el factor de seguridad y la resistencia. En otras palabras, la ecuación de diseño para esfuerzos combinados estáticos la podemos presentar así:

$$\sigma_e = \frac{S_y}{N} \quad \text{o} \quad \sigma_e = \frac{S_t}{N} \quad (36)$$

Donde σ_e lo calculamos con la ecuación dada para cada teoría. (Vanegas,2018).

e. Resumen de las teorías de falla

Las teorías vistas en esta sección (TECM, TECO y Teoría de Von Mises), son las más adecuadas cuando se tratan con materiales dúctiles uniformes y las cuales, a su vez ha sido comprobadas por medio de ensayos experimentales, ya sea tanto con aceros como con aleaciones de aluminio. De estas teorías mencionadas, la que más se usa es la de Von Mises-Hencky porque produce resultados idénticos y cuando se trata de resultados experimentales, la llega a representar con mayor exactitud. (Vanegas,2018).

2.2.3 Método de diseño de esfuerzo admisible (ASD)

Los esfuerzos de diseño máximos admisibles de producto S_d son los mostrados en la Tabla 5-2 del código API estándar 650. El espesor neto de la lámina, el espesor real menos la tolerancia a la corrosión, deberá ser usado en los cálculos.

El esfuerzo de diseño máximo admisible de producto, S_d , deberá ser el menor entre los siguientes valores:

- Dos tercios de la resistencia a la fluencia ($2 \cdot S_y / 3$) del material.
- Dos quintos de la resistencia de tensión ($2 \cdot S_u / 5$) del material. (API estándar 650, 2013, sección 5.6.2).

Combinaciones de carga

Se consideran las combinaciones para el método de diseño ASD (Allowable Stress Design) especificado en el API estándar 650. Las mismas que se listan como sigue:

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| ➤ Fluido almacenado | $D_L + F$ |
| ➤ Para la prueba hidrostática | $D_L + H_t$ |
| ➤ Para cargas de viento | $D_L + W$ |
| ➤ Para cargas gravitacionales | $D_L + L_r$ |
| ➤ Para cargas con sismo | $D_L + F + E$ |

2.3 Conceptual

2.3.1 Diseño mecánico

a. Definición de diseño

Según Vanegas (2018), el diseño se encarga de la creación de algo (dispositivo, producto, elemento o sistema), el cual puede ser totalmente nuevo o ser parte de un componente modificado. Siguiendo esta idea, podemos hablar de tres tipos de diseño:

- Original, el que consiste en la fabricación de algo por algún medio de un principio original.
- Adaptativo, el que implica la aplicación de algún sistema que es conocido a una nueva área, pero manteniendo el mismo principio de solución.
- De variante, el que consiste en variar ciertos aspectos de algún sistema, pero manteniendo la misma función y el principio de solución.

Para Ma San (2013), el diseño de ingeniería, viene dado por la creación de planos necesarios para que las máquinas, estructuras, sistemas o procesos desarrollen las funciones deseadas o esperadas.

b. Importancia del diseño

El diseño mecánico como tal, ha tenido un papel protagónico muy importante en el avance de la tecnología. A través de este, podemos desarrollar adecuadamente, elementos, sistemas tales como, por ejemplo: sillas, máquinas-herramienta, electrodomésticos, puentes, edificios, autos, naves espaciales, etc. Gracias a los conocimientos en la ingeniería mecánica, podemos predecir con cierta exactitud los comportamientos de estructuras y máquinas, y que también podemos diseñar estas para que los comportamientos dichos, sean requeridos.

Se debe de planear adecuadamente el proceso de diseño, para así obtener resultados que sean satisfactorios, ya que se depende de muchos factores. Tenemos que tomar decisiones en cuanto a los materiales con los cuales

construiremos elementos, geometrías, dimensiones, tratamientos termoquímicos y superficiales, métodos de manufactura y costos, entre otros más.

En síntesis, podemos decir que no existe una solución única para llegar a satisfacer una necesidad, por lo que debemos de considerar diferentes aspectos y criterios, para así obtener una solución óptima y/o adecuada. El diseño de ingeniería es el área que tiene que ver con el proceso completo, inicialmente desde la identificación de la necesidad, hasta finalmente la construcción del dispositivo. (Vanegas,2018).

c. Proceso de diseño

Para Ma San (2013), el diseño puede pasar de ser tan simple a lo enormemente complejo, de lo fácil a lo difícil, matemático o no, etc. A su vez, puede también llegar a implicar solo un problema trivial o tanto como uno de gran importancia.

Adicionalmente a esto, propone la siguiente secuencia para el proceso de diseño:

- 1) Hay que definir el problema que nace de una necesidad, casi siempre.
- 2) El esquema o la forma en que vamos a resolver la necesidad y escoger uno para que se analice. Llámese también, estudio de factibilidad.
- 3) Debemos diseñar de forma preliminar ya sea la máquina, estructura, sistema o proceso que hayamos seleccionado, con esto permitimos que se establezcan las características globales y las específicas de cada componente.
- 4) Se tiene que realizar el análisis de todos los componentes o partes y a su vez, preparar los dibujos necesarios con sus respectivas especificaciones.

Por otro lado, Vanegas (2018) nos dice que hay muchos modelos que han sido propuestos para representar un proceso de diseño. Pero, este es complejo muchas veces y no se podría ceñir a un esquema rígido. El diseño comienza con un problema o necesidad, también con sus objetivos, criterios y limitaciones. Lo podemos proseguir con cuatro etapas:

1) Exploración de alternativas

En esta etapa, exploramos el problema, lo definimos mejor y buscamos soluciones tentativas. Tanto esta, como la siguiente etapa, suelen estar acompañadas de bocetos, y esto es crucial, ya que la dirección del diseño se verá afectada por esta búsqueda preliminar.

2) Generación de ideas

En esta etapa, se requiere de un gran esfuerzo. Depende mucho en parte, de la capacidad del diseñador para desarrollar algo nuevo, combinar ideas y modificar dispositivos ya existentes. Además, de las herramientas disponibles, el adecuado uso de información y metodologías que permitan al diseñador elaborar un buen diseño. Como producto de esta etapa, se obtiene un conjunto de propuestas.

3) Evaluación de alternativas

Las propuestas obtenidas se tienen que comprobar, para que así encontremos posibles problemas y para que se asegure que el comportamiento del nuevo diseño será adecuado. Esta etapa, tiene como objetivo final la selección del diseño más óptimo o al menos, el que sea más satisfactorio de acuerdo a los requerimientos que tengamos.

4) Desarrollo y comunicación del diseño

El resultado de todo el proceso, es la creación de una descripción completa del diseño. Esta debe ser entendible también, para las personas que estarán involucradas en la construcción del nuevo dispositivo. Algunas de las formas de comunicación pueden ser planos, prototipos físicos o virtuales, lista de componentes, especificaciones para el proceso de fabricación, códigos de control, etc. Ya después de esto, lo que sigue son otras etapas tales como la manufactura, empaque, transporte, venta y servicios de post venta.

En la siguiente figura, mostramos un modelo del proceso de diseño ya más detallado. Este modelo, se muestra en forma de diagrama de flujo, donde los círculos representan etapas alcanzadas (salidas) y los rectángulos, representan las actividades. Vanegas (2018).

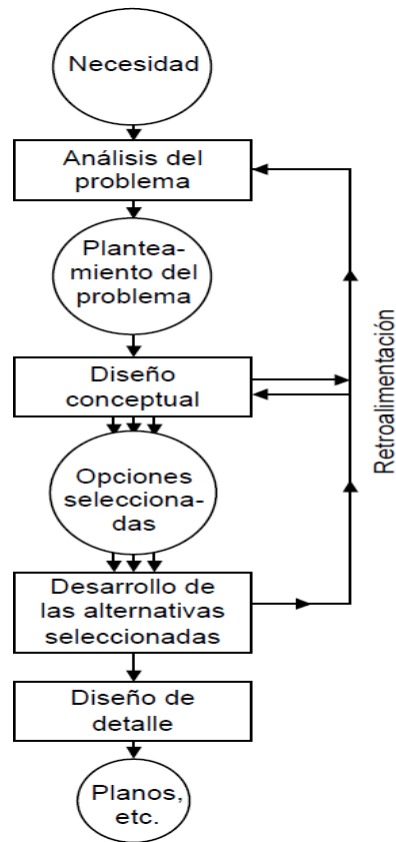


Figura 9. Modelo de French para el proceso de diseño.

Tomada de “Diseño de elementos de máquinas”, por Vanegas,2018, p. 22.

2.3.2 Tanque

Una definición sencilla y práctica para tanque, es la siguiente. Se le llama tanque al recipiente que se ha diseñado para poder soportar una presión interna manométrica, que no es superior a 98 kPa. (León, 2001).

a. Tipos de recipientes

La diversidad de recipientes a presión que hay, se clasifican de la siguiente manera:

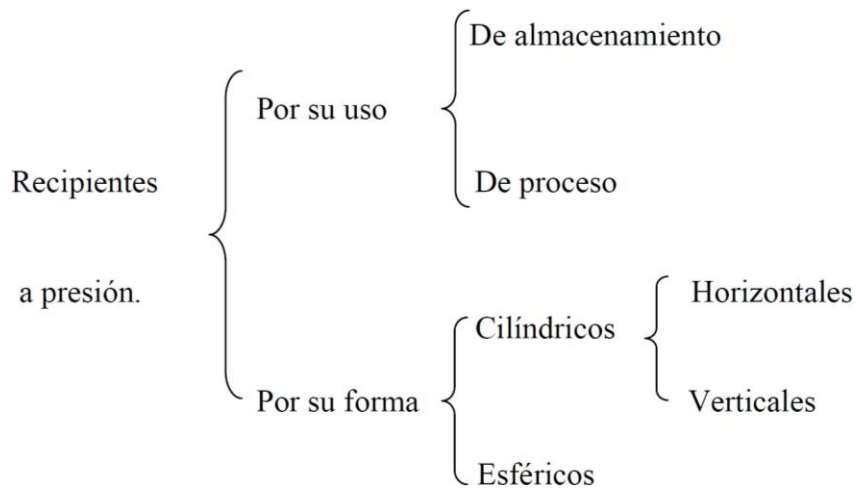


Figura 10. Esquema de clasificación de recipientes a presión.
Tomada de “Diseño y cálculo de recipientes sujetos a presión”, por León,2001, p. 3.

Al respecto León (2001, p. 4) indica que, “por su uso los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y de proceso. Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc”.

b. Tanques de almacenamiento

A los tanques de almacenamiento se les usa como depósito para contener reservas de productos, para que se usen posteriormente y/o se comercialicen. Los podemos clasificar en:

- **Cilíndricos horizontales**

Son de volúmenes relativamente bajos porque comúnmente llegan a presentar problemas por fallas de flexión y corte. Se usan casi siempre para almacenar volúmenes pequeños.

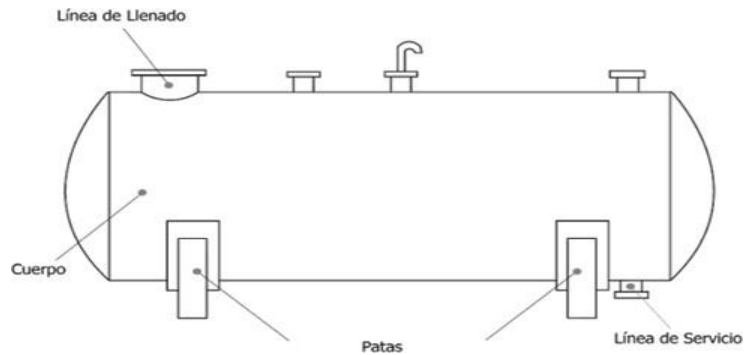


Figura 11. Tanque de almacenamiento horizontal con sus principales componentes señalados. Tomado de Abarca y Villegas, 2021. Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/download/45435/47559?inline=1>

- **Cilíndricos verticales de fondo plano**

Estos sí nos permiten almacenar cantidades volumétricas mayores a un bajo costo. Con la limitante de que solo los podemos usar a presión atmosférica o presiones relativamente pequeñas. Los podemos clasificar en:

- De techo fijo.
- De techo flotante.
- Sin techo. (León, 2003).



Figura 12. Tanque vertical de fondo plano. Tomado de Abarca y Villegas, 2021. Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/download/45435/47559?inline=1>

Según la norma API estándar 650, se clasifican los tanques de acuerdo al tipo de techo que tienen, lo cual nos proporcionará el servicio recomendable para los mismos:

- **Techo fijo**

Se utilizan para almacenar productos que no sean volátiles o no inflamables, como lo son: el agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Puesto que, al disminuir la columna del fluido, se genera una cámara de aire la cual facilita la evaporación del fluido, lo que a su vez es altamente peligroso.

Los techos fijos de los tanques los clasificamos en:

- Techos auto soportados
- Techos soportados

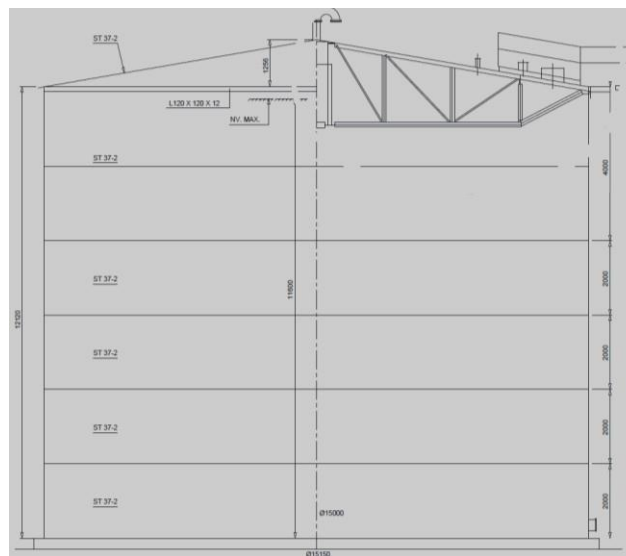


Figura 13. Tanque de techo fijo auto soportado.

- **Techo flotante**

Se utilizan para contener productos con alto contenido de volatilidad como lo son: el alcohol, gasolinas y combustibles en general.

Este tipo de techo fue diseñado para disminuir o anular la cámara de aire, o espacio libre entre el espejo del líquido y el techo, además de proporcionar un medio aislante para la superficie del líquido, disminuir la velocidad de transferencia de calor al producto almacenado en los periodos en los que la temperatura ambiental es alta, evitando así la formación de gases (su evaporación), y consecuentemente, la contaminación del ambiente. Al mismo tiempo se reducen los riesgos al almacenar productos inflamables.



Figura 14. Tanque con techo flotante.

Tomada de Calabro, Godoy y Jaca, 2016. Recuperado

de: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/4995/4927#:~:text=Los%20tanques%20cerrados%20en%20su,que%20se%20apoyan%20en%20columnas.>

- **Los tanques sin techo**

Se utilizan para contener productos cuyo índice de contaminación es mínimo o prácticamente despreciable, como es el caso de: aguas crudas, residuales, contra incendios, etc. Para el diseño de estos tanques, se requiere un cálculo especial del anillo de coronamiento. (León, 2003).



Figura 15. Tanque vertical sin techo.

Tomada de Permastore Limited, 2013. Recuperado de: <https://zdocs.tips/doc/industrial-es-e12192vxvvpv>

2.3.3 Componentes del tanque

A manera de presentar de forma muy genérica algunos componentes del tanque en esta sección, solo con el fin citar los materiales de los que está compuesto, procedemos a listar lo siguiente:

- Tipo de tanque: Cilíndrico, fondo plano, techo cónico auto soportado.
- Cantidad de anillos: 6, 3 existentes y 3 nuevos que se fabricarán.
- Material: Acero A36 (anillos N° 4 al N° 6) – anillos nuevos.
 - : Acero A36 (planchas, vigas, etc.) – techo.
 - : Acero ST 37-2 (anillos N° 2 al N° 3) – anillos existentes.
 - : Acero ST 42-2 (anillo N° 1) – anillo existente.

A continuación, describiremos de forma general y breve, los aceros de los que están hechos los componentes del tanque:

- **Acero A 36**

Este es uno de los aceros considerados estructurales, que más se utilizan en el mercado, se le considera un acero suave y de buena soldabilidad. Tiene una resistencia a la tracción de 40 – 55 Kgf / mm². (Aza, 2000).

- **Acero ST 37-2**

Se le considera un acero estructural que no es aleado. Su utilización es generablemente en la ingeniería mecánica. Tiene una resistencia a la tracción mínima de 37 Kgf / mm². El dígito 2 al lado, significa que el máximo porcentaje de Carbono es 0.18%. (Aza, 2000).

- **Acero ST 42-2**

Es un acero estructural también, que no es aleado. Se utiliza para la ingeniería mecánica. Tiene una resistencia a la tracción mínima de 42 - 50 Kgf / mm². El dígito 2 al lado, significa que el máximo porcentaje de Carbono es 0.25%. (Aza, 2000).

2.3.4 Consideraciones del análisis y diseño estructural

a. Cargas de diseño

1) Cargas muertas (D_L)

Corresponden al peso propio de las estructuras, así como todos los elementos adicionales que vayan a permanecer durante toda la vida útil del tanque.

2) Líquido almacenado (F)

Corresponde a la carga producida de llenar el tanque hasta el nivel de diseño del líquido, utilizando la gravedad específica del material a temperatura de operación.

3) Prueba hidrostática (H_T)

Corresponde a la carga producida de llenar el tanque hasta el nivel de diseño de agua.

4) Carga del viento (W)

Las presiones o succiones se supondrán como una carga estática equivalente repartida en un área que corresponde a la proyección vertical de la superficie cilíndrica del tanque y se calcularán de acuerdo al API estándar 650.

5) Carga viva mínima sobre el techo (L_r)

Carga aplicada sobre una proyección horizontal del techo.

6) Carga de sismo (E)

- **Factor de importancia**

Se determina según EC. 3 de API estándar 650.

- **Factor de reducción**

API estándar 650 recomienda utilizar un factor 3.5 para el periodo impulsivo y para tanques sin anclaje mecánico.

- **Construcción del espectro de diseño**

Se construye siguiendo los lineamientos descritos en el anexo E del API estándar 650. El espectro es calculado como está establecido para lugares fuera de norte américa, para la máxima aceleración pico.

b. Análisis dinámico

Se realiza el análisis dinámico modal espectral utilizando el espectro inelástico de pseudo aceleraciones construido según API estándar 650.

1) Período estructural de vibración

El método de análisis modal pseudo dinámico se basa en el período natural de la estructura y los contenidos tal como se definen en la presente sección.

2) Período fundamental de vibración impulsivo

Los métodos de diseño son independientes del período impulsivo del tanque. Sin embargo, el período impulsivo del sistema de tanque puede ser estimado.

3) Período fundamental de vibración convectivo

El primer período de onda en modo, en segundos, se calculará mediante la Ecuación E.4.5.2(de esa sección) donde K_s es el coeficiente de periodo. (API estándar 650, 2013, sección E.4.5)

4) Aceleraciones de respuesta espectral de diseño

El espectro de respuesta de diseño para tanques de fondo plano soportados por tierra se define mediante los siguientes parámetros:

- Los coeficientes de las aceleraciones impulsiva (A_i) y convectiva (A_c), nos sirven para calcular el cortante dinámico en la base y los esfuerzos dinámicos producidos en el casco del tanque (API estándar 650, 2013, sección E.4.6)

5) Aceleraciones y cortante basal

Los coeficientes de las aceleraciones impulsiva (A_i) y convectiva (A_c), nos sirven para calcular el cortante dinámico en la base y los esfuerzos dinámicos producidos en el casco del tanque.

2.3.5 Método de los elementos finitos(MEF)

Sabemos que este es un método numérico (muy complejo), se apoya de las matemáticas en el uso de ecuaciones diferenciales parciales y de físicas e

ingeniería. Está pensado para resolverse con algún software mediante el uso de calculadoras, graficadoras, computadoras, ya que son operaciones bastante complejas y son de gran ayuda puesto que pueden simular sistemas físicos, biológicos entre otros.

El FEM es un método numérico utilizado para la resolución de sistemas de ecuaciones en derivadas parciales, la resolución aproximada de problemas continuos, estableciendo las ecuaciones de contorno, condiciones iniciales, y basada en la discretización del dominio del problema en subdominios llamados "elementos". Estos elementos están interconectados por una serie de puntos denominados nodos.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo, también lo hacen al elemento. Así es como pasa de un sistema continuo (Infinitos grados de libertad), hacia un sistema con un número de grados de libertad finito, cuyo comportamiento se puede modelar por un sistema de ecuaciones, ya sean lineales o no.

La resolución de un problema diferencial (sobre un dominio) mediante el método de elemento finito, se puede dividir en las siguientes etapas:

- 1) Establecimiento de la formulación más simple del problema.
- 2) La búsqueda de una solución aproximada mediante la discretización del dominio en un número finito de elementos, en los que se establece la aproximación de la función incógnita. (Ferrari y Díaz, 2018).

a. Principios del método del elemento finito

Habiéndose dicho que, el análisis por elemento finito resuelve estructuras continuas, la idea general es la división del continuo en pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos, así se pasa de un sistema con infinitos grados de libertad, hacia un sistema con finitos grados de libertad cuyo comportamiento es modelado por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

Considerar la figura 16(a). El primer paso es dividir la barra como si fuera una flecha de sección variable, consistente en un número discreto de elementos, cada uno con sección transversal uniforme. Para ser específicos, se modela la barra utilizando

cuatro elementos finitos como se muestra en la figura 16(b); dentro de cada región se evalúa el área transversal promedio y luego se la usamos para definir un elemento que tiene sección transversal uniforme. (Ferrari y Díaz, 2018).

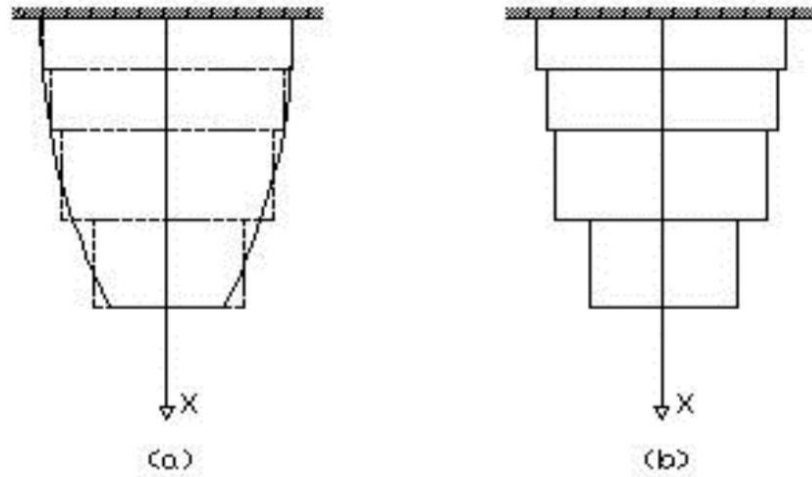


Figura 16. Discretización con elemento finito de una barra.
Tomada de “Método del elemento finito y AutoFEM®”, por Ferrari y Díaz, 2018, p. 6.

Como podemos ver en la siguiente figura, regiones de la pieza original quedan fuera y regiones inexistentes quedan dentro de la nueva pieza, por lo cual es fácil deducir que la calidad de nuestra división, nos dará un resultado más exacto. Por ejemplo, si dividimos la pieza en elementos triangulares como se muestra en la figura 17, los elementos llenan casi toda la región, excepto una pequeña región en la frontera; entre más pequeños sean los elementos menores será dicha región. (Ferrari y Díaz, 2018).

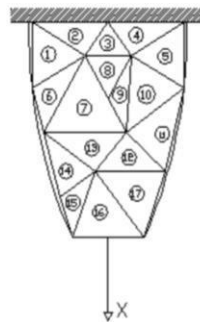


Figura 17. Discretización con elementos triangulares.
Tomada de “Método del elemento finito y AutoFEM®”, por Ferrari y Díaz, 2018, p. 7.

Existe una variedad de tipos de elementos para poder realizar la discretización, tanto para elementos en dos dimensiones como para piezas tridimensionales; como, por ejemplo: triángulo, polígonos o resortes para el caso de bidimensionales, y cubos, tetraedros, o hexaedro para tridimensionales. Siempre se debe escoger el elemento según la precisión que se desea en el análisis, sin embargo, aun cuando el análisis de cada elemento es muy sencillo, una gran cantidad de elementos llega a ser extremadamente tardado, por lo tanto, costoso. (Ferrari y Díaz, 2018).

2.3.6 Fabricación

La fabricación consiste en un conjunto de actividades que se llevan a cabo en un determinado tiempo, cuya finalidad es la obtención de un producto, esta se lleva a cabo mediante guiándose de planos del producto, antes ya elaborados. A continuación, indicaremos los procedimientos necesarios para realizar la fabricación del tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico.

a. Procesos de fabricación

Aldaz (2014) explica que, para poder realizar una correcta fabricación del tanque de almacenamiento, es necesario conocer el orden del proceso de actividades de cada parte del tanque. Resumimos los procesos utilizados en la fabricación del tanque de almacenamiento y los presentamos ordenadamente de la siguiente manera:

1) Proceso de trazado

Tiene como principal finalidad marcar puntos de centros, círculos, arcos o líneas rectas para indicar las zonas que se van a mecanizar en el material seleccionado. Puesto que se necesita primero tener alguna figura trazada y/o punzonada en el material para después realizar las operaciones de construcción tales como cortes, perforaciones, soldadura, dobléz, etc.

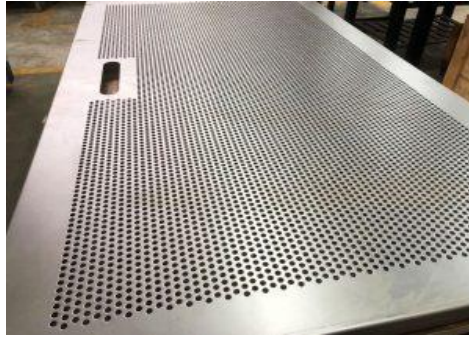


Figura 18. Punzonado.

Tomada de Metal 5000 CNC, 2019. Recuperado de:
<https://peruindustria.com/servicios/punzonado/>

2) Proceso de corte

Se le considera como una operación mecánica, donde se separa de una chapa, plancha, placa, lámina metálica una pieza o sección de forma determinada. Entre los procesos de corte más conocidos tenemos:

- Corte por plasma.
- Corte por oxicorte.
- Corte por troquelado.

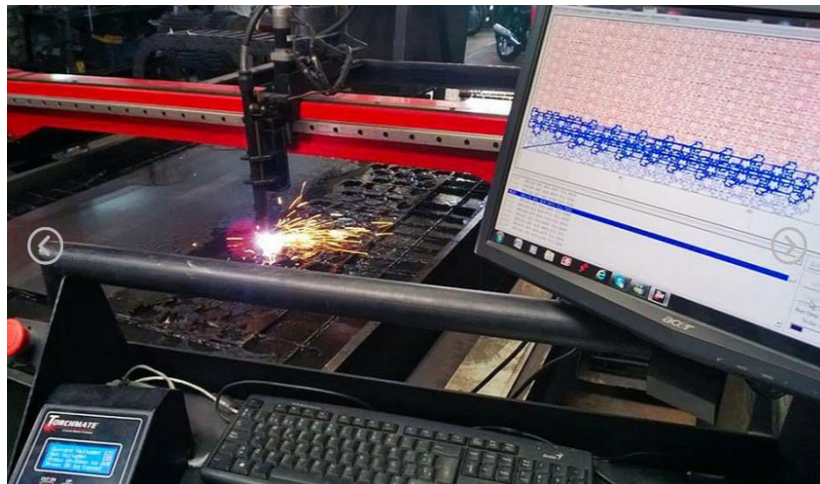


Figura 19. Corte plasma y oxicorte.

Tomada de Industrias Metálicas Rodríguez Rubiano Hnos., 2020. Recuperado de:
<http://www.metalmecanicanc.com/servicios/corte-plasma-oxicorte/>

3) Procesos conformados por deformación plástica

Estos procesos son en los que se someten a los materiales a fuerzas que superen la zona de elasticidad por encima del punto de fluencia, pero sin llegar a superar el punto de rotura, de manera que el material pueda quedar deformado de la manera en que uno quiera permanentemente.

Los más conocidos son:

- Doblado.
- Rolado.



Figura 20. Servicio de doblado.

Tomada de Metal 5000 CNC, 2019. Recuperado de:

<https://peruindustria.com/servicios/doblez/>

4) Proceso de soldadura

Estos tipos de procesos son esenciales en la fabricación de las partes del tanque de almacenamiento. Por lo cual, nombraremos los más utilizados en estos procesos de fabricación:

- Proceso SMAW: El cual se realiza mediante la formación de un arco eléctrico entre el electrodo y el material base.
- Proceso GMAW: El cual se realiza por arco bajo protección de gas activo y con alimentación continua de alambre sólido.



Figura 21. Servicios especiales de soldadura.
Tomada de Soldexa, 2021. Recuperado de:

<https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/serviciospremium/servicios-especiales-soldadura.cfm>

5) Proceso de preparación de superficie

Este proceso es muy necesario antes de que se lleve a cabo el proceso de pintado, ya que, si no se realiza adecuadamente, se puede generar corrosión aun cuando la pintura esté ya aplicada en todo el tanque. Los métodos para llevar a cabo un buen proceso de preparación de superficie son:

- Limpieza con el solvente.
- Limpieza manual.
- Limpieza mecánica.
- Limpieza con flama.
- Limpieza con chorro abrasivo.
- Limpieza química.
- Limpieza por agentes atmosféricos.



Figura 22. Pre-tratamiento de pintado, limpieza química con fosfato.
Tomada de Metal 5000 CNC, 2019. Recuperado de:

<https://peruindustria.com/servicios/pintura/>

6) Proceso de pintura

Estos procesos son utilizados para prevenir el desgaste de los materiales que se van a pintar y así poder evitar pérdidas de dinero en posteriores reparaciones. Este proceso generalmente es el último de todos los procesos en cualquier producción porque se necesita que la estructura trabajada esté ensamblada completamente para realizar el último repase de este proceso.



Figura 23. Servicio de pintura.

Tomada de Metal 5000 CNC, 2019. Recuperado de:

<https://peruindustria.com/servicios/pintura/>

2.3.7 Normas y estándares aplicables

Según León (2003):

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, incluyendo el nuestro, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, se basa en la publicación que realiza el "Instituto Americano del Petróleo", al que esta institución designa como "API ESTÁNDAR 650", para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y "ESTÁNDAR API 620", para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a 1 Kg / cm² (14lb / pulg²). El API estándar 650 sólo cubre aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y están contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado por una cama de arena, grava, concreto, asfalto, etc., diseñados para soportar una presión de operación atmosférica o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura de operación no mayor de 93 °C (200 °F), y que no se usen para servicios de refrigeración.

Este estándar cubre el diseño y cálculo de los elementos los constitutivos del tanque. En lista de los materiales de fabricación, se sugieren secuencias en la erección del tanque, recomendación de procedimientos de soldaduras, pruebas e inspecciones, así como lineamientos para su operación. (p. 8).

a. API Standard 650

Este estándar cubre requerimientos para materiales, diseño, fabricación, montaje y pruebas de tanques soldados verticales cilíndricos, no enterrados con extremo superior abierto o cerrado en varios tamaños y capacidades para presiones internas aproximadas a la atmosférica (no deben exceder el peso de las láminas del techo), pero se permiten presiones internas más altas cuando se cumplen requerimientos adicionales. Este estándar aplica para tanques en los cuales la totalidad del fondo del tanque está soportado uniformemente y para tanques en servicio no refrigerado que tienen una temperatura máxima de diseño de 90 °C (200 °F) o menos.

Está diseñado para construir tanques con seguridad adecuada y costos razonables para almacenamiento de petróleo y sus derivados y otros productos líquidos comúnmente usados y almacenados por la industria petrolera. El código no establece tamaños específicos de tanques y por el contrario se puede escoger cualquier tamaño que sea necesario. Su intención es ayudar a los clientes y a los fabricantes a comprar, fabricar y montar los tanques y no pretende prohibir la compra o fabricación de tanques que cumplan con otras especificaciones. (API estándar 650, 2013, sección 1.1.1).

Las reglas del código no son aplicables más allá de los siguientes límites en las tuberías conectadas interna o externamente al techo, cuerpo o fondo del tanque:

- La cara de la primera brida en conexiones bridadas, excepto cuando se suministren tapas o bridas ciegas.
- La primera superficie de sello en accesorios o instrumentos.
- La primera junta roscada en conexiones roscadas.
- La primera junta circunferencial en conexiones soldadas, si no están soldadas a una brida. (API estándar 650, 2013, sección 1.2)

El Fabricante es el responsable del cumplimiento de todos los requerimientos del código. Las inspecciones por el Inspector del Comprador, no le quitan al fabricante la obligación de suministrar el control de calidad y la inspección necesarias para garantizar tal cumplimiento. El Fabricante también deberá comunicar los requerimientos especificados a los subcontratista o suministradores relevantes que estén trabajando por solicitud del Fabricante. (API estándar 650,2013, sección 1.3.1)

Para el tema de los espesores de diseño, utilizamos los siguientes puntos de la sección 5:

- **Espesor de la plancha de la base, según API estándar 650**
Todas las láminas del fondo deberán tener un espesor nominal mínimo de 6mm (¼ in) sin incluir ninguna tolerancia de corrosión especificada. A menos

que se acuerde otra cosa con el Comprador, todas las láminas rectangulares y del borde del fondo (“sketch plates”, aquellas láminas del fondo en las cuales descansa el cuerpo y que tienen un extremo rectangular) deben tener un ancho mínimo de 1800 mm (72 in o 6 ft). (API estándar 650, 2013, sección 5.4.1)

- **Cálculo del espesor de la plancha del cuerpo, según API estándar 650**
Según el API estándar 650(2013), el cálculo del espesor por el método de un 1 pie, calcula el espesor requerido en puntos de diseño localizados 0.3 m (1 ft) por encima del borde inferior de cada anillo del cuerpo. El apéndice A solo permite este método de diseño. Este método no se debe usar para calcular tanques de diámetros mayores de 60 m (200 ft) de diámetro. El mínimo espesor requerido de cada anillo del cuerpo deberá ser el mayor valor entre los calculados por las siguientes fórmulas:

- **Para condición de diseño** (unidades U.S):

$$t_d = \frac{4.9D(H-0.3)G}{S_d} + CA \quad (37)$$

Donde:

t_d = Espesor de diseño del cuerpo (mm).

D = Diámetro nominal del tanque (m).

H = Nivel de diseño del líquido (m).

G = Gravedad específica de diseño del líquido almacenado, definido por el cliente.

CA = Tolerancia para la corrosión, definido por el cliente.

S_d = Esfuerzo admisible para la condición de diseño (Mpa)

- **Para condición de prueba hidrostática** (unidades U.S):

$$t_t = \frac{4.9D(H-0.3)}{S_t} \quad (38)$$

Donde:

t_t = Espesor de prueba hidrostática del cuerpo (mm).

D = Diámetro nominal del tanque (m).

H = Nivel de diseño del líquido (m).

St = Esfuerzo admisible para condición de prueba hidrostática (Mpa).

- **Tolerancia de corrosión**

Es responsabilidad del cliente determinar el sobre-espesor requerido para la tolerancia a la corrosión. Se deben cumplir los requerimientos adicionales dados en este párrafo. (API estándar 650, 2013, sección 5.3.2).

El desarrollo del presente trabajo, se ejecuta de acuerdo a los criterios y prácticas de la ingeniería para este tipo de proyectos. Las normas, estándares y códigos que adicionalmente aplicamos son:

b. ANSI/AISC 360

La especificación para los edificios de acero estructural (ANSI/AISC 360), se aplicará al diseño, fabricación y montaje del sistema o sistemas de acero estructural con acero estructural actuando de forma compuesta con hormigón armado, cuando los elementos de acero se definen en la Sección 2,1 del Código de Prácticas Normalizadas de AISC para Edificios y Puentes de Acero (ANSI/AISC 303), en adelante denominado Código de Prácticas Normalizadas. (ANSI/AISC 360,2016, sección A1).

c. ASME V - IX

La sección V del código ASME contiene requisitos y métodos para el examen no destructivo (NDE). Estos métodos NDE están diseñados para detectar imperfecciones internas y de superficie en materiales, soldaduras, piezas fabricadas y componentes. (ASME V, 2019).

La sección IX del código ASME, define los requerimientos de calificación para soldadores y procedimientos de soldadura, los cuales son aplicados en fabricación, reparación y el mantenimiento de equipos sometidos a presión, calderas y equipos relacionados a estos. (ASME IX, 2019).

c. ASTM D 4285 - D 4417

La norma ASTM estándar D4285, habla sobre los métodos de prueba estándar para indicar la cantidad de aceite o agua en el aire comprimido. Se utiliza ese método de ensayo para determinar la presencia de aceite o agua que pueda haber en el aire comprimido que utilizamos para la limpieza abrasiva, de chorro de aire y operaciones de aplicación de revestimiento. (ASTM D4285, 1999).

La norma ASTM estándar D4417, habla sobre los métodos de prueba estándar para la medición de campo del perfil superficial del limpiado por granallado. Los métodos de prueba ahí describen las técnicas para medir el perfil de las superficies limpiadas con chorro abrasivo en laboratorio, campo o taller de fabricación. (ASTM D4417, 1999).

d. ASCE 7 – 10

Este estándar proporciona requisitos mínimos de carga para el diseño de edificios y otras estructuras que están sujetos a requisitos de código de construcción. Las cargas y las combinaciones de carga adecuadas, que se han desarrollado para su uso conjunto, se establecen para el diseño de resistencia y diseño de tensión admisible. Para los puntos fuertes del diseño y los límites de tensión permitidos, se deben seguir las especificaciones del diseño para los materiales estructurales convencionales utilizados en edificios y modificaciones contenidas en este estándar. (ASCE 7 – 10, 2010, sección 1.1).

e. AWS: Code D1.1

Este código contiene los requerimientos para fabricar y armar estructuras soldadas de acero. En la medida en que este código se estipula en los documentos del contrato, se debe requerir el cumplimiento con todas sus provisiones, a excepción de aquellas que el ingeniero o los documentos del contrato modifiquen o eximan de manera específica. (AWS: Code D1.1, 2010, sección 1.1).

f. SSPC (Steel Structures Painting council)

Los trabajos que tienen que ver con temas de preparación superficial están normalizados por asociaciones internacionales, una de estas es la norma SSPC. Esta norma define las categorías de los diferentes procedimientos que se requieren para una realización correcta de limpieza superficial, previa a alguna aplicación de pintura o revestimiento. De todas las categorías que posee esta norma, aquí utilizamos la SSPC – SP1, que habla sobre la limpieza con solventes y la SSPC – SP5, que describe la limpieza con chorro abrasivo/granallado metal blanco. (SSPC, 2007).

g. RNE

El reglamento Nacional de Edificaciones (2006) dice que:

las normas técnicas contenidas aquí, se aplicarán a los procesos de habilitación de tierras para fines urbanos, en concordancia a las normas de Desarrollo Urbano de cada localidad, emitidas en cumplimiento del Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Aun cuando un terreno rústico cuente con vías de acceso o infraestructura de servicios, deberá seguir el proceso de habilitación urbana, a menos que haya sido declarado habilitado de oficio. (p. 26).

- **Norma Técnica E.020 Cargas**

De acuerdo a la Norma Técnica E.020 Cargas de Diseño (2020), las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su Norma de diseño específica. En ningún caso las cargas asumidas serán menores que los valores mínimos establecidos en esta Norma.

Las cargas mínimas establecidas en esta Norma, están dadas en condiciones de servicio. Esta Norma se complementa con la NTE E.030 Diseño Sismo resistente y con las Normas propias de diseño de los diversos materiales estructurales. (p. 11).

- **Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente**

Según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (2020) nos dice que, establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismo resistente de las edificaciones.

Es de aplicación obligatoria a nivel nacional. Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las estructuras que resulten dañadas por la acción de los sismos. (p. 9).

- **Norma Técnica E.060 Concreto Armado**

La Norma Técnica E.060 Concreto Armado (2020) nos dice que, esta fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, pre esforzado y simple.

Los planos y las especificaciones técnicas del proyecto estructural deberán cumplir con esta Norma. Lo establecido en esta Norma tiene prioridad cuando está en discrepancia con otras normas a las que ella hace referencia. (p. 13).

- **Norma Técnica E.090 Estructuras Metálicas**

La Norma Técnica E.090 Estructuras Metálicas (2020), nos señala que, esta norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones acepta los criterios del método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) y el método por Esfuerzos Permisibles (ASD).

Su obligatoriedad se reglamenta en esta misma Norma y su ámbito de aplicación comprende todo el territorio nacional. Las exigencias de esta Norma se consideran mínimas. (p. 16).

2.4 Definición de términos básicos

- **Ácido sulfúrico:** ácido fuerte, deshidratante energético y muy oxidante, que se utiliza en numerosas aplicaciones químicas e industriales.
- **Anillos:** es una constitución del cuerpo del tanque que se encuentran soldados entre sí.
- **API estándar 650:** Norma Internacional aplicada en la construcción de tanques de almacenamiento.
- **Esfuerzos:** fuerzas resultantes de una distribución de tensiones sobre una sección recta en barras (perpendicular a la directriz de la barra).
- **Estabilidad:** capacidad que tiene un cuerpo de regresar a su posición original después de inclinarse con respecto a un eje horizontal.
- **Parámetros:** son los elementos de información necesarias para ejecutar una instrucción.
- **Procedimientos:** es un conjunto de pasos secuenciales a seguir en la fabricación de estructuras metálicas basados en normas de calidad y seguridad.
- **Resistencia:** capacidad de un material para resistir tensión.
- **Rigidez:** propiedad de un material, componente o sistema estructural que caracteriza la dificultad para deformarlo.
- **Techo auto soportado:** es un techo que se encuentra soportado por su periferia.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general e hipótesis específicas

3.1.1 Hipótesis General

Si se diseña un tanque vertical teniendo en cuenta el uso de la norma API estándar 650, las cargas de diseño, el análisis dinámico y el empleo del SAP 2000, nos garantizará que los componentes del tanque vertical resistan y no fallen, por estar en cumplimiento de los parámetros de diseño, así mismo conjuntamente con el uso de los códigos AWS, ASME y la norma SSPC, va asegurar el correcto procedimiento en la fabricación de las estructuras del tanque para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- Si se determinan los parámetros de diseño mediante el uso de la norma API estándar 650 y el RNE adecuadamente, nos permitirá iniciar el diseño de los anillos N^o 4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical.
- Si se diseñan los anillos N^o 4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical mediante los criterios descritos en la norma API estándar 650, nos garantizará que estos componentes resistan y no fallen, por estar en cumplimiento de los parámetros de diseño.
- Si se emplea el software SAP 2000, nos permitirá validar el diseño de los anillos N^o4,5,6 y techo auto soportado, así mismo se llegará a contrastar el análisis dinámico y las respectivas cargas de diseño.
- Si se emplean los procesos de fabricación establecidos en el código AWS D1. 1, la norma API estándar 650, el código ASME sección V - IX y la norma SSPC SP1 – SP5, nos garantizará que el procedimiento de fabricación va ser óptimo y cumplirá con los estándares de calidad requeridos.

3.2 Definición conceptual de la variable

➤ Variable I

Diseño y fabricación de un tanque vertical

Vanegas (2018, p. 19) explica sobre el **diseño** que “se ocupa de la creación de algo, el cual puede ser completamente nuevo o consistir de un componente modificado. De acuerdo con esto, se puede hablar de tres tipos de diseño: original, adaptativo y de variante”.

Aldaz (2014, p. 39) nos dice sobre la **fabricación** que para que esta se realice “es necesario conocer el orden de procesamiento de cada parte del tanque, los procesos utilizados son los procesos de trazado, corte, conformado por deformación plástica, procesos de soldadura, preparación superficial y proceso de pintura”.

León (2003, p. 8) menciona sobre los **tanques verticales** que “nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas”.

Según los autores mencionados y lo que definen sobre sus conceptos, podemos decir que el diseño y fabricación de un tanque vertical nace de la idea de crear un componente modificado ya existente, el cual pasara por una serie de procesos de fabricación debidamente seleccionados conociendo el orden de procesamiento de cada parte del tanque. El cual nos brinda un gran beneficio de almacenar grandes cantidades volumétricas a un bajo costo.

➤ Variable II

Almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico

Cabezas y Núñez (2011, p. 2) mencionan que el **almacenamiento** “proporciona a la industria una mejor planificación en las diferentes operaciones que se realizan tales como: distribución, reservas, inventarios, transporte, tratamiento, refinación, etc., con mayor exigencia y bajo normas específicas en la industria”.

El **ácido sulfúrico** es un ácido fuerte, deshidratante energético y muy oxidante, que se utiliza en numerosas aplicaciones químicas e industriales. Según los conceptos mencionados, podemos decir que el almacenamiento de 1870m³ de ácido sulfúrico proporciona a la refinería una mejor planificación en las diferentes operaciones que se realicen con este ácido. Puesto que, por ser un ácido fuerte, necesita de mayor exigencia en cuanto a su manipulación y almacenamiento, los cuales deben seguirse bajo normas específicas de la refinería.

3.2.1 Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

| VARIABLE | DIMENSIONES | INDICADOR | INDICES | METODO | TECNICA | |
|---|---|--------------------------|---|-----------------------|--------------|-------------|
| Diseño y fabricación de un tanque vertical. | Parámetros de diseño. | Velocidad del viento. | 75 -80(Km/h). | Cualitativo. | Documental. | |
| | | Escala sismográfica . | Zona 4 factor=0.45. | Cualitativo. | Documental. | |
| | | Diámetro del tanque . | 0 -60 m. | Cualitativo. | Documental. | |
| | | Altura del tanque. | 10-12 m. | Cualitativo. | Documental. | |
| | Diseño estructural. | Carga de diseño . | Carga muerta 7850 Kgf/m ³ . | | Cualitativo. | Documental. |
| | | | Carga viva 100 Kgf/m ² . | | Cualitativo. | Documental. |
| | | Análisis estructural. | Resistencia 0-2500 Kgf/cm ² . | | Cualitativo. | Documental. |
| | | | Deformación ≤ altura del tanque/200. | | Cualitativo. | Documental. |
| | Software de diseño (SAP2000). | Relación de diseño < 1. | | Cualitativo. | Documental. | |
| | Proceso de fabricación. | Trazado. | ± 3 mm | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Corte. | | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Doblado. | ± 13 mm | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Rolado. | | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Soldadura. | Ensayo no destructivo de juntas al 100%. | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Preparación superficial. | Perfil de rugosidad de 2.5 -3.0 mils. | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | | Pintado. | Espesor de película seca 11 mils . | Cuantitativo. | Empírica. | |
| | Almacenamiento de 1870 m ³ de ácido sulfúrico. | Capacidad. | Volumen de ácido sulfúrico. | 1870 m ³ . | Cualitativo. | Documental. |

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo

Con respecto a los tipos de investigación, para la investigación del tipo tecnológica, Espinoza (2014, p. 90) nos dice que, “tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad. Sus niveles son la experimentación y la aplicación.”

Estando acorde con lo mencionado, podemos decir que nuestro presente trabajo se basa en una **investigación de tipo tecnológica** de nivel **aplicada**. Puesto gira en torno a aplicar el conocimiento científico mediante la investigación, planteamiento y fabricación de un diseño, en el que desarrollamos nuestra propuesta de modelo viable, apoyándonos en la observación del funcionamiento de modelos similares, cálculos, normas y simulaciones en software, con el fin de solucionar los problemas propuestos que beneficien a la refinería y por ende al país.

4.1.2 Diseño

Los diseños de investigación no experimental, Según Hernández (2014, p. 154) se centran en “analizar el nivel/modalidad de una o diversas variables en un momento dado; evaluar una situación, comunidad, evento, fenómeno o contexto en un punto del tiempo y determinar o ubicar la relación entre un conjunto de variables en un momento.”

Adicionalmente a lo dicho, una sub-división de la investigación no experimental es el diseño descriptivo simple, que de acuerdo con Espinoza (2014, p. 93), nos dice que, “Busca recoger información actualizada sobre el objeto de investigación. Sirve para estudios de diagnóstico descriptivo, caracterizaciones, perfiles, etc. No podemos suponer las influencias de algunas variables. Nos limitamos a recoger información de la situación actual”.

Además, nos propone un diagrama del diseño que viene dado por:

M → O

Donde, **M**: Muestra u objeto en que se realizará el estudio.

O: Observación de la muestra.

Tomando como referencia los conceptos mencionados, podemos decir que nuestro presente trabajo utiliza el diseño **no experimental, descriptivo simple**.

Siguiendo lo propuesto por Espinoza (2014), para nuestro caso, tenemos lo siguiente:

Diagrama:

M → O

Donde:

M: Muestra del conjunto de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical.

O: Observación de la muestra para recoger características que ayuden a su diseño y fabricación.

4.2 Método de investigación

En la clasificación de los métodos de investigación que hace Behar (2008, p. 41), el método hipotético-deductivo consiste en, “saber cómo la verdad o falsedad del enunciado básico dice acerca de la verdad o la falsedad de la hipótesis que ponemos a prueba. Por supuesto, el proceso puede ser mucho más largo, e incluir hipótesis intermedias.”

Bajo esta definición podemos decir que, para nuestro presente trabajo, se hizo uso del método **hipotético-deductivo**. Ya que, partimos de enunciados que se corroborarán con las hipótesis que pondremos a prueba, las cuales se irán probando a lo largo del desarrollo de nuestra investigación y se contrastarán con los resultados que se obtengan. Pudiendo así finalmente, dar veracidad o no, de las mismas.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al campo espacial en el que se desarrolla el trabajo de investigación. (Carrasco, 2006).

Siguiendo lo dicho, para nuestro presente trabajo, la población viene a ser los elementos que conforman el tanque vertical (anillos, techo auto soportado, manhole, venteo, conexiones).

4.3.2 Muestra

Es una parte o fragmento representativo de la población, cuyas características esenciales deben ser objetivas y reflejarlas fielmente para que los resultados obtenidos en la muestra puedan generalizarse a todos los elementos de la población. (Carrasco, 2006).

Por lo anterior mencionado, podemos decir que la muestra en nuestro presente trabajo es el conjunto de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1 Lugar de estudio

La refinera de zinc de Cajamarquilla, ubicada a 15 km del centro de Lima, distrito de San Juan de Lurigancho, prov. de Lima, Lima.

4.4.2 Periodo desarrollado

El presente trabajo se realizó en el periodo que se comprende entre septiembre del 2019 y octubre del 2019, en la refinera de Nexa - Cajamarquilla.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1 Técnica documental

Según Espinoza (2014), esta es la técnica que nos ayuda a demostrar las hipótesis que planteamos en nuestra presente investigación, ya que nos permite recopilar una serie de evidencias. Además de eso, nos dice que también está formada por documentos de diferente tipo, tales como: revistas, memorias, actas, registros, etc. Los instrumentos que se usan para esta técnica son: ficha bibliográfica, ficha de trabajo, registro de sistema de gestión, etc.

Con lo anterior mencionado, podemos decir que, para una parte de nuestra investigación, hicimos uso de la **técnica documental**. Puesto que, a lo largo del inicio y desarrollo del presente trabajo, hemos estado en constante recolección de evidencias y/o datos, con el fin de luego demostrar las hipótesis que planteamos. Para tal fin, nos hemos apoyado de memorias de cálculo, informes técnicos de ensayos realizados, investigaciones pasadas relacionadas a nuestro tema(tesis), manuales, procedimientos de trabajo, normas/estándares internacionales aplicables para este tipo de diseños y fabricación.

Los instrumentos que hemos utilizado en esta parte fueron:

- Ficha bibliográfica.
- Ficha de citas textuales.
- Ficha electrónica.

4.5.2 Técnica empírica

Para Espinoza (2014), esta nos facilita la observación de primera mano de manera directa con el objeto de estudio y la recolección de testimonios que ayuden a conectar la teoría con la práctica, siempre en búsqueda de la verdad. Una subdivisión de esta técnica es la observación. Esta última, nos permite agrupar y ordenar toda la información sobre el objeto de estudio que está relacionado con el

problema de investigación. También, nos ayuda con la obtención de datos próximos de cómo se está desarrollando el funcionamiento del objeto de investigación en el presente.

Los instrumentos que utiliza son: Fichas de observación, formularios, hojas de registro, cámaras fotográficas, flexómetros, verniers, etc.

Habiendo presentado las definiciones anteriores, decimos también que hicimos uso de la **técnica empírica de observación**, para la otra parte complementaria a la anterior, de nuestra presente investigación. Puesto que, en el desarrollo de nuestra investigación, hemos estado obteniendo datos de nuestros objetos de investigación, manera directa y en ese momento que se requería, haciendo así que la obtención de datos cumpla con las características de veracidad, objetividad y confiabilidad.

Los instrumentos que utilizamos para esta técnica son:

- Registros de inspecciones.
- Registros de inspecciones por pruebas realizadas.
- Registros de mediciones.
- Hojas de resultados.
- Flexómetros
- Vernier.
- Psicrómetro.
- Termómetro infrarrojo.
- Medidor de espesores.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

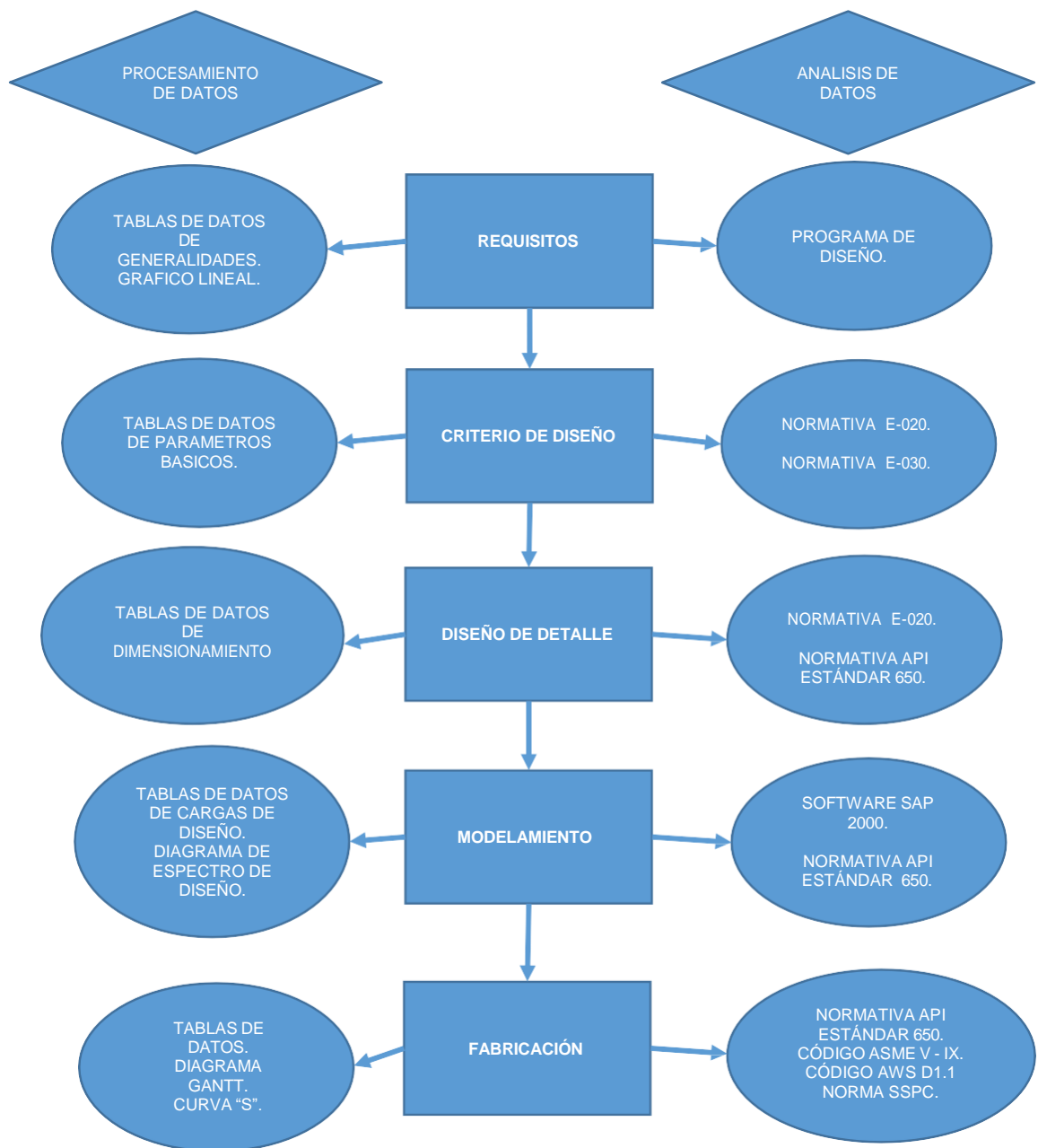


Figura 24. Diagrama de flujo de procesamiento de datos.

Elaborado en base al procesamiento de datos para el diseño de la investigación.

4.6.1 Procedimiento de la investigación

➤ Requisitos

- **Generalidades**

Las características principales del tanque, materia de la presente investigación, son:

Tabla 2. Generalidades del tanque.

| | |
|-----------------------|--|
| Tipo de tanque. | Cilíndrico, fondo plano, techo cónico auto soportado. |
| Producto almacenado. | Ácido sulfúrico - H ₂ SO ₄ . |
| Diámetro (Ø). | 15 m. |
| Altura. | 12 m. |
| Capacidad. | 1870 m ³ (11760 barriles). |
| Pendiente de techo. | 16.70%. |
| Cantidad de anillos. | 3 anillos existentes (1978). |
| | 3 anillos nuevos (2019). |
| Cantidad de planchas. | 48 planchas en cilindro. |
| | 24 planchas en techo. |
| Material. | Acero A36 (anillos N° 4 al N° 6) – anillos nuevos. |
| | Acero A36 (planchas, vigas, etc.) – techo. |
| | Acero ST 37-2 (anillos N° 2 al N° 3) – anillos existentes. |
| | Acero ST 42-2 (anillo N° 1) – anillo existente. |
| Año de fabricación. | 1978 y 2019. |
| Observaciones. | Tanque en proceso de restauración. |

Asimismo, de la documentación proporcionada por el cliente, según la información descrita en el Reporte gráfico: CS.19.11.099 de Control Service Group S.A.C en anexo 2, se realizó una proyección de espesor (mm) de las planchas de acero al 2019, obteniendo:

Tabla 3. Proyección de espesores.

| Zona inspeccionada. | Dimensiones de plancha ancho (m) por largo (m) | Espesor nominal en 1978 (mm). | Espesor promedio en 2017 (mm). | Espesor mínimo en 2017 (mm). | Proyección de espesor mínimo al 2019 (mm). |
|---------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| 1er Anillo. | 2m x 6m | 20.00 | 17.42 | 17.00 | 16.85 |
| 2do Anillo. | 2m x 6m | 17.00 | 14.74 | 13.67 | 13.50 |
| 3er Anillo. | 2m x 6m | 14.00 | 11.20 | 10.16 | 9.96 |
| 4to Anillo. | 2m x 6m | 11.00 | 7.16 | 5.51 | 5.23 |
| 5to Anillo. | 2m x 6m | 8.00 | 4.87 | 3.73 | 3.51 |
| 6to Anillo. | 2m x 6m | 7.00 | 5.61 | 4.40 | 4.27 |
| Techo. | 2m x 6m | 7.00 | 6.71 | 4.03 | 3.88 |

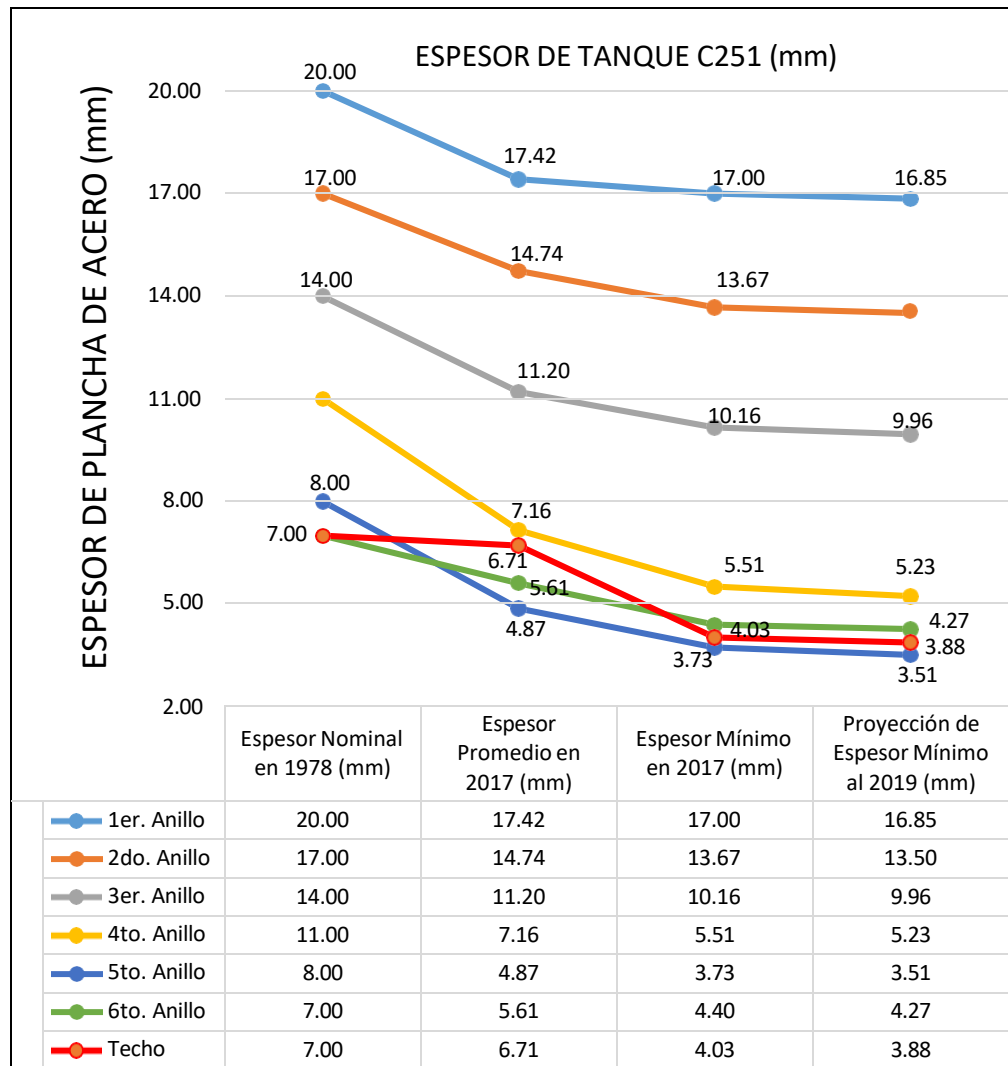


Figura 25. Proyección de espesor (mm) al 2019, de las planchas de acero del tanque.

- **Composición arquitectónica del tanque de almacenamiento**

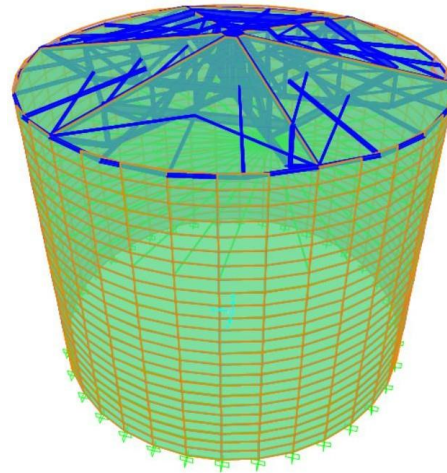


Figura 26. Modelamiento de tanque de almacenamiento.

| | |
|---|--|
| <p>TECHO: En 1978: 7.00mm AI 2017: 6.71mm (Mín: 4.03mm y Máx: 7.14mm) AI 2019: 3.88mm (proyectado) y 6.00mm (para diseño y reposición)</p> | |
| ANILLO N° 6: | <p>En 1978: 7.00mm AI 2017: 5.61mm (Mín: 4.40mm y Máx: 6.91mm) AI 2019: 4.27mm (proyectado) y 6.00mm (para diseño y reposición)</p> |
| ANILLO N° 5: | <p>En 1978: 8.00mm AI 2017: 4.87mm (Mín: 3.73mm y Máx: 5.81mm) AI 2019: 3.51mm (proyectado) y 8.00mm (para diseño y reposición)</p> |
| ANILLO N° 4: | <p>En 1978: 11.00mm AI 2017: 7.16mm (Mín: 5.51mm y Máx: 8.17mm) AI 2019: 5.23mm (proyectado) y 9.00mm (para diseño y reposición)</p> |
| ANILLO N° 3: | <p>En 1978: 14.00mm AI 2017: 11.20mm (Mín: 10.16mm y Máx: 11.95mm) AI 2019: 9.96mm (proyectado) y 9.50mm (para diseño)</p> |
| ANILLO N° 2: | <p>En 1978: 17.00mm AI 2017: 14.74mm (Mín: 13.67mm y Máx: 15.21mm) AI 2019: 13.50mm (proyectado) y 13.00mm (para diseño)</p> |
| ANILLO N° 1: | <p>En 1978: 20.00mm AI 2017: 17.42mm (Mín: 17.00mm y Máx: 17.98mm) AI 2019: 16.85mm (proyectado) y 16.50mm (para diseño)</p> |

Figura 27. Diagrama de espesores en el tanque.

➤ **Criterios de diseño**

1) Cálculo de los parámetros básicos de diseño

• **Viento**

En base a la norma E-020 del reglamento nacional de edificaciones, la velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión.

$$V_h = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22} \quad (39)$$

Donde:

V_h : es la velocidad de diseño en la altura h en $\frac{km}{h}$.

V : es la velocidad de diseño hasta 10 metros de altura en $\frac{km}{h}$.

h : es la altura sobre el terreno en m .

Se llega escalar la velocidad básica a 10 metros sobre el terreno a una velocidad mínima de diseño $75 \frac{km}{h}$, para una altura correspondiente a nuestra estructura 12 metros.

En (39):

$$V_h = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 75 \times \left(\frac{12}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 78.10 \frac{km}{h}$$

• **Sismo**

En base a la norma E-030 del reglamento nacional de edificaciones y la ubicación geográfica del proyecto, se tiene:

La tabla 4, detallando la zonificación sísmica.

Tabla 4. Zonificación sísmica.

| |
|----------------------------------|
| Región: Lima |
| Provincia: Lima |
| Distrito: San Juan de Lurigancho |
| Zona sísmica: Zona 4 |
| Factor de zona: 0.45 |



Figura 28. Zonificación.

Tomada de “Norma técnica 030 diseño sismorresistente”, por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento [MVCS], 2019, p. 7. Ver anexo 13.

- **Nieve**

Para el presente diseño no se consideran cargas por acumulación de nieve.

- **Temperatura**

Dado que el proyecto no se encuentra en zonas con condiciones climáticas extremas, se desprecia la influencia de la amplitud térmica en la estructura.

- **Peso específico del ácido sulfúrico**

$$\gamma = \rho \times g \quad (40)$$

Donde:

γ : peso específico del líquido $\frac{N}{m^3}$

ρ : densidad del líquido $\frac{kg}{m^3}$

g : gravedad $\frac{m}{s^2}$

El ácido sulfúrico tiene una densidad de $\rho = 1830 \frac{kg}{m^3}$

En (40):

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 1830 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times \frac{1 kg - f}{9.81N}$$

$$\gamma = 1830 \frac{kgf}{m^3}$$

- **Peso específico del acero A36**

El acero A36 tiene una densidad de $\rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$

En (40):

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 7850 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times \frac{1 kg - f}{9.81N}$$

$$\gamma = 7850 \frac{kgf}{m^3}$$

2) Resumen de los parámetros básicos para el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical

En la tabla 5 se detallan las medidas calculadas y la localización geográfica para así dar inicio al diseño de detalle.

Tabla 5. Parámetros básicos.

| | |
|---------------------------------|---|
| Velocidad de diseño del viento | 78.10 Km/h |
| Lugar | San Juan de Lurigancho, Lima, Lima |
| Zona sísmica N° | 4 |
| Factor de zona | 0.45 |
| Peso específico ácido sulfúrico | 1830 Kgf/m3 |
| Peso específico A36 | 7850 Kgf/m3 |

➤ **Diseño de detalle**

1) **Dimensionamiento del tanque de almacenamiento**

Los datos de entrada para el dimensionamiento de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical se visualizan en la tabla 6.

Tabla 6. Datos para el cálculo.

| | |
|---|----------|
| Nivel de diseño para el anillo N°4 | 6 m. |
| Nivel de diseño para el anillo N°5 | 4 m. |
| Nivel de diseño para el anillo N°6 | 2 m. |
| Gravedad específica del ácido sulfúrico | 1.83 |
| Tolerancia de corrosión | 3 mm. |
| Esfuerzo de diseño A36 | 160 Mpa. |
| Esfuerzo de prueba hidrostática A36 | 171 Mpa. |

Nota: Ver anexo 8.

2) Calculo de espesores según API estándar 650

- **Calculo de espesor del cuerpo**

El espesor de los anillos N° 4,5,6 será determinado haciendo uso del método de un pie.

- **Calculo del anillo N°4**

Para el cálculo en condición de diseño hacemos uso de la ecuación (37), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$
$$t_d = \frac{4.9 \times 15 \times (6 - 0.3) \times 1.83}{160} + 3mm$$
$$t_d = 7.79 \text{ mm}$$

Para el cálculo en condición de prueba hidrostática hacemos uso de la ecuación (38), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$
$$t_t = \frac{4.9 \times 15 \times (6 - 0.3)}{171}$$
$$t_t = 2.45 \text{ mm}$$

- **Calculo del anillo N°5**

Para el cálculo en condición de diseño hacemos uso de la ecuación (37), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$
$$t_d = \frac{4.9 \times 15 \times (4 - 0.3) \times 1.83}{160} + 3mm$$
$$t_d = 6.11 \text{ mm}$$

Para el cálculo en condición de prueba hidrostática hacemos uso de la ecuación (38), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 15 \times (4 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = 1.59 \text{ mm}$$

- **Calculo del anillo N°6**

Para el cálculo en condición de diseño hacemos uso de la ecuación (37), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_d = \frac{4.9D(H - 0.3)G}{S_d} + CA$$

$$t_d = \frac{4.9 \times 15 \times (2 - 0.3) \times 1.83}{160} + 3\text{mm}$$

$$t_d = 4.43 \text{ mm}$$

Para el cálculo en condición de prueba hidrostática hacemos uso de la ecuación (38), la tabla 2 y tabla 6:

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{S_t}$$

$$t_t = \frac{4.9 \times 15 \times (2 - 0.3)}{171}$$

$$t_t = 0.73 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

En la tabla 7 se adjunta los espesores calculados para los anillos N°4,5,6 del tanque vertical y los espesores mínimos requerido para los anillos N°1,2,3.

Tabla 7. Espesores para cada anillo.

| N° Anillo | Espesor de diseño t_d (mm) | Espesor de prueba hidrostática t_t (mm) | Espesor seleccionado t (mm) |
|-----------|------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | - | - | 16.5 |
| 2 | - | - | 13 |
| 3 | - | - | 9.5 |
| 4 | 7.79 | 2.45 | 9 |
| 5 | 6.11 | 1.59 | 8 |
| 6 | 4.43 | 0.73 | 6 |

- **Calculo de espesor del techo auto soportado**

Para el diseño del techo cónico auto soportado debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El ángulo del elemento cónico con respecto a la horizontal θ , debe estar comprendido de 9.5° a 37° .
- El espesor nominal debe ser mayor de 5 mm y menor de 13 mm. (API estándar 650, 2013, sección 5.10.5)

Para determinar el ángulo θ utilizamos la tabla 2, el valor de la pendiente de techo que es 16.70%.

$$\text{Tangente } (\theta) = \text{Pendiente} \quad (41)$$

En (41):

$$\text{Tangente } (\theta) = 0.167$$

$$\theta = \text{Arctan } (0.167)$$

$$\theta = 9.48^\circ \approx 9.5^\circ$$

El espesor del techo auto soportado se llegará asumir.

Espesor seleccionado $e = 6 \text{ mm}$

Así mismo:

En la tabla 8 se muestra el ángulo y el espesor del techo auto soportado seleccionado para el tanque vertical.

Tabla 8. Techo auto soportado.

| Angulo θ | Espesor seleccionado e (mm) |
|-----------------|-------------------------------|
| 9.5 | 6 |

3) Bridas y boquillas para el techo auto soportado del tanque según API estándar 650

Según (API estándar 650,2013, sección 5.8.5.2), la ventilación normal debe ser adecuada para evitar que la presión interna o externa exceda las presiones de diseño del tanque vertical.

En la figura 29, se visualiza las bases de las boquillas con y sin placa

de refuerzo.

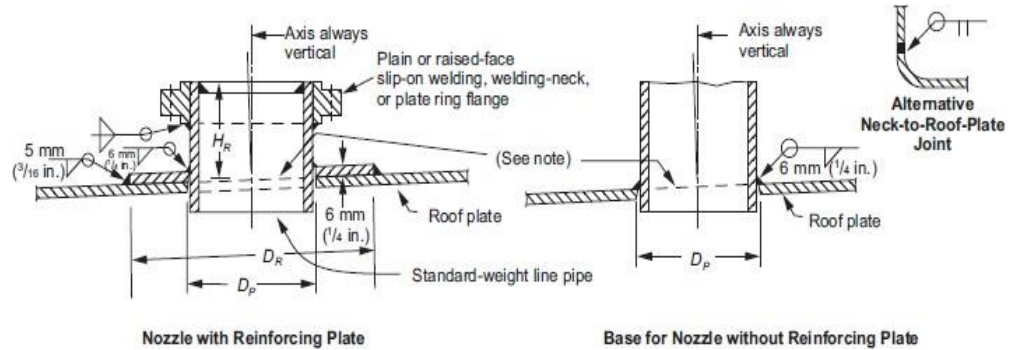


Figura 29. Boquillas con bridas para techo.

Tomada de "Welded Tanks for oil storage", por el API estándar 650, 2013, p. 5-73.

En la tabla 9, encontramos las dimensiones para el tubo de aforamiento y el venteo del tanque.

Tabla 9. Dimensiones de las boquillas con bridas para techo.

Dimensions in millimeters

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 |
|------------|-------------------------------|---|--------------------------------|--|
| Nozzle NPS | Outside Diameter of Pipe Neck | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_p | Minimum Height of Nozzle H_R | Outside Diameter of Reinforcing Plate ^a D_R |
| 1 1/2 | 48.3 | 50 | 150 | 125 |
| 2 | 60.3 | 65 | 150 | 175 |
| 3 | 88.9 | 92 | 150 | 225 |
| 4 | 114.3 | 120 | 150 | 275 |
| 6 | 168.3 | 170 | 150 | 375 |
| 8 | 219.1 | 225 | 150 | 450 |
| 10 | 273.0 | 280 | 200 | 550 |
| 12 | 323.8 | 330 | 200 | 600 |

^a Reinforcing plates are not required on nozzles NPS 6 or smaller but may be used if desired.
NOTE See Figure 5.19.

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, 5-68.

De la tabla 9, la boquilla para el tubo de aforamiento que seleccionamos es de 4 pulg con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior del cuello de la tubería = 114.3 mm
- Diámetro del orificio en la placa de refuerzo = 120 mm
- Altura mínima de la boquilla = 150 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo = 275 mm

De la tabla 9, la boquilla para el venteo que seleccionamos es de 8 pulg. con las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior del cuello de la tubería = 219.1 mm
- Diámetro del orificio en la placa de refuerzo = 225 mm
- Altura mínima de la boquilla = 150 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo = 450 mm

Para el presente diseño de la figura 29 utilizaremos las bases de las boquillas con placa de refuerzo, las boquillas de aforamiento y venteo seleccionados son de 4 y 8 pulg. respectivamente.

4) Manhole del techo según API estándar 650

Según (API estándar 650,2013, sección 5.8.4), los manhole de inspección del techo deben cumplir con los siguientes requisitos.

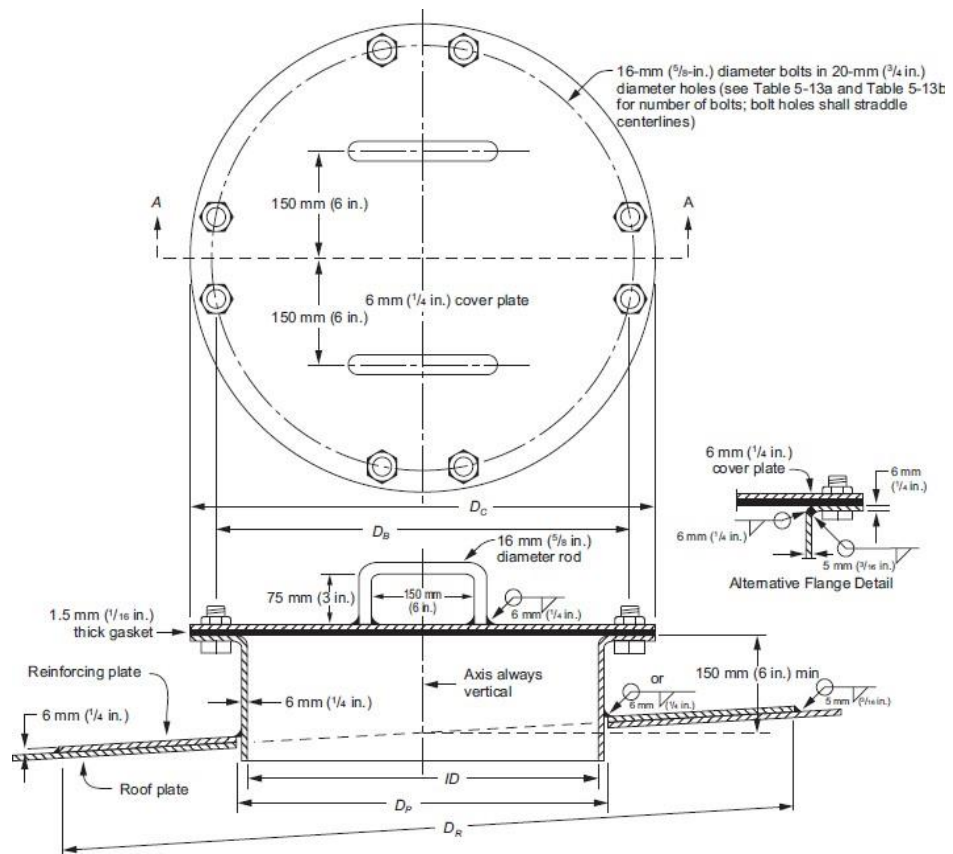


Figura 30. Manhole del techo con placa de refuerzo.

Tomada de "Welded Tanks for oil storage", por el API estándar 650, 2013, p. 5-67.
Ver anexo 10.

Tabla 10. Dimensiones del manhole para techo.

Dimensions in millimeters

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 | Column 7 | Column 8 | Column 9 |
|-----------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|----------|---|---|
| Size of Manhole | Diameter of Neck D^a | Diameter of Cover Plate D_C | Diameter of Bolt Circle D_B | Number of Bolts | Diameter of Gasket | | Diameter of Hole in Roof Plate or Reinforcing Plate D_P | Outside Diameter of Reinforcing Plate D_R |
| | | | | | Inside | Outside | | |
| 500 | 500 | 660 | 597 | 16 | 500 | 660 | 524 | 1050 |
| 600 | 600 | 762 | 699 | 20 | 600 | 762 | 625 | 1150 |

^a Pipe may be used for neck, providing the minimum nominal wall thickness is 6 mm (D and D_P shall be adjusted accordingly.)
NOTE See Figure 5.18.

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, 5-66.

En la tabla 10, encontramos las dimensiones para el manhole del techo del tanque. Para el presente diseño el manhole del techo que seleccionamos es de 600 mm con las siguientes dimensiones:

- Diámetro del cuello= 600 mm
- Diámetro de la placa de cubierta = 762 mm
- Diámetro del círculo de pernos = 699 mm
- Numero de pernos= 20
- Diámetro del orificio en la placa de refuerzo= 625 mm
- Diámetro exterior de la placa de refuerzo= 1150 mm

Para el presente diseño de la figura 30 utilizaremos las bases de las boquillas con placa de refuerzo, el manhole del techo seleccionado es de 600 mm.

5) Calculo de anillo rigidizador superior según API Standard 650

Según (API estándar 650,213, sección 5.9.6.1), el módulo de sección mínimo del anillo de refuerzo se llegará determinar con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{D^2 H_2}{17} \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad (42)$$

Donde:

Z = módulo de sección mínimo (cm³).

H_2 = altura máxima del tanque (m).

D = diámetro nominal del tanque (m).

V = velocidad de diseño del viento (km/h).

Por lo tanto:

- De la tabla 5 se tiene que la velocidad de diseño del viento es 78.10 km/h.
- En la tabla 8 se encuentra el ángulo con la horizontal $\theta = 9.5^\circ$.
- De la tabla 2 de generalidades del tanque tenemos que el diámetro es 15 m y la altura es 12 m.

Para determinar la altura máxima del tanque vertical:

$$H_2 = \text{altura del tanque} + \text{altura del techo auto soportado} \quad (43)$$

En (43):

$$H_2 = 12 + 7.5 \times \tan 9.5^\circ$$

$$H_2 = 13.25 \text{ m}$$

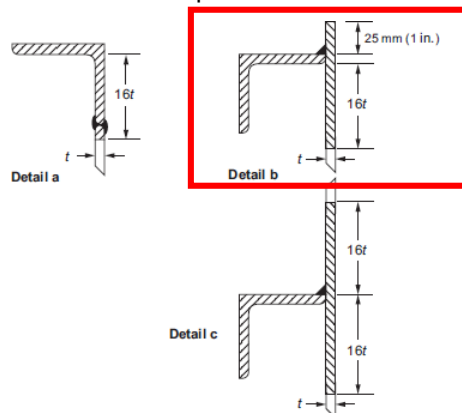
En (42):

$$Z = \frac{15^2 \times 13.25}{17} \times \left(\frac{78.10}{190}\right)^2$$

$$Z = 29.63 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto el módulo de sección mínimo es 29.63 cm^3 . Verificamos las secciones típicas de anillos de refuerzos en la tabla 11.

Tabla 11. Secciones típicas de anillos de refuerzos.



Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, 5-80.

Verificamos los módulos de secciones de los anillos de refuerzos en la tabla 12.

Tabla 12. Módulo de secciones de anillos de refuerzos.

Dimensions in millimeters

| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 |
|--|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Member Size | As-Built Shell Thickness | | | | |
| | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 |
| Top Angle: Figure 5.24, Detail a | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 6.58 | 6.77 | — | — | — |
| 65 × 65 × 8 | 8.46 | 8.63 | — | — | — |
| 75 × 75 × 10 | 13.82 | 13.97 | — | — | — |
| Curb Angle: Figure 5.24, Detail b | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 27.03 | 28.16 | — | — | — |
| 65 × 65 × 8 | 33.05 | 34.67 | — | — | — |
| 75 × 75 × 6 | 35.98 | 37.49 | — | — | — |
| 75 × 75 × 10 | 47.24 | 53.84 | — | — | — |
| 100 × 100 × 7 | 63.80 | 74.68 | — | — | — |
| 100 × 100 × 10 | 71.09 | 87.69 | — | — | — |
| One Angle: Figure 5.24, Detail c (See Note) | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 28.09 | 29.15 | 30.73 | 32.04 | 32.69 |
| 65 × 65 × 8 | 34.63 | 36.20 | 38.51 | 40.32 | 41.17 |
| 100 × 75 × 7 | 60.59 | 63.21 | 66.88 | 69.48 | 70.59 |
| 102 × 75 × 8 | 66.97 | 70.08 | 74.49 | 77.60 | 78.90 |
| 125 × 75 × 8 | 89.41 | 93.71 | 99.86 | 104.08 | 105.78 |
| 125 × 75 × 10 | 105.20 | 110.77 | 118.97 | 124.68 | 126.97 |
| 150 × 75 × 10 | 134.14 | 141.38 | 152.24 | 159.79 | 162.78 |
| 150 × 100 × 10 | 155.91 | 171.17 | 184.11 | 193.08 | 196.62 |

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, 5-81. Ver anexo 9.

Para nuestro presente diseño la sección típica de anillo de refuerzo es el detalle b de la tabla 11. En la tabla 12, ubicamos el anillo de refuerzo en base a nuestro módulo de sección mínimo $Z = 29.63 \text{ cm}^3$, el espesor de la carcasa del anillo superior que es 6 mm la sección b ya definida de la tabla 11. Por lo tanto, el anillo de refuerzo para el presente diseño es $75 \times 75 \times 6 \text{ mm}$.

6) Cálculo de vigas rigidizadoras intermedias según API Standard 650

Para verificar la necesidad o no de vigas rigidizadoras intermedias de acuerdo a la configuración de planchas del presente tanque, utilizaremos la velocidad de diseño del viento calculada en base a la norma E-020 del RNE.

Según (API estándar 650,2013, sección 5.9.7.1), sostiene que la altura máxima del casco se determinada con la siguiente ecuación:

$$H_1 = 9.47t\sqrt{\left(\frac{t^3}{D}\right) \left(\frac{190}{V}\right)^2} \quad (44)$$

Donde:

H_1 = altura máxima de casco sin rigidizar (m).

t = espesor nominal mínimo considerado en el casco del tanque (mm).

D = diámetro nominal del tanque (m).

V = velocidad de diseño del viento (km/h).

Por lo tanto:

- De la tabla 5 se tiene que la velocidad de diseño del viento es 78.10 km/h.
- En la tabla 7 se encuentra el espesor nominal mínimo del casco de 6 mm.
- De la tabla 2 de generalidades del tanque tenemos que el diámetro es 15 m.

En (44):

$$H_1 = 9.47 \times 6 \times \sqrt{\left(\frac{6^3}{15}\right) \times \left(\frac{190}{78.10}\right)^2}$$

$$H_1 = 85.07 \text{ m}$$

Según (API estándar 650,2013, sección 5.9.7.2), el modelo del cálculo de la altura del casco transformado es:

$$W_{tr} = W\sqrt{\left(\frac{t u^5}{t a}\right)} \quad (45)$$

Donde:

W_{tr} = altura del casco transformado (m).

W = ancho real de cada anillo del tanque (m).

$t u$ = espesor nominal mínimo considerado en el casco del tanque (mm).

$t a$ = espesor nominal de cada anillo del casco del tanque (mm).

Por lo tanto:

- De la tabla 3 se tiene el ancho de cada anillo del casco del tanque vertical.
- En la tabla 7 se encuentra los espesores de cada anillo del casco del tanque vertical.

- **Calculo de la altura del 1er anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 16.5 \text{ mm}$$

En (45)

$$W_{tr1} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{16.5}\right)^5}$$

$$W_{tr1} = 0.16 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del 2do anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 13 \text{ mm}$$

En (45)

$$W_{tr2} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{13}\right)^5}$$

$$W_{tr2} = 0.29 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del 3er anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 9.5 \text{ mm}$$

En (45):

$$W_{tr3} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{9.5}\right)^5}$$

$$W_{tr3} = 0.63 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del 4to anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 9 \text{ mm}$$

En (45):

$$W_{tr4} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{9}\right)^5}$$

$$W_{tr4} = 0.73 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del 5 to anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 8 \text{ mm}$$

En (45):

$$W_{tr5} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{8}\right)^5}$$

$$W_{tr5} = 0.97 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del 6 to anillo transformado**

$$W = 2 \text{ m}$$

$$t u = 6 \text{ mm}$$

$$t a = 6 \text{ mm}$$

En (45):

$$W_{tr6} = 2 \times \sqrt{\left(\frac{6}{6}\right)^5}$$

$$W_{tr6} = 2 \text{ m}$$

Según (API estándar 650,2013, sección 5.9.7.3), si la altura del casco

transformado (W_{tr}) es mayor que la altura máxima H_1 una viga intermedia se va requerir.

Se tiene:

$$\sum W_{tr} = W_{tr1} + W_{tr2} + W_{tr3} + W_{tr4} + W_{tr5} + W_{tr6} \quad (46)$$

En (46):

$$\sum W_{tr} = 0.16 + 0.29 + 0.63 + 0.73 + 0.97 + 2$$

$$\sum W_{tr} = 4.78 \text{ m}$$

Se obtiene:

$$\sum W_{tr} < H_1$$

$$4.78 < 85.07$$

De acuerdo a la sección 5.9.7.3, del API estándar 650, no se necesitan de vigas rigidizadoras intermedias.

7) Resumen del dimensionamiento

En la tabla 13 se detallan las medidas determinadas en el dimensionamiento.

Tabla 13. Dimensionamiento.

| | |
|--|-----------------|
| Espesor del anillo N°1 | 16.5 mm |
| Espesor del anillo N°2 | 13 mm |
| Espesor del anillo N°3 | 9.5 mm |
| Espesor del anillo N°4 | 9 mm |
| Espesor del anillo N°5 | 8 mm |
| Espesor del anillo N°6 | 6 mm |
| Espesor del techo auto soportado | 6 mm |
| Angulo del elemento cónico | 9.5° |
| Vigas rigidizadoras intermedias | No se necesitan |
| Anillo rigidizador superior | 75x75x6 mm |
| Diámetro de la boquilla de aforamiento en el techo | 4 pulg |
| Diámetro de la boquilla de venteo en el techo | 8 pulg |
| Diámetro del manhole del techo | 600 |

➤ **Modelamiento**

• **Cargas de diseño**

- **Presión del viento de diseño**

Según (API estándar 650,2013, sección 5.2.1.k), menciona que la presión del viento de diseño se determinada con la siguiente ecuación:

$$P_{ws} = 0.86 \left(\frac{V}{190} \right)^2 \quad (47)$$

Donde:

P_{ws} = la presión del viento de diseño (kpa).

V = velocidad de diseño del viento (km/h).

Haciendo uso de la tabla 5 el valor de la velocidad de diseño del viento es 78.10 km/h.

En (47):

$$P_{ws} = 0.86 \left(\frac{78.10}{190} \right)^2$$
$$P_{ws} = 0.152 \text{ kpa}$$

• **Carga de sismo**

- **Factor de importancia**

Según (API estándar 650,2013, sección E.3.1), sostiene que el grupo de uso sísmico (SUG) para el tanque será especificado por el comprador. Si no se especifica, será asignado para ser el SUG I así mismo el factor de importancia lo define el SUG.

Tabla 14. Factor de importancia.

| Seismic Use Group | <i>I</i> |
|-------------------|----------|
| I | 1.0 |
| II | 1.25 |
| III | 1.5 |

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-16. Ver anexo 11.

Haciendo uso de la tabla 14, el factor de importancia para nuestro caso es $I = 1.0$

- **Factor de modificación de respuesta**

Según (API estándar 650,2013, sección E.5.1.1), indica que el factor de modificación de respuesta para tanques de almacenamiento de líquidos, diseñados y detallados de acuerdo con estas disposiciones deberá ser igual o menor que los valores mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 15. Factor de modificación de respuesta.

| Anchorage system | R_{wi} (impulsive) | R_{wc} (convective) |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Self-anchored | 3.5 | 2 |
| Mechanically-anchored | 4 | 2 |

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-15.

Para el presente diseño del tanque vertical se llegará considerar sin anclajes mecánicos, de la tabla 15 el factor de modificación de respuesta impulsiva es $R_{wi} = 3.5$ y el factor de modificación de respuesta convectiva es $R_{wc} = 2$.

- **Construcción del espectro de diseño**

Según (API estándar 650,2013, sección E.4.3), el espectro de diseño es calculado como está establecido para lugares fuera de norte américa, para la máxima aceleración del suelo.

$$S_s = 2.5(S_p) \quad (48)$$

$$S_1 = 1.25(S_p) \quad (49)$$

Donde:

S_s = aceleración espectral para periodo corto (g) ($T = 0.2s$).

S_1 = aceleración espectral para periodo largo (g) ($T = 1s$).

S_p = aceleración máxima del suelo (g).

Utilizando el factor de zona de la tabla 5, la aceleración máxima del suelo queda expresada de la siguiente forma:

$$S_p = 0.45g \quad (50)$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad $\frac{m}{s^2}$

Calculo de la aceleración espectral para periodo corto

En (48):

$$S_s = 2.5 \times 0.45g$$

$$S_s = 1.125g$$

Calculo de la aceleración espectral para periodo largo

En (49):

$$S_1 = 1.25 \times 0.45g$$

$$S_1 = 0.563g$$

- **Coefficientes de sitio para periodo corto y periodo largo**
Según (API estándar 650,2013, sección E.4.4), para determinar los coeficientes de sitio para periodo corto (F_a) y largo (F_v) utilizamos las tablas 16 y 17, si las propiedades de suelo no se conocen al detalle, la clase de sitio será asumida como D.

Tabla 16. Valor de periodo corto en función de la clase de sitio.

| Site Class | Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Accelerations at Short Periods | | | | |
|------------|---|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0.25$ | $S_s = 0.50$ | $S_s = 0.75$ | $S_s = 1.0$ | $S_s \geq 1.25$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | a | a | a | a | a |

^a Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-9.

Para nuestro diseño la clase de sitio será D, de la tabla 16 determinamos el coeficiente de sitio para periodo corto con el valor calculado de la aceleración espectral $S_s = 1.125g$ llegando a obtener $F_a = 1.05$

Tabla 17. Valor de periodo largo en función de la clase de sitio.

| Site Class | Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Accelerations at 1 Sec Periods | | | | |
|------------|---|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_1 \leq 0.1$ | $S_1 = 0.2$ | $S_1 = 0.3$ | $S_1 = 0.4$ | $S_1 \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| D | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| E | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| F | a | a | a | a | a |

^a Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-9.

Para nuestro diseño la clase de sitio será D, de la tabla 17 determinamos el coeficiente de sitio para periodo largo con el valor calculado de la aceleración espectral $S_1 = 0.563g$ llegando a obtener $F_v = 1.5$

Según (API estándar 650,2013, sección E.4.2), menciona las notaciones y el modelo matemático para determinar el diseño de la aceleración espectral para periodo corto y largo además el cálculo para el periodo inicial y final.

$$S_{Ds} = QF_a S_s \quad (51)$$

$$S_{D1} = QF_v S_1 \quad (52)$$

Donde:

S_{Ds} = diseño de la aceleración espectral para periodo corto (g).

S_{D1} = diseño de la aceleración espectral para periodo largo (g).

F_a = coeficiente de sitio para periodo corto.

F_v = coeficiente de sitio para periodo largo.

Q = factor de escala.

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (53)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (54)$$

Donde:

T_0 = periodo de inicio (s).

T_s = periodo final (s).

Para determinar el factor de escala, en Perú no es necesario el escalamiento debido a que la máxima aceleración efectiva ya se encuentra escalada.

$$Q = 1.00$$

En (51):

Se tiene $F_a=1.05$, $Q=1.00$, $S_s=1.125g$

$$S_{Ds} = 1 \times 1.05 \times 1.125g$$

$$S_{Ds} = \mathbf{1.181g}$$

En (52):

Se tiene $F_v=1.5$, $Q=1.00$, $S_1=0.563g$

$$S_{D1} = 1 \times 1.5 \times 0.563g$$

$$S_{D1} = \mathbf{0.845g}$$

En (53):

Se tiene $S_{d1}=0.845g$, $S_{ds}=1.181g$

$$T_0 = 0.2 \frac{0.845g}{1.181g}$$

$$T_0 = 0.143 \text{ s}$$

En (54):

Se tiene $S_{d1}=0.845g$, $S_{ds}=1.181g$

$$T_s = \frac{0.845g}{1.181g}$$

$$T_s = 0.715 \text{ s}$$

En la tabla 18, se detallan los valores para la carga de sismo y de la presión del viento de diseño.

Tabla 18. Valores de la carga de sismo y presión de viento de diseño.

| | |
|--|-----------------------|
| Presión del viento de diseño P_{ws} | 0.152 kpa |
| Factor de importancia I | 1.0 |
| Factor de modificación de respuesta impulsiva R_{wi} | 3.5 |
| Factor de modificación de respuesta convectiva R_{wc} | 2.0 |
| Aceleración espectral para periodo corto S_s | 1.125g |
| Aceleración espectral para periodo largo S_1 | 0.563g |
| Aceleración máxima del suelo S_p | 0.45g |
| Coefficiente de sitio para periodo corto F_a | 1.05 |
| Coefficiente de sitio para periodo largo F_v | 1.5 |
| Factor de escala Q | 1.0 |
| Diseño de la aceleración espectral para periodo corto S_{Ds} | 1.181g |
| Diseño de la aceleración espectral para periodo largo S_{D1} | 0.845g |
| Periodo de inicio T_0 | 0.143 segundos |
| Periodo final T_s | 0.715 segundos |

Con toda la información calculada se construye el siguiente espectro de pseudo aceleraciones.

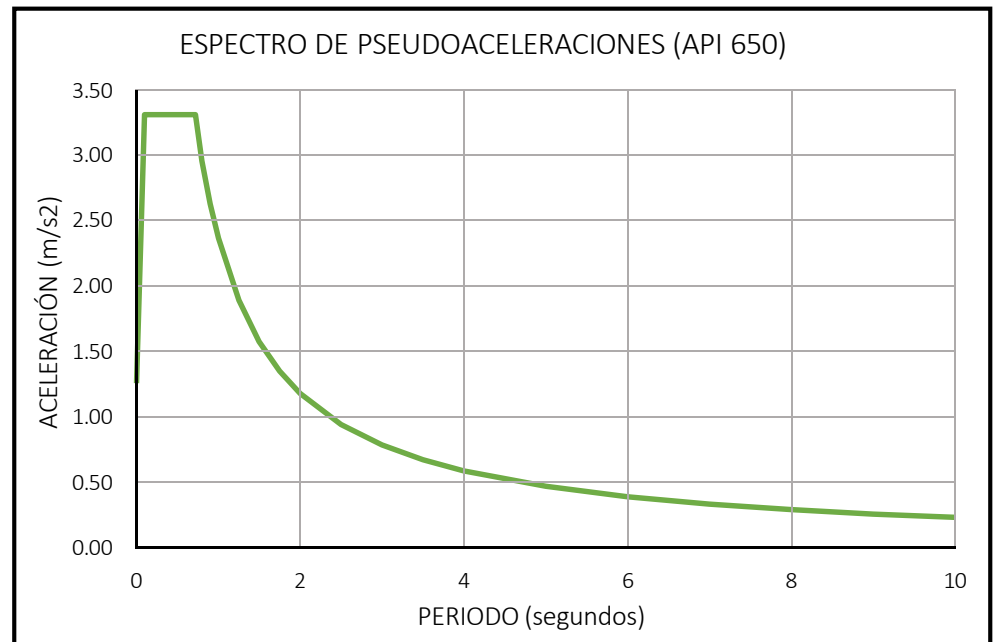


Figura 31. Espectro de pseudo aceleraciones.

- **Metrado de cargas**

- **Calculo del área de los elementos principales del tanque vertical**

- ✓ **Área de cada anillo del casco**

$$A_c = WL \quad (55)$$

Donde:

A_c = área de cada anillo del casco (m²).

W = ancho real de cada anillo (m).

L = largo de desarrollo de cada anillo (m).

Para nuestro tanque vertical el ancho real de cada anillo es $W = 2 \text{ m}$ y el largo de desarrollo de cada anillo es $L = 15 \times \pi = 47.1 \text{ m}$.

De la tabla 3 se visualiza que el ancho real de cada anillo es constante y el largo del desarrollo es uniforme para cada anillo.

En (55):

$$A_c = 2 \times 47.1$$

$$A_c = 94.25 \text{ m}^2$$

- ✓ **Área del techo**

$$A_T = \pi r g + \pi r^2 \quad (56)$$

A_T = área del techo (m²).

r = radio del tanque (m).

g = generatriz del techo (m).

De la tabla 2 el diámetro del tanque vertical es 15m, el radio es la mitad del diámetro $r = 7.5 \text{ m}$ y la generatriz se llegará determinar con el ángulo $\theta = 9.5^\circ$ mencionado de la tabla 13.

$$\cos 9.5^\circ = \frac{7.5}{g}$$

$$g = 7.6 \text{ m}$$

En (56):

$$A_T = \pi \times 7.5 \times 7.6 + \pi 7.5^2$$

$$A_T = 355.79 \text{ m}^2$$

✓ **Área de la base**

$$A_B = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \quad (57)$$

A_B = área de la base (m²).

D = diámetro del tanque (m).

De la tabla 2 el diámetro del tanque vertical es 15 m.

En (57):

$$A_B = \left(\frac{\pi \times 15^2}{4}\right)$$

$$A_B = 176.71 \text{ m}^2$$

En la tabla 19 se detalla las cantidades de las áreas determinadas.

Tabla 19. Área de cada elemento del tanque vertical.

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Área de cada anillo del casco A_C | 94.25 m ² . |
| Área del techo A_T | 355.79 m ² . |
| Área de la base A_B | 176.71 m ² . |

• **Carga muerta**

- **Peso del casco W_s**

$$W_s = A_C \sum e_A \gamma_{A36} \quad (58)$$

Donde:

W_s = peso del casco (tnf).

A_C = área de cada anillo del casco (m²).

$\sum e_A$ = suma de espesores de cada anillo del casco (mm).

γ_{A36} = peso específico del acero A36 (Kgf/m³).

Haciendo uso de la tabla 5 el peso específico del acero A36 es

$\gamma = 7850 \frac{kgf}{m^3}$ en la tabla 13 encontramos los espesores de los anillos que componen el casco donde $\sum e_A = 62mm$ de igual forma en la tabla 19 se detalla el área de cada anillo del casco $A_C = 94.25 m^2$.

En (58):

$$W_s = 94.25 \times 62 \times 7850$$

$$W_s = 45.87 tnf$$

- **Peso del techo W_r**

$$W_r = A_T e_t \gamma_{A36} \quad (59)$$

Donde:

W_r = peso del techo (tnf).

A_T = área del techo (m²).

e_t = espesor del techo auto soportado (mm).

γ_{A36} = peso específico del acero A36 (Kgf/m³).

En la tabla 19 se menciona el área del techo que es $A_T = 355.79 m^2$, de la tabla 5 rescatamos el peso específico del acero A36 es $\gamma = 7850 \frac{kgf}{m^3}$ y en la tabla 13 se especifica el espesor del techo con el siguiente valor $e_t = 6 mm$.

En (59):

$$W_r = 355.79 \times 6 \times 7850$$

$$W_r = 16.76 tnf$$

- **Peso de la base W_f**

$$W_f = A_B e_B \gamma_{A36} \quad (60)$$

Donde:

W_f = peso de la base (tnf).

A_B = área de la base (m²).

e_B = espesor de la base (mm).

γ_{A36} = peso específico del acero A36 (Kgf/m³).

El espesor de la base del tanque es $e_B = 8 mm$, de la tabla 5

se menciona el peso específico del A36 $\gamma = 7850 \frac{kgf}{m^3}$ y en la tabla 19 se visualiza que el área de la base es $A_B = 176.71 m^2$.
En (60):

$$W_f = 176.71 \times 8 \times 7850$$

$$W_f = 11.09 \text{ tnf}$$

En la tabla 20 se detalla los pesos determinados de la carga muerta.

Tabla 20. Peso de cada elemento del tanque vertical.

| | |
|-----------------------|------------|
| Peso del casco W_s | 45.87 tnf. |
| Peso del techo W_r | 16.76 tnf. |
| Peso de la base W_f | 11.09 tnf. |

La carga muerta es la suma del peso del casco, techo y base obteniendo como resultado 73.72 tnf.

- **Carga viva**

- **Peso mínimo sobre el techo L_r**

Según (API estándar 650,2013, sección 5.2.1.f), menciona que la carga aplicada sobre una proyección horizontal del techo es de 1 kpa.

$$L_r = \text{carga aplicada} \times \text{area de la proyección horizontal} \quad (61)$$

El área de la proyección horizontal es una figura de forma rectangular de lado 15m y 12m. entonces nuestra área de proyección horizontal es 180m².

En (61):

$$L_r = 1 \times 180 \times \frac{1kgf}{9.81N}$$

$$L_r = 18.34 \text{ tonf}$$

- **Carga de viento**

$$W = P_{ws} \times \text{area de la proyección vertical (62)}$$

Donde:

W = carga de viento total (tnf).

P_{ws} = presión del viento de diseño (kpa).

El área de la proyección vertical es una figura de forma cuadrada de lado $15m$ por ende la medida de dicha área es $225m^2$, en la tabla 18 la presión del viento de diseño es $P_{ws} = 0.152kpa$.

En (62):

$$W = 0.152 \times 225 \times \frac{1kgf}{9.81N}$$
$$W = 3.49 \text{ tonf}$$

- **Carga de líquido almacenado**

$$W_p = V \times \gamma_{H_2SO_4} \text{ (63)}$$

Donde:

W_p = peso total del producto (tnf).

$\gamma_{H_2SO_4}$ = peso específico del ácido sulfúrico (Kgf/m³).

V = capacidad del tanque vertical (m³).

En la tabla 2 obtenemos la capacidad del tanque vertical de $1870m^3$ así mismo en la tabla 5 el peso específico del ácido sulfúrico es

$$\gamma_{H_2SO_4} = 1830 \frac{kgf}{m^3}$$

En (63):

$$W_p = 1870 \times 1830$$

$$W_p = 3422.1 \text{ tnf}$$

- **Peso efectivo de líquido almacenado**

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.1.1), el cálculo para los pesos efectivos se llegará determinar con las siguientes ecuaciones:

Si se cumple $1.33 \leq \left(\frac{D}{H}\right)$, el peso efectivo del líquido impulsivo (W_i) se define en la ecuación:

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.866 \frac{D}{H}\right)}{\left(0.866 \frac{D}{H}\right)} W_p \quad (64)$$

Si se cumple $\left(\frac{D}{H}\right) < 1.33$, el peso efectivo del líquido impulsivo (W_i) se define en la ecuación:

$$W_i = \left(1.0 - 0.218 \frac{D}{H}\right) W_p \quad (65)$$

El peso efectivo del líquido convectivo (W_c) se define en la ecuación:

$$W_c = 0.230 \frac{D}{H} \tanh\left(\frac{3.67H}{D}\right) W_p \quad (66)$$

Donde:

W_p = peso total del producto (tnf).

W_i = peso efectivo del líquido impulsivo (tnf).

W_c = peso efectivo del líquido convectivo (tnf).

D = diámetro del tanque vertical (tnf).

H = altura del tanque vertical (tnf).

El peso total del producto es $W_p = 3422.1 \text{ tnf}$ y de la tabla 2 el diámetro es 15m y la altura es 12m así mismo la relación $\left(\frac{D}{H}\right) = 1.25$ entonces usamos la ecuación 65.

En (65):

$$W_i = \left(1.0 - 0.218 \times \frac{15}{12}\right) \times 3422.1$$

$$W_i = 2489.58 \text{ tnf}$$

En (66):

$$W_c = 0.230 \times \frac{15}{12} \tanh\left(\frac{3.67 \times 12}{15}\right) 3422.1$$

$$W_c = 978.33 \text{ tnf}$$

En la tabla 21 se detallan las cargas de diseño (muerta, viva, viento y líquido).

Tabla 21. Cargas de diseño.

| | |
|--|--------------|
| Carga muerta ($W_s + W_r + W_f$) | 73.72 tnf. |
| Carga viva L_r | 18.34 tnf. |
| Carga de viento W | 3.49 tnf. |
| Carga de líquido almacenado W_p | 3422.1 tnf. |
| Peso efectivo del líquido impulsivo W_i | 2489.58 tnf. |
| Peso efectivo del líquido convectivo W_c | 978.33 tnf. |

Nota: Ver anexo 12.

- **Análisis estructural**

Según (API estándar 650,2013, sección E.7.2), en primer lugar, calculamos la altura libre que debe existir para el oleaje del líquido almacenado y que permitirá obtener la capacidad real del tanque y las masas que influirán en el análisis dinámico del tanque. Los cálculos se realizan utilizando la siguiente fórmula:

$$\delta_s = 0.42DA_f \quad (67)$$

Donde:

δ_s = altura libre (m).

D = diámetro del tanque vertical (m).

A_f = coeficiente de aceleración de altura libre (g).

Tabla 22. Requisitos mínimos para la altura libre.

| Value of S_{DS} | SUG I | SUG II | SUG III |
|---------------------|-------|-------------------|----------------|
| $S_{DS} < 0.33g$ | (a) | (a) | δ_s (c) |
| $S_{DS} \geq 0.33g$ | (a) | $0.7\delta_s$ (b) | δ_s (c) |

a. A freeboard of $0.7\delta_s$ is recommended for economic considerations but not required.
b. A freeboard equal to $0.7\delta_s$ is required unless one of the following alternatives are provided.
1. Secondary containment is provided to control the product spill.
2. The roof and tank shell are designed to contain the sloshing liquid.
c. Freeboard equal to the calculated wave height, δ_s , is required unless one of the following alternatives are provided.
1. Secondary containment is provided to control the product spill.
2. The roof and tank shell are designed to contain the sloshing liquid.

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-27.

Para SUG I y II;

Cuando, $T_c \leq 4$, el coeficiente de aceleración de altura libre (A_f) se define en la ecuación:

$$A_f = KS_{D1}I \left(\frac{1}{T_c}\right) \quad (68)$$

Cuando, $T_c > 4$, el coeficiente de aceleración de altura libre (A_f) se define en la ecuación:

$$A_f = KS_{D1}I \left(\frac{4}{T_c}\right) \quad (69)$$

Donde:

I = factor de importancia.

K = coeficiente para ajustar la aceleración espectral.

A_f = coeficiente de aceleración de altura libre (g).

S_{D1} = diseño de la aceleración espectral para periodo largo (g).

T_c = periodo convectivo de la altura libre (s).

Según (API estándar 650,2013, sección E.4.5.2), sostiene que el periodo y el coeficiente convectivo de la altura libre se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

$$T_c = 1.8K_s\sqrt{D} \quad (70)$$

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68H}{D}\right)}} \quad (71)$$

Donde:

T_c = periodo convectivo de la altura libre (s).

K_s = coeficiente del periodo convectivo de la altura libre.

A_f = coeficiente de aceleración de altura libre (g).

D = diámetro del tanque vertical (m).

H = altura del tanque vertical (m).

Para determinar el coeficiente del periodo convectivo de la altura libre utilizamos la tabla 2, el diámetro del tanque es $D = 15m$ y la altura del tanque es $H = 12m$.

En (71):

$$K_s = \frac{0.578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3.68 \times 12}{15}\right)}}$$

$$K_s = 0.58$$

En (70):

$$T_c = 1.8 \times 0.58 \times \sqrt{15}$$

$$T_c = 4.04 \text{ s}$$

Para el cálculo del coeficiente de aceleración de la altura libre utilizamos la tabla 18, el factor de importancia es $I = 1$ y el diseño de la aceleración espectral para periodo largo es $S_{D1} = 0.845g$, para nuestro diseño el coeficiente para ajustar la aceleración espectral será $K = 1.5$.

Como $T_c = 4.04 > 4$

En (69):

$$A_f = 1.5 \times 0.845 \times 1 \times \left(\frac{4}{4.04^2}\right)$$

$$A_f = 0.31g$$

Para determinar la altura libre, de la tabla 2 el diámetro del tanque es $D = 15m$ y el coeficiente de aceleración de la altura libre calculado es $A_f = 0.31g$.

En (67):

$$\delta_s = 0.42 \times 15 \times 0.31g$$

$$\delta_s = 1.95m$$

Para cumplir los requisitos mínimos de la altura libre en la tabla 22, utilizamos la tabla 18 donde el diseño de la aceleración espectral para periodo corto es $S_{Ds} = 1.181g$ y el factor de importancia es $I = 1$ por ende el grupo de uso sísmico es $SUG = I$.

De la tabla 22, el ítem a menciona:

$$la\ altura\ libre = 0.7 \times \delta_s$$

$$la\ altura\ libre = 0.7 \times 1.95$$

$$la\ altura\ libre = 1.36 \approx 1.40m$$

En la tabla 23 se menciona los valores determinado para la altura libre.

Tabla 23. Valores para altura libre.

| | |
|---|----------------|
| Altura libre δ_s | 1.40 m. |
| coeficiente de aceleración de altura libre A_f | 0.31g. |
| coeficiente para ajustar la aceleración espectral K | 1.5 |
| periodo convectivo de la altura libre T_c | 4.04 segundos. |
| coeficiente del periodo convectivo de la altura libre K_s | 0.58 |

Por lo tanto, se requiere una altura de 1.40 m sobre el nivel del líquido almacenado para permitir el oleaje producido por cargas laterales.

- **Análisis dinámico**

Se realiza el análisis dinámico modal espectral utilizando el espectro inelástico de pseudo aceleraciones construido según API estándar 650.

- **Periodo fundamental**

Para calcular los periodos fundamentales de la estructura, primero se establecen las alturas en las que se consideran las masas impulsivas y convectivas del tanque.

Según (API estándar 650, 2013, sección E.6.1.2.1), para determinar la altura convectiva e impulsiva se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

Cuando, $\frac{D}{H} \geq 1.33$, la altura impulsiva (X_i) se define en la ecuación:

$$X_i = 0.375 \quad (72)$$

Cuando, $\frac{D}{H} < 1.33$, la altura impulsiva (X_i) se define en la ecuación:

$$X_i = (0.5 - 0.094 \frac{D}{H}) H \quad (73)$$

La altura convectiva (X_c) se define en la ecuación:

$$X_c = [1 - \frac{\cosh \frac{3.67H}{D} - 1}{\frac{3.67H}{D} \sinh \frac{3.67H}{D}}] H \quad (74)$$

Donde:

X_i = altura impulsiva (m).

X_c = altura convectiva (m).

H = altura de tanque vertical (m).

D = diámetro de tanque vertical (m).

De la tabla 2, el diámetro del tanque es $D = 15m$ y la altura del tanque es $H = 12m$ entonces la relación $\frac{D}{H} = 1.25$.

En (73):

$$X_i = (0.5 - 0.094 \times \frac{15}{12}) \times 12$$

$$X_i = 4.59m$$

En (74):

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3.67 \times 12}{15}\right) - 1}{\frac{3.67 \times 12}{15} \times \sinh\left(\frac{3.67 \times 12}{15}\right)} \right] \times 12$$

$$X_c = 8.32m$$

El esquema del cálculo se muestra en la siguiente figura:

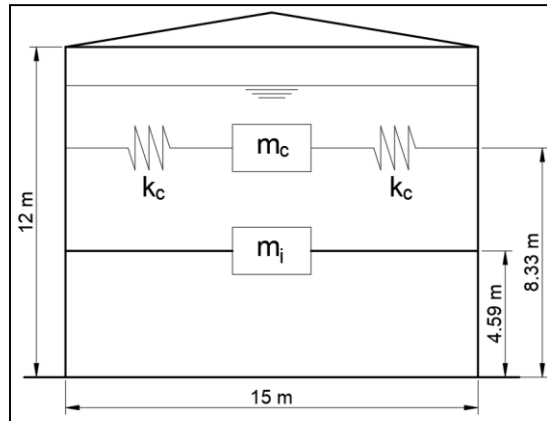


Figura 32. Altura impulsiva y convectiva del tanque vertical.

- **Aceleraciones y cortante basal**

Los coeficientes de las aceleraciones impulsiva (A_i) y convectiva (A_c), nos sirven para calcular el cortante dinámico en la base y los esfuerzos dinámicos producidos en el casco del tanque.

Según (API estándar 650,2013, sección E.4.6.1), para determinar los coeficientes de las aceleraciones impulsiva y convectiva se calculará mediante las siguientes ecuaciones: El coeficiente de la aceleración impulsiva (A_i) se define en la ecuación:

$$A_i = S_{Ds} \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \quad (75)$$

Cuando, $T_c \leq T_L$, el coeficiente de la aceleración convectiva (A_c) se define en la ecuación:

$$A_c = K S_{D1} \left(\frac{1}{T_c}\right) \left(\frac{I}{R_{wc}}\right) \quad (76)$$

Cuando, $T_c > T_L$, el coeficiente de la aceleración convectiva (A_c) se define en la ecuación:

$$A_c = K S_{D1} \left(\frac{T_L}{T_c^2}\right) \left(\frac{I}{R_{wc}}\right) \quad (77)$$

Donde:

A_i = coeficiente de la aceleración impulsiva (g).

A_c = coeficiente de la aceleración convectiva (g).

I = factor de importancia.

K = coeficiente para ajustar la aceleración espectral.

S_{Ds} = diseño de la aceleración espectral para periodo corto (g).

S_{D1} = diseño de la aceleración espectral para periodo largo (g).

T_c = periodo convectivo de la altura libre (s).

T_L = periodo de transición para periodo largo (s).

R_{wi} = factor de modificación de respuesta impulsiva.

R_{wc} = factor de modificación de respuesta convectiva.

Para el presente diseño el periodo de transición para periodo largo es $T_L = 4$ s, de la tabla 23 el periodo convectivo de la altura libre es $T_c = 4.04$ s y el coeficiente para ajustar la aceleración espectral es $K = 1.5$ así mismo en la tabla 18 el factor de importancia es $I = 1$, el diseño de la aceleración espectral para periodo corto es $S_{Ds} = 1.181g$, el diseño de la aceleración espectral para periodo largo es $S_{D1} = 0.845g$, el factor de modificación de respuesta impulsiva es $R_{wi} = 3.5$ y el factor de modificación de respuesta convectiva es $R_{wc} = 2$.

Como $T_c = 4.04$ s $>$ $T_L = 4$ s

En (77):

$$A_c = 1.5 \times 0.845g \times \left(\frac{4}{4.04^2}\right) \times \left(\frac{1}{2}\right)$$
$$A_c = 0.155g$$

En (75):

$$A_i = 1.181g \times \left(\frac{1}{3.5}\right)$$
$$A_i = 0.337g$$

En la tabla 24 se menciona los valores determinado de los coeficientes de las aceleraciones.

Tabla 24. Valores de los coeficientes de las aceleraciones.

| | |
|---|---------|
| Coefficiente de la aceleración impulsiva A_i | 0.337g. |
| Coefficiente de la aceleración convectiva A_c | 0.155g. |

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.1), para determinar la cortante basal, dinámica impulsiva y convectiva se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad (78)$$

$$V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i) \quad (79)$$

$$V_c = A_c W_c \quad (80)$$

Donde:

V = cortante basal (tnf).

V_i = cortante dinámica impulsiva (tnf).

V_c = cortante dinámica convectiva (tnf).

A_i = coeficiente de la aceleración impulsiva (g).

A_c = coeficiente de la aceleración convectiva (g).

W_s = peso del casco (tnf).

W_r = peso del techo (tnf).

W_f = peso de la base (tnf).

W_i = peso efectivo del líquido impulsivo (tnf).

W_c = peso efectivo del líquido convectivo (tnf).

Para determinar la cortante basal, dinámica impulsiva y convectiva utilizamos la tabla 21 donde el peso efectivo del líquido impulsivo es $W_i = 2489.58 \text{ tnf}$ y el peso efectivo del líquido convectivo es $W_c = 978.33 \text{ tnf}$ así mismo de la tabla 20 el peso del casco es $W_s = 45.87 \text{ tnf}$, peso del techo es $W_r = 16.76 \text{ tnf}$ y el peso de la base es $W_f = 11.09 \text{ tnf}$ para finalizar en la tabla 24 menciona que el coeficiente de la aceleración impulsiva es $A_i = 0.337g$ y el coeficiente de la aceleración convectiva es $A_c = 0.155g$.

En (79):

$$V_i = 0.337g \times (45.87 \text{ tnf} + 16.76 \text{ tnf} + 11.09 \text{ tnf} + 2489.58 \text{ tnf})$$
$$V_i = 863.83 \text{ tnf}$$

En (80):

$$V_c = 0.155g \times 978.33 \text{ tnf}$$
$$V_c = 151.64 \text{ tnf}$$

En (78):

$$V = \sqrt{863.83^2 + 151.64^2}$$
$$V = 877.04 \text{ tnf}$$

En la tabla 25 se menciona los valores determinado de la cortante basal, dinámica impulsiva y convectiva.

Tabla 25. Valores de la cortante basal.

| | |
|------------------------------------|------------|
| Cortante basal V | 877.04 tnf |
| Cortante dinámica impulsiva V_i | 863.83 tnf |
| Cortante dinámica convectiva V_c | 151.64 tnf |

- **Esfuerzos en el casco del tanque vertical**

- **Esfuerzos dinámicos anulares de tensión**

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.1.4), para determinar los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas impulsivas y convectivas se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_i = 5.22A_iGD^2 \left[\frac{Y}{0.75D} - 0.5 \left(\frac{Y}{0.75D} \right)^2 \right] \quad (81)$$

$$N_c = \frac{1.85A_c GD^2 \cosh \left[\frac{3.68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68H}{D} \right)} \quad (82)$$

Donde:

N_i = esfuerzo impulsivo en la membrana del casco (N/mm).

N_c = esfuerzo convectivo en la membrana del casco (N/mm).

A_i = coeficiente de la aceleración impulsiva (g).

A_c = coeficiente de la aceleración convectiva (g).

G = gravedad específica del líquido.

H = altura del tanque vertical (m).

D = diámetro del tanque vertical (m).

Y = distancia desde la superficie del líquido al punto de análisis (positivo hacia abajo) (m).

De la tabla 23, la altura libre calculada del líquido es $\delta_s = 1.40 \text{ m}$ así mismo en la tabla 3 se tiene el ancho de cada anillo del casco del tanque vertical que es $W = 2 \text{ m}$ que es constante para los seis anillos. Construimos las distancias desde la superficie del líquido para cada anillo del tanque vertical en la siguiente tabla.

Tabla 26. Valores de la distancia desde la superficie del líquido al punto de análisis.

| Anillo | $Y(m)$ |
|----------|--------|
| Numero 6 | 0.60 |
| Numero 5 | 2.60 |
| Numero 4 | 4.60 |
| Numero 3 | 6.60 |
| Numero 2 | 8.60 |
| Numero 1 | 10.60 |

En la tabla 24, tenemos los valores de los coeficientes de las aceleraciones impulsiva $A_i = 0.337g$ y convectiva $A_c = 0.155g$, de la tabla 2 obtenemos la altura $H = 12 m$ y el diámetro $D = 15 m$ del tanque vertical. En la tabla 6 se define la gravedad específica de la sustancia es $G = 1.83$.

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°1**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{10.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{10.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 360.95 \frac{N}{mm}$$

✓ **Esfuerzo convectivo en la membrana del casco**

✓ En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 10.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 13.14 \frac{N}{mm}$$

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°2**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{8.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{8.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 342.07 \frac{N}{mm}$$

✓

Esfuerzo convectivo en la membrana del casco

En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 8.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 16.97 \frac{N}{mm}$$

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°3**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{6.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{6.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 300.29 \frac{N}{mm}$$

✓

Esfuerzo convectivo en la membrana del casco

En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 6.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 24.97 \frac{N}{mm}$$

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°4**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{4.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{4.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 235.62 \frac{N}{mm}$$

✓

Esfuerzo convectivo en la membrana del casco

En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 4.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 39.09 \frac{N}{mm}$$

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°5**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{2.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{2.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 148.06 \frac{N}{mm}$$

✓

Esfuerzo convectivo en la membrana del casco

En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 2.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 62.84 \frac{N}{mm}$$

- **Calculo de los esfuerzos dinámicos para el anillo N°6**

✓ **Esfuerzo impulsivo en la membrana del casco**

En (81):

$$N_i = 5.22 \times 0.337g \times 1.83 \times 15^2 \times \left[\frac{0.6}{0.75 \times 15} - 0.5 \left(\frac{0.6}{0.75 \times 15} \right)^2 \right]$$

$$N_i = 37.60 \frac{N}{mm}$$

✓

Esfuerzo convectivo en la membrana del casco

En (82):

$$N_c = \frac{1.85 \times 0.155g \times 1.83 \times 15^2 \times \cosh \left[\frac{3.68 \times (12 - 0.6)}{15} \right]}{\cosh \left(\frac{3.68 \times 12}{15} \right)}$$

$$N_c = 102.00 \frac{N}{mm}$$

En la tabla 27 se detallan los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas impulsivas y convectivas.

Tabla 27. Valores de los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas.

| Anillo | $N_i(N/mm)$ | $N_c(N/mm)$ |
|----------|-------------|-------------|
| Numero 6 | 37.60 | 102.00 |
| Numero 5 | 148.06 | 62.84 |
| Numero 4 | 235.62 | 39.09 |
| Numero 3 | 300.29 | 24.97 |
| Numero 2 | 342.07 | 16.97 |
| Numero 1 | 360.95 | 13.14 |

- **Esfuerzos estáticos anulares de tensión**

Los esfuerzos anulares producto de la presión hidrostática del líquido se calcularán mediante la siguiente ecuación:

$$N_h = \frac{9.81GDY}{2} \quad (83)$$

Donde:

N_h = esfuerzo de la presión hidrostática del líquido (N/mm).

G = gravedad específica del líquido.

D = diámetro del tanque vertical (m).

Y = distancia desde la superficie del líquido al punto de análisis (positivo hacia abajo) (m).

La gravedad específica del líquido es 1.83 en la tabla 2 se detalla el diámetro del tanque vertical $D = 15 \text{ m}$ y en la tabla 26 tenemos los valores de la distancia desde la superficie del líquido al punto de análisis.

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°1**

En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 10.6}{2}$$
$$N_h = 1427.21 \frac{N}{mm}$$

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°2**

En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 8.6}{2}$$
$$N_h = 1157.92 \frac{N}{mm}$$

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°3**

En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 6.6}{2}$$
$$N_h = 888.64 \frac{N}{mm}$$

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°4**

En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 4.6}{2}$$

$$N_h = 619.35 \frac{N}{mm}$$

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°5**

✓ En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 2.6}{2}$$

$$N_h = 350.07 \frac{N}{mm}$$

✓ **Calculo del esfuerzo de la presión hidrostática del líquido para el anillo N°6**

En (83):

$$N_h = \frac{9.81 \times 1.83 \times 15 \times 0.6}{2}$$

$$N_h = 80.79 \frac{N}{mm}$$

En la tabla 28 se detallan los esfuerzos de la presión hidrostática del líquido en los anillos.

Tabla 28. Valores de los esfuerzos debido a la presión hidrostática del líquido.

| Anillo | $N_h(N/mm)$ |
|----------|-------------|
| Numero 6 | 80.79 |
| Numero 5 | 350.07 |
| Numero 4 | 619.35 |
| Numero 3 | 888.64 |
| Numero 2 | 1157.92 |
| Numero 1 | 1427.21 |

- **Esfuerzos combinados anulares de tensión**

Según (API estándar 650, 2013, sección E.6.1.4), para determinar los esfuerzos combinados anulares de tensión se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t} \quad (84)$$

Donde:

σ_T = esfuerzo combinado anular de tensión (N/mm²).

N_i = esfuerzo impulsivo en la membrana del casco (N/mm).

N_c = esfuerzo convectivo en la membrana del casco (N/mm).

N_h = esfuerzo de la presión hidrostática del líquido (N/mm).

t = espesor de los anillos del casco (mm).

En la tabla 28 se detalla los valores de los esfuerzos debido a la presión hidrostática del líquido, de la tabla 27 se visualiza los valores de los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas y en la tabla 13 encontramos los espesores de los anillos del tanque vertical.

✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°1**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{1427.21 \pm \sqrt{360.95^2 + 13.14^2}}{16.5}$$

$$\sigma_T = 108.39 \frac{N}{mm^2}$$

✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°2**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{1157.92 \pm \sqrt{342.07^2 + 16.97^2}}{13.00}$$

$$\sigma_T = 115.42 \frac{N}{mm^2}$$

- ✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°3**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{888.64 \pm \sqrt{300.29^2 + 24.97^2}}{9.5}$$
$$\sigma_T = 125.26 \frac{N}{mm^2}$$

- ✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°4**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{619.35 \pm \sqrt{235.62^2 + 39.09^2}}{9.00}$$
$$\sigma_T = 95.35 \frac{N}{mm^2}$$

- ✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°5**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{350.07 \pm \sqrt{148.06^2 + 62.84^2}}{8.00}$$
$$\sigma_T = 63.86 \frac{N}{mm^2}$$

- ✓ **Calculo del esfuerzo combinado anular de tensión para el anillo N°6**

En (84):

$$\sigma_T = \frac{80.79 \pm \sqrt{37.6^2 + 102.00^2}}{6.00}$$
$$\sigma_T = 31.58 \frac{N}{mm^2}$$

En la tabla 29 se detallan los esfuerzos combinados de anulares de tensión.

Tabla 29. Valores de los esfuerzos combinados de los anillos anulares de tensión.

| Anillo | $\sigma_T(N/mm^2)$ |
|----------|--------------------|
| Numero 6 | 31.58 |
| Numero 5 | 63.86 |
| Numero 4 | 95.35 |
| Numero 3 | 125.26 |
| Numero 2 | 115.42 |
| Numero 1 | 108.39 |

- **Diseño del casco del tanque**

Verificamos los esfuerzos calculados con los esfuerzos admisibles del A36.

Tabla 30. Tensiones permitidas para diferentes materiales.

| Plate Specification | Grade | Nominal Plate Thickness t mm | Minimum Yield Strength MPa | Minimum Tensile Strength MPa | Product Design Stress S_d MPa | Hydrostatic Test Stress S_t MPa |
|----------------------------|-------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| ASTM Specifications | | | | | | |
| A283M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A285M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A131M | A, B | | 235 | 400 | 157 | 171 |
| A36M | — | | 250 | 400 | 160 | 171 |
| A131M | EH 36 | | 360 | 490 ^a | 196 | 210 |

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, 5-18.

Con el esfuerzo admisible para el material utilizado, verificamos la relación (ratio) de diseño: de la tabla 29 se menciona los esfuerzos combinados anulares de tensión σ_T y en la tabla 30 se visualiza el esfuerzo de diseño del A36 = 160Mpa.

$$\text{ratio de diseño} = \frac{\sigma_T}{\text{esfuerzo de diseño A36}} \quad (85)$$

✓ **Calculo de la relación de diseño para el anillo N°1**

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{108.39}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.68$$

✓ **Calculo de la relación de diseño para el anillo N°2**

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{115.42}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.72$$

✓ **Calculo de la relación de diseño para el anillo N°3**

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{125.26}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.78$$

✓

Calculo de la relación de diseño para el anillo N°4

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{95.35}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.59$$

✓

Calculo de la relación de diseño para el anillo N°5

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{63.86}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.39$$

✓ **Calculo de la relación de diseño para el anillo N°6**

En (85):

$$\text{ratio de diseño} = \frac{31.58}{160}$$

$$\text{ratio de diseño} = 0.19$$

En la tabla 31 se detallan las relaciones de diseño del casco del tanque vertical.

Tabla 31. Valores de la relación de diseño.

| Anillo | <i>ratio de diseño</i> |
|----------|------------------------|
| Numero 6 | 0.19 |
| Numero 5 | 0.39 |
| Numero 4 | 0.59 |
| Numero 3 | 0.78 |
| Numero 2 | 0.72 |
| Numero 1 | 0.68 |

Las relaciones de diseño son menores que 1.00, por lo que el diseño es adecuado para todos los elementos mostrados.

- **Momento de volteo**

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.1.5), El momento de volteo en la base del cilindro del tanque que está apoyado sobre el anillo de concreto, está definido por:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2} \quad (86)$$

Donde:

M_{rw} = momento de volteo (tnf-m)

A_i = coeficiente de la aceleración impulsiva (g).

A_c = coeficiente de la aceleración convectiva (g).

W_i = peso efectivo del líquido impulsivo (tnf).

W_s = peso del casco (tnf).

W_r = peso del techo (tnf).

W_c = peso efectivo del líquido convectivo (tnf).

X_i = altura impulsiva (m).

X_s = altura del centro de gravedad del casco (m).

X_r = altura del centro de gravedad del techo (m).

X_c = altura convectiva (m).

En la tabla 24 se define los valores de los coeficientes de aceleraciones impulsiva $A_i = 0.337g$ y convectiva $A_c = 0.155g$. De la tabla 20 encontramos los pesos del casco $W_s = 45.87 \text{ tnf}$ y del techo $W_r = 16.76 \text{ tnf}$. En la tabla 21 describimos el peso efectivo del líquido impulsivo $W_i = 2489.58 \text{ tnf}$ y el peso efectivo del líquido convectivo $W_c = 978.33 \text{ tnf}$. De la figura 32 visualizamos las alturas impulsiva $X_i = 4.59 \text{ m}$ y convectiva $X_c = 8.32 \text{ m}$. Para nuestro diseño la altura del centro de gravedad del casco es $X_s = 4.90 \text{ m}$ y la altura del centro de gravedad del techo es $X_r = 12.96 \text{ m}$.

En (86):

$$M_{rw} = \sqrt{[0.337g \times (2489.58 \times 4.59 + 45.87 \times 4.90 + 16.76 \times 12.96)]^2 + [0.155g \times (978.33 \times 8.32)]^2}$$

$$M_{rw} = 4194.16 \text{ tnf} - m$$

- **Verificación de la estabilidad del tanque**

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.2.1.1), Se debe verificar la estabilidad del tanque calculando la fuerza resistente al volteo w_a que depende del líquido en el interior del tanque:

$$w_a = 99t_a \sqrt{F_y H G_e} \leq 201.10 H D G_e \quad (87)$$

$$G_e = G(1 - 0.40A_v) \quad (88)$$

$$A_v = \frac{2}{3} \times 0.7 \times S_{Ds} \quad (89)$$

Donde:

w_a = fuerza resistente al volteo (N/m).

t_a = espesor del anillo inferior al techo auto soportado (mm).

F_y = resistencia a la fluencia mínima del material (Mpa).

G_e = gravedad especifica efectiva de la sustancia.

H = nivel máximo de diseño (m).

D = diámetro del tanque (m).

A_v = parámetro de aceleración sísmico vertical (g).

S_{Ds} = diseño de la aceleración espectral para periodo corto (g).

G = gravedad específica de la sustancia.

De la tabla 30 la resistencia a la fluencia mínima del material es $F_y = 250 \text{ Mpa}$, en la tabla 6 la gravedad específica de la sustancia es $G = 1.83$, de la tabla 18 el diseño de la aceleración espectral para periodo corto es $S_{Ds} = 1.181g$, en la tabla 13 visualizamos el espesor del anillo N°6 $t_a = 6 \text{ mm}$ y de la tabla 2 tenemos el diámetro del tanque $D = 15m$ y la altura de $H = 12 \text{ m}$ así mismo en la tabla 23 la altura libre para el oleaje del líquido almacenado es $1.40m$ por lo tanto el nivel máximo de diseño es $10.60m$.

En (89):

$$A_v = \frac{2}{3} \times 0.7 \times 1.181g$$
$$A_v = 0.55g$$

En (88):

$$G_e = 1.83 \times (1 - 0.40 \times 0.55g)$$
$$G_e = 1.43$$

En (87):

$$w_a = 99 \times 6 \times \sqrt{250 \times 10.6 \times 1.43} \leq 201.10 \times 10.6 \times 15 \times 1.43$$
$$w_a = 36565.995 \frac{N}{m} \leq 45724.107 \frac{N}{m}$$
$$\therefore \text{Usar: } 36,565.995 \frac{N}{m}$$

En la tabla 32 visualizamos los valores de la estabilidad del tanque vertical.

Tabla 32. Valores de estabilidad.

| | |
|--|---------------|
| Momento de volteo M_{rw} | 4194.16 tnf-m |
| Fuerza resistente al volteo w_a | 36565.995 N/m |
| Gravedad especifica efectiva de la sustancia G_e | 1.43 |
| parámetro de aceleración sísmico vertical A_v | 0.55g |

- **Verificación del requerimiento de anclajes mecánicos**

Según (API estándar 650,2013, sección E.6.2.1.1), para definir el requerimiento o no del anclaje mecánico verificaremos mediante la siguiente ecuación:

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2[w_t(1 - 0.4A_v) + w_a - 0.4w_{int}]} \quad (90)$$

$$w_t = \left[\frac{W_s}{\pi D} + w_{rs} \right] \quad (91)$$

$$w_{rs} = \frac{1}{3} \frac{W_r}{\pi D} \quad (92)$$

$$w_{int} = \frac{0.4 \times 39.50 \times \pi D^2}{4 \pi D} \quad (93)$$

Donde:

J = ratio de anclaje

M_{rw} = momento de volteo (tnf-m)

w_t = peso del casco y del techo que actúa en la base del tanque (N/m).

W_s = peso del casco (tnf).

W_r = peso del techo (tnf).

w_{rs} = peso del techo que actúa en la base del tanque (N/m).

D = diámetro del tanque (m).

A_v = parámetro de aceleración sísmico vertical (g).

w_a = fuerza resistente al volteo (N/m).

w_{int} = peso de diseño del producto por unidad de longitud circunferencial (N/m).

De la tabla 20 encontramos los pesos del casco $W_s = 45.87 \text{ tnf}$ y del techo $W_r = 16.76 \text{ tnf}$, en la tabla 2 tenemos el diámetro del tanque $D = 15\text{m}$ así mismo en la tabla 32 obtenemos el momento de volteo $M_{rw} = 4194.16 \text{ tnf} - \text{m}$, la fuerza resistente al volteo $w_a = 36565.995 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ y el parámetro de aceleración sísmico vertical $A_v = 0.55g$.

En (93):

$$w_{int} = \frac{0.4 \times 39.50 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times \pi \times 15^2}{\pi \times 15}$$

$$w_{int} = 59.25 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{9.81\text{N}}{1 \text{kgf}}$$

$$w_{int} = 581.24 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

En (92):

$$w_{rs} = \frac{\frac{1}{3} \times 16.76 \text{ tnf}}{\pi \times 15}$$

$$w_{rs} = 118.55 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{9.81\text{N}}{1 \text{kgf}}$$

$$w_{rs} = 1163 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

En (91):

$$w_t = \left[\frac{45870 \text{kgf}}{\pi \times 15} \times \frac{9.81\text{N}}{1 \text{kgf}} + 1163 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

$$w_t = 10711.97 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

En (90):

$$J = \frac{4194160 \text{ kgf} - m}{15^2 \times [10711.97 \times (1 - 0.4 \times 0.55g) + 36565.995 - 0.4 \times 581.24]} \times \frac{9.81N}{1 \text{ kgf}}$$

$$J = 4.09$$

Verificamos la relación de anclaje de la tabla 33.

Tabla 33. Criterios de relación de anclaje.

| Anchorage Ratio J | Criteria |
|------------------------|---|
| $J \leq 0.785$ | No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored. |
| $0.785 < J \leq 1.54$ | Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored. |
| $J > 1.54$ | Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular ring if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage. |

Nota: Tomada de API estándar 650, 2013, E-22.

De la tabla 33; como $J = 4.09 > 1.54$ el criterio menciona modificar el anillo anular si cumple $L < 0.035D$ (94).

Según (API estándar 650, 2013, sección E.6.2.1.1.2), para definir el ancho mínimo requerido del anillo anular inferior verificaremos mediante la siguiente ecuación:

$$L = 0.01723 t_a \sqrt{\frac{F_y}{H G_e}} \quad (95)$$

Donde:

L = ancho mínimo requerido del anillo anular inferior

t_a = espesor del anillo inferior al techo auto soportado

F_y = resistencia a la fluencia mínima del material

G_e = gravedad especifica efectiva de la sustancia

H = nivel máximo de diseño

De la tabla 30 la resistencia a la fluencia mínima del material es $F_y = 250 \text{ Mpa}$, en la tabla 13 visualizamos el espesor del anillo N°6 $t_a = 6 \text{ mm}$ y de la tabla 2 tenemos el diámetro del tanque $D = 15\text{m}$ y la altura de $H = 12 \text{ m}$ así mismo en la tabla 23 la altura libre para el oleaje del líquido almacenado es 1.40m por lo tanto el nivel máximo de diseño es 10.60m y en la tabla 32 obtenemos la gravedad específica efectiva de la sustancia $G_e = 1.43$.

En (95):

$$L = 0.01723 \times 6 \times \sqrt{\frac{250}{10.60 \times 1.43}}$$

$$L = 0.42 \text{ m}$$

En (94):

$$0.42 < 0.035 \times 15$$

$$0.42 < 0.53$$

Verificamos que si cumple la desigualdad por ende se llegara a modificar el anillo anular colocando platinas con soldaduras traslapadas para así obtener una mejor estabilidad del tanque vertical.

- **Simulación**

- **Modelamiento 3D del tanque**

Los materiales utilizados y el tipo de elementos considerados para realizar el análisis estructural con el software SAP 2000, son:

Tabla 34. Elementos de composición del tanque vertical.

| ELEMENTO | TIPO DE ELEMENTO | MATERIAL |
|--------------------------------|-----------------------|----------|
| PL 8mm (Base) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 16.5mm (Anillo 1) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 13mm (Anillo 2) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 9.5mm (Anillo 3) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 9mm (Anillo 4) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 8mm (Anillo 5) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| PL 6mm (Anillo 6) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |
| L3x3x0.25 (Anillo rigidizador) | Línea | ASTM A36 |
| WT 5x11 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| L2.5x2.5x0.25 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| L2x2x0.1875 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| L2x2x0.1875 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| C10x15.3 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| C5x6.7 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| C4x5.4 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| L2x2x0.25 (cobertura) | Línea | ASTM A36 |
| PL 6mm (Cobertura) | Área (lámina delgada) | ASTM A36 |

- **Combinaciones de carga para el cuerpo del tanque vertical**

En base a la norma E-090 del reglamento nacional de edificaciones, El cuerpo del tanque será diseñado con la resistencia suficiente para soportar los efectos más críticos de las siguientes combinaciones.

Tabla 35. Combinaciones de carga en el cuerpo del tanque.

| | |
|-----------------|-----------------|
| Combinación N°1 | 1.4D |
| Combinación N°2 | 1.6L+1.4D |
| Combinación N°3 | 1.2D+0.5L+0.8Sx |
| Combinación N°4 | 1.2D+0.5L+0.8Sy |
| Combinación N°5 | 1.2D+1Sx |
| Combinación N°6 | 1.2D+1Sy |

Nota: Ver anexo 14.

Donde:

D= Carga muerta debido al peso propio de los elementos.

L= Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.

Sx= Carga de sismo en el eje x.

Sy= Carga de sismo en el eje y.

- **Analizamos los comportamientos del espectro modal del tanque vertical con respecto a las combinaciones 3 y 4.**

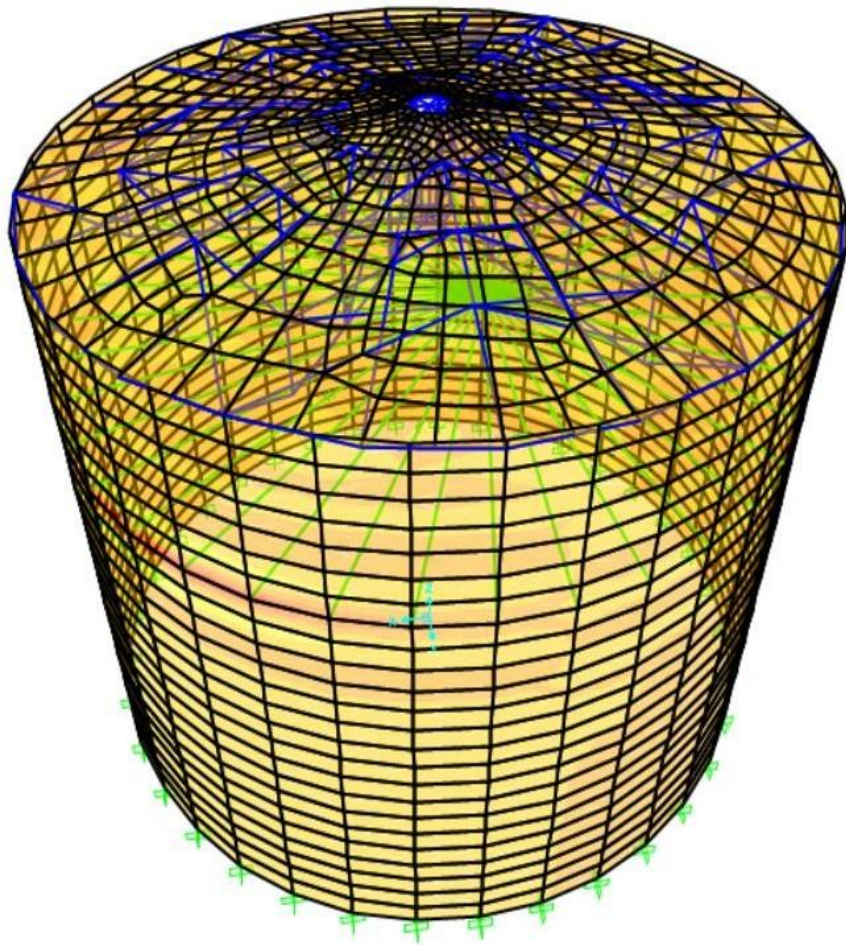


Figura 33. Comportamiento respecto al espectro modal.

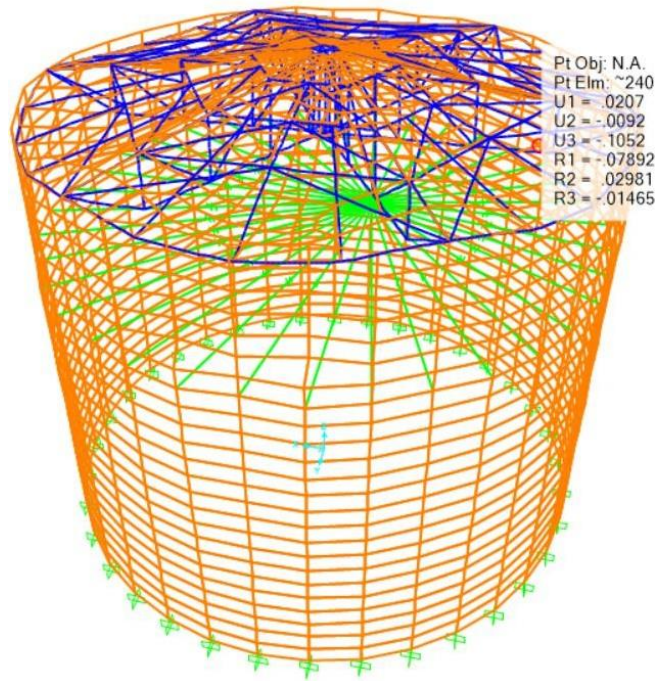


Figura 34. Comportamiento de la deformada de la combinación 3 respecto al espectro modal.

Tabla 36. Desplazamiento del comportamiento de la deformada de combinación 3 respecto al espectro modal.

| Joint Text | OutputCase | CaseType Text | StepType Text | U1 mm | U2 mm | U3 mm | R1 Radians | R2 Radians | R3 Radians |
|------------|------------|---------------|---------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 1234 | COMB3 | Combination | Max | 8.931163 | -0.341591 | -0.019952 | 0.000191 | 0.000809 | 0.076365 |
| 1252 | COMB3 | Combination | Max | 8.925732 | 0.999281 | -0.007325 | -0.000105 | 0.000811 | 0.076222 |
| 1198 | COMB3 | Combination | Max | 8.458096 | -0.31259 | -0.020409 | 3E-05 | 0.00114 | 0.072475 |
| 1216 | COMB3 | Combination | Max | 8.452841 | 0.924277 | -0.007793 | 7.6E-05 | 0.001139 | 0.072347 |
| 1162 | COMB3 | Combination | Max | 7.968942 | -0.291112 | -0.020477 | 0.000157 | 0.000875 | 0.067652 |
| 1180 | COMB3 | Combination | Max | 7.963873 | 0.857734 | -0.007818 | -7.8E-05 | 0.000876 | 0.067549 |
| 1100 | COMB3 | Combination | Max | 7.48558 | -0.268037 | -0.020399 | 4.2E-05 | 0.001104 | 0.06297 |
| 1136 | COMB3 | Combination | Max | 7.480676 | 0.785851 | -0.007723 | 8.3E-05 | 0.001102 | 0.06289 |
| 1054 | COMB3 | Combination | Max | 7.001375 | -0.251003 | -0.020121 | 0.000151 | 0.000878 | 0.058119 |
| 1072 | COMB3 | Combination | Max | 6.996606 | 0.726737 | -0.007523 | -4.8E-05 | 0.000879 | 0.058063 |
| 1018 | COMB3 | Combination | Max | 6.531371 | -0.22761 | -0.019793 | 0.000137 | 0.00106 | 0.054347 |
| 1036 | COMB3 | Combination | Max | 6.526717 | 0.647794 | -0.007264 | 0.000187 | 0.001059 | 0.054305 |
| 982 | COMB3 | Combination | Max | 6.062961 | -0.208001 | -0.019326 | 0.000258 | 0.000872 | 0.050629 |
| 1000 | COMB3 | Combination | Max | 6.058418 | 0.588554 | -0.006895 | 0.000147 | 0.000873 | 0.0506 |
| 920 | COMB3 | Combination | Max | 5.625548 | -0.17061 | -0.019071 | 7.6E-05 | 0.000961 | 0.047273 |

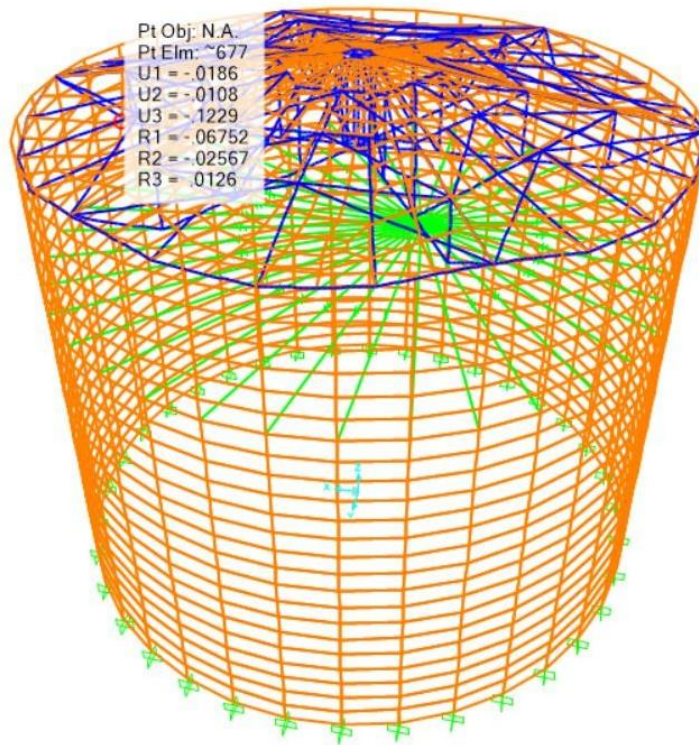


Figura 35. Comportamiento de la deformada de la combinación 4 respecto al espectro modal.

Tabla 37. Desplazamientos del comportamiento de la deformada de combinación 4 respecto al espectro modal.

| Joint Text | OutputCase | CaseType Text | StepType Text | U1 mm | U2 mm | U3 mm | R1 Radians | R2 Radians | R3 Radians |
|------------|------------|---------------|---------------|-----------|-----------|----------|------------|------------|------------|
| 1338 | COMB4 | Combination | Max | -0.000706 | 0.308965 | 0.441796 | 0.001125 | -7.8E-05 | 0.000105 |
| 1338 | COMB4 | Combination | Min | -0.001144 | 0.228679 | 0.427535 | 0.001119 | -7.9E-05 | 0.000104 |
| 1282 | COMB4 | Combination | Max | -0.231517 | -0.093675 | 0.417144 | -0.000491 | 0.00102 | 0.000105 |
| 1310 | COMB4 | Combination | Max | 0.23064 | -0.094331 | 0.415182 | -0.000627 | -0.00094 | 0.000104 |
| 1282 | COMB4 | Combination | Min | -0.232741 | -0.173659 | 0.409959 | -0.000493 | 0.001016 | 0.000105 |
| 1310 | COMB4 | Combination | Min | 0.229359 | -0.174222 | 0.407984 | -0.00063 | -0.000943 | 0.000104 |
| 1349 | COMB4 | Combination | Max | -0.228129 | 0.170495 | 0.397733 | 0.000622 | 0.000948 | 0.000102 |
| 1324 | COMB4 | Combination | Max | 0.226954 | 0.16982 | 0.394341 | 0.000487 | -0.001022 | 0.000107 |
| 1349 | COMB4 | Combination | Min | -0.22938 | 0.090525 | 0.390644 | 0.000619 | 0.000944 | 0.000102 |
| 1324 | COMB4 | Combination | Min | 0.225747 | 0.089922 | 0.387318 | 0.000484 | -0.001026 | 0.000106 |
| 1296 | COMB4 | Combination | Max | 0.000589 | -0.20347 | 0.277334 | -0.001206 | 5.8E-05 | 0.000105 |
| 1296 | COMB4 | Combination | Min | 0.000143 | -0.283719 | 0.264252 | -0.001213 | 5.8E-05 | 0.000104 |
| 1 | COMB4 | Combination | Max | 0.007736 | 0.017576 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | COMB4 | Combination | Min | 0.007652 | 0.012361 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 181 | COMB4 | Combination | Max | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 181 | COMB4 | Combination | Min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 38. Periodo máximo respecto al espectro modal.

| OutputCase | StepType Text | StepNum Unitless | Period Sec | UX Unitless | UY Unitless | UZ Unitless | SumUX Unitless | SumUY Unitless | SumUZ Unitless | RX Unitless |
|------------|------------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| MODAL | Mode | 1 | 4.454009 | 0.273451 | 2.816E-10 | 5.861E-11 | 0.273451 | 2.816E-10 | 5.861E-11 | 1.285E-10 |
| MODAL | Mode | 2 | 1.229971 | 4.043E-09 | 8.055E-10 | 1.806E-07 | 0.273451 | 1.087E-09 | 1.807E-07 | 5.834E-10 |
| MODAL | Mode | 3 | 1.229798 | 6.981E-10 | 8.057E-11 | 5.354E-07 | 0.273451 | 1.168E-09 | 7.161E-07 | 4.959E-11 |
| MODAL | Mode | 4 | 1.219013 | 2.554E-09 | 1.3E-05 | 2.903E-12 | 0.273451 | 1.3E-05 | 7.161E-07 | 9.472E-06 |
| MODAL | Mode | 5 | 1.216973 | 4.21E-09 | 1.825E-08 | 5.271E-13 | 0.273451 | 1.3E-05 | 7.161E-07 | 1.323E-08 |
| MODAL | Mode | 6 | 1.109494 | 3.794E-08 | 2.252E-09 | 2.474E-09 | 0.273451 | 1.3E-05 | 7.186E-07 | 1.647E-09 |
| MODAL | Mode | 7 | 1.109166 | 1.007E-11 | 3.649E-11 | 2.219E-07 | 0.273451 | 1.3E-05 | 9.405E-07 | 3.907E-11 |
| MODAL | Mode | 8 | 1.053262 | 5.197E-09 | 8.6E-05 | 4.836E-12 | 0.273451 | 9.9E-05 | 9.405E-07 | 6E-05 |
| MODAL | Mode | 9 | 1.045392 | 1.603E-08 | 8.014E-12 | 7.494E-11 | 0.273451 | 9.9E-05 | 9.406E-07 | 4.055E-13 |
| MODAL | Mode | 10 | 0.981413 | 4.215E-11 | 5.085E-08 | 5.769E-07 | 0.273451 | 9.9E-05 | 1.518E-06 | 4.134E-07 |
| MODAL | Mode | 11 | 0.969299 | 3.593E-06 | 3.393E-08 | 2.117E-10 | 0.273455 | 9.9E-05 | 1.518E-06 | 1.966E-08 |
| MODAL | Mode | 12 | 0.960261 | 5.682E-08 | 7.416E-09 | 6.616E-07 | 0.273455 | 9.9E-05 | 2.179E-06 | 8.328E-09 |
| MODAL | Mode | 13 | 0.938636 | 2.064E-10 | 1.555E-07 | 2.145E-06 | 0.273455 | 9.9E-05 | 4.325E-06 | 1.841E-06 |
| MODAL | Mode | 14 | 0.937672 | 5.947E-11 | 5.08E-10 | 1.397E-08 | 0.273455 | 9.9E-05 | 4.339E-06 | 8.44E-09 |
| MODAL | Mode | 15 | 0.889139 | 4.816E-08 | 0.000418 | 1.11E-08 | 0.273455 | 0.000517 | 4.35E-06 | 0.000104 |

Tabla 39. Periodo mínimo respecto al espectro modal.

| OutputCase | StepType Text | StepNum Unitless | Period Sec | UX Unitless | UY Unitless | UZ Unitless | SumUX Unitless | SumUY Unitless | SumUZ Unitless | RX Unitless |
|------------|------------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| MODAL | Mode | 150 | 0.128191 | 4.34E-08 | 1.571E-06 | 0.000109 | 0.963709 | 0.060819 | 0.120224 | 2.526E-08 |
| MODAL | Mode | 149 | 0.128404 | 0.000208 | 6E-05 | 4.404E-07 | 0.963709 | 0.060817 | 0.120116 | 3.7E-05 |
| MODAL | Mode | 148 | 0.128807 | 3.31E-06 | 1.793E-07 | 0.000188 | 0.963501 | 0.060757 | 0.120115 | 4.12E-06 |
| MODAL | Mode | 147 | 0.129286 | 2.46E-06 | 7.395E-07 | 0.000583 | 0.963498 | 0.060757 | 0.119927 | 1.03E-06 |
| MODAL | Mode | 146 | 0.129879 | 2.642E-07 | 1.384E-06 | 0.000289 | 0.963495 | 0.060756 | 0.119344 | 4.3E-06 |
| MODAL | Mode | 145 | 0.130317 | 0.000573 | 1.1E-05 | 1.23E-06 | 0.963495 | 0.060755 | 0.119055 | 6.776E-06 |
| MODAL | Mode | 144 | 0.130668 | 7.1E-05 | 1.434E-06 | 3.3E-05 | 0.96292199... | 0.060743 | 0.119054 | 2.4E-05 |
| MODAL | Mode | 143 | 0.130745 | 0.003402 | 9.891E-06 | 8.722E-07 | 0.962851 | 0.060742 | 0.119021 | 1.3E-05 |
| MODAL | Mode | 142 | 0.131091 | 1.606E-07 | 3.733E-08 | 1.4E-05 | 0.959449 | 0.060732 | 0.11902 | 1.283E-08 |
| MODAL | Mode | 141 | 0.131885 | 7.067E-07 | 3.744E-06 | 0.000176 | 0.959448 | 0.060732 | 0.119006 | 6.943E-06 |
| MODAL | Mode | 140 | 0.133972 | 3.157E-07 | 7.666E-07 | 5.016E-06 | 0.959448 | 0.060728 | 0.11883 | 1.5E-05 |
| MODAL | Mode | 139 | 0.134072 | 4.033E-07 | 6.275E-07 | 3.582E-08 | 0.959447 | 0.060728 | 0.118825 | 1E-05 |
| MODAL | Mode | 138 | 0.134489 | 2.116E-08 | 2.393E-06 | 0.000494 | 0.959447 | 0.060727 | 0.118825 | 1.622E-06 |
| MODAL | Mode | 137 | 0.135732 | 1.874E-10 | 1.358E-09 | 1.468E-06 | 0.959447 | 0.060725 | 0.118331 | 9.12E-10 |
| MODAL | Mode | 136 | 0.135989 | 1.926E-08 | 1.325E-08 | 7.6E-05 | 0.959447 | 0.060725 | 0.118329 | 1.254E-06 |

Tabla 40. Momento de la carga de sismo respecto al espectro modal.

| OutputCase | CaseType Text | StepType Text | StepNum Unitless | GlobalFX Tonf | GlobalFY Tonf | GlobalFZ Tonf | GlobalMX Tonf-m | GlobalMY Tonf-m | GlobalMZ Tonf-m | GlobalX m |
|------------|---------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| SX | LinRespSpec | Max | | 462.4469 | 0.0918 | 0.0145 | 1.09936 | 2083.55286 | 19.00125 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 82 | 181.8105 | -0.0257 | -0.0033 | 0.2863 | 772.96849 | -2.93716 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 98 | 151.2525 | 0.1443 | 0.2258 | 0.46354 | 721.99931 | 0.55987 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 51 | 76.2822 | 0.0012 | -0.0104 | -0.01959 | 362.5806 | -2.19924 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 45 | 62.5894 | -0.0006404 | 0.0002702 | 0.01075 | 285.94155 | 0.47373 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 84 | 15.9435 | -1.9521 | -0.009 | 24.20463 | 66.84999 | -9.03394 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 132 | 5.9177 | -0.1279 | -0.4602 | 26.71502 | 55.40163 | 1.75944 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 100 | 12.133 | 0.092 | -0.372 | 12.82966 | 41.01952 | -1.35859 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 97 | 7.6449 | -0.0079 | -0.1792 | -0.04378 | 36.97195 | 1.41277 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 78 | 7.896 | 0.0645 | 0.1825 | -12.40465 | 33.60441 | -0.62198 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 50 | 6.1944 | 0.2204 | -0.0022 | 3.59199 | 16.94229 | -0.10371 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 142 | 0.5573 | 0.0487 | 0.9492 | -0.14785 | 13.13969 | 0.59613 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 129 | 1.9629 | -0.0291 | -0.0902 | 0.98735 | 11.8811 | -0.33797 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 119 | 2.6011 | -0.0517 | 0.2938 | -0.55224 | 8.73863 | -5.28007 | 0 |
| MODAL | LinModal | Mode | 80 | 1.779 | 0.0107 | -0.0067 | -0.10682 | 7.9496 | 922.59827 | 0 |

- **Analizamos los comportamientos de las cargas hidrostáticas del tanque vertical con respecto a las combinaciones 3 y 4.**

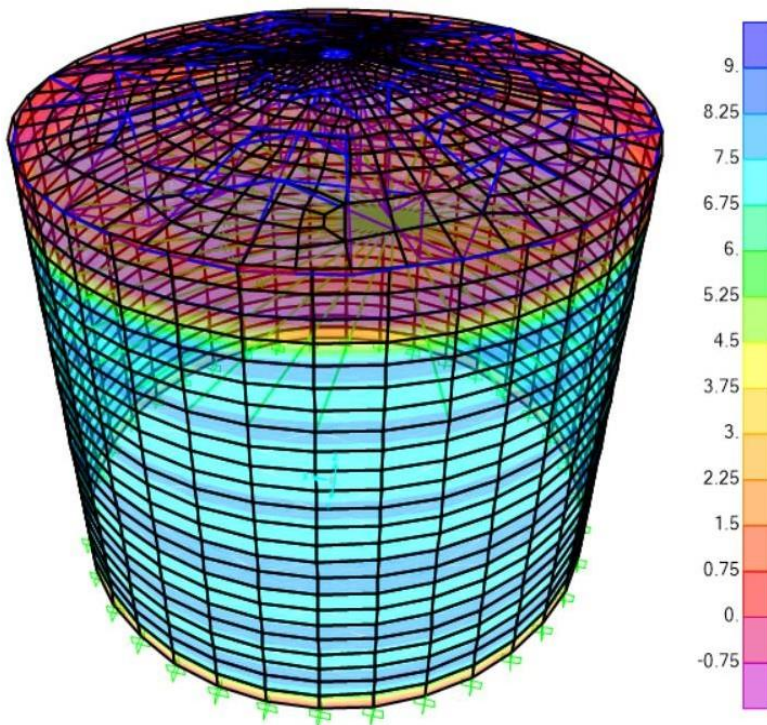


Figura 36. Comportamiento respecto a las cargas hidrostáticas.

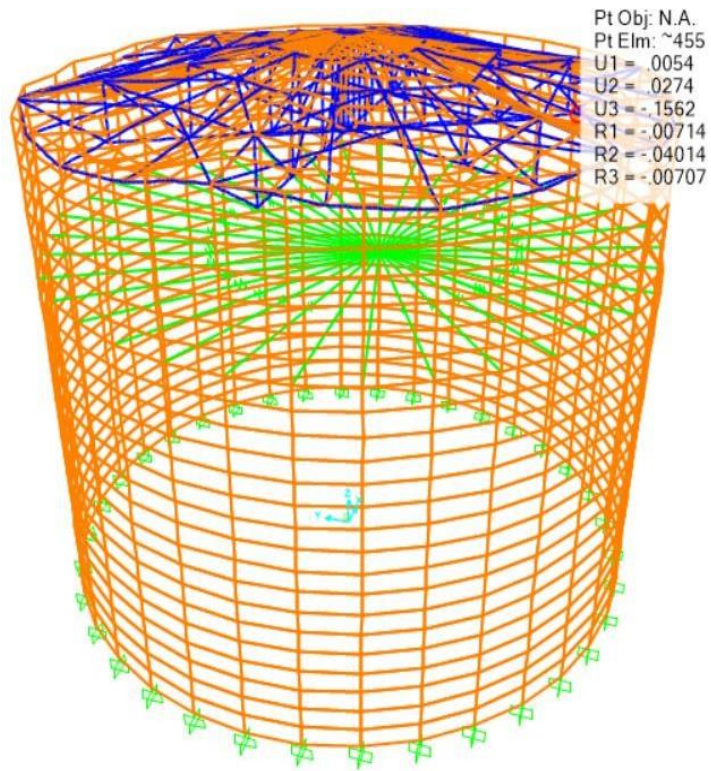


Figura 37. Comportamiento de la deformada de la combinación 3 respecto a la carga hidrostática.

Tabla 41. Carga de la combinación 3 respecto a la carga hidrostática.

| Area Text | AreaElem Text | ShellType Text | Joint Text | OutputCase | CaseType Text | StepType Text | F11 N/mm | F22 N/mm | F12 N/mm | FMax N/mm |
|-----------|---------------|----------------|------------|------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|-----------|
| 487 | 487 | Shell-Thin | 580 | COMB3 | Combination | Max | 1685.82 | 280.73 | 323.55 | 0 |
| 486 | 486 | Shell-Thin | 576 | COMB3 | Combination | Max | 1684.98 | 280.37 | 322.35 | 0 |
| 469 | 469 | Shell-Thin | 543 | COMB3 | Combination | Max | 1683.3 | 280.27 | 323.09 | 0 |
| 504 | 504 | Shell-Thin | 612 | COMB3 | Combination | Max | 1683.09 | 279.97 | 321.97 | 0 |
| 451 | 451 | Shell-Thin | 580 | COMB3 | Combination | Max | 1681.57 | 267.46 | 339.49 | 0 |
| 450 | 450 | Shell-Thin | 576 | COMB3 | Combination | Max | 1680.74 | 267.17 | 337.71 | 0 |
| 487 | 487 | Shell-Thin | 578 | COMB3 | Combination | Max | 1680.56 | 267.83 | 319.92 | 0 |
| 486 | 486 | Shell-Thin | 578 | COMB3 | Combination | Max | 1679.71 | 267.52 | 318.68 | 0 |
| 433 | 433 | Shell-Thin | 543 | COMB3 | Combination | Max | 1679.06 | 267.02 | 338.85 | 0 |
| 468 | 468 | Shell-Thin | 612 | COMB3 | Combination | Max | 1678.85 | 266.74 | 337.49 | 0 |
| 469 | 469 | Shell-Thin | 544 | COMB3 | Combination | Max | 1678.03 | 267.12 | 319.41 | 0 |
| 504 | 504 | Shell-Thin | 544 | COMB3 | Combination | Max | 1677.81 | 266.98 | 318.32 | 0 |
| 451 | 451 | Shell-Thin | 578 | COMB3 | Combination | Max | 1677.42 | 260.57 | 362.97 | 0 |
| 450 | 450 | Shell-Thin | 578 | COMB3 | Combination | Max | 1676.58 | 260.27 | 362.39 | 0 |
| 433 | 433 | Shell-Thin | 544 | COMB3 | Combination | Max | 1674.89 | 259.82 | 362.59 | 0 |

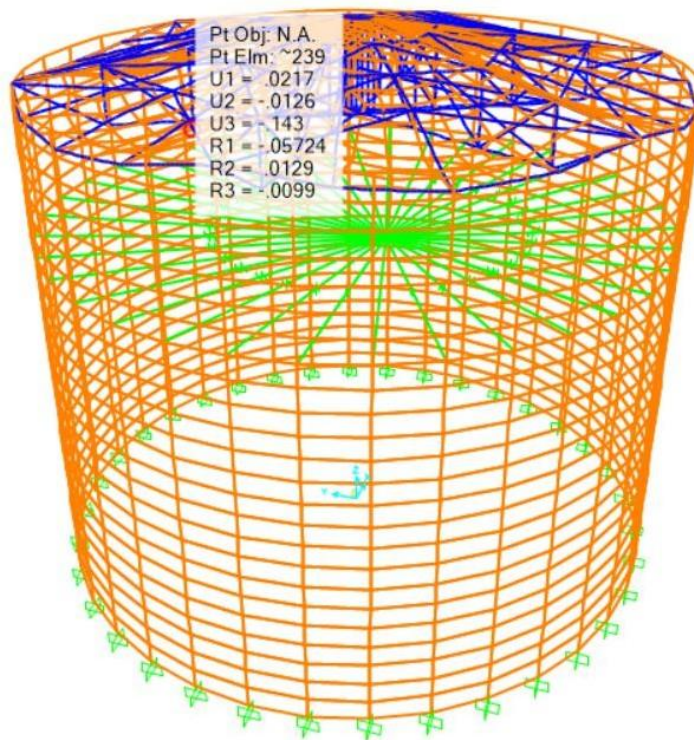


Figura 38. Comportamiento de la deformada de la combinación 4 respecto a la carga hidrostática.

Tabla 42. Carga de la combinación 4 respecto a la carga hidrostática.

| Area Text | AreaElem Text | ShellType Text | Joint Text | OutputCase | CaseType Text | StepType Text | F11 N/mm | F22 N/mm | F12 N/mm | FMax N/mm |
|-----------|---------------|----------------|------------|------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|-----------|
| 1012 | 1012-34 | Shell-Thin | ~413 | COMB4 | Combination | Max | 25.54 | 7.48 | -6.37 | 0 |
| 1012 | 1012-34 | Shell-Thin | ~413 | COMB4 | Combination | Min | 25.01 | 7.41 | -6.42 | 0 |
| 1011 | 1011-3 | Shell-Thin | ~252 | COMB4 | Combination | Max | 24.69 | 7.44 | 6.27 | 0 |
| 1011 | 1011-3 | Shell-Thin | ~252 | COMB4 | Combination | Min | 24.31 | 7.42 | 6.23 | 0 |
| 1011 | 1011-3 | Shell-Thin | 1286 | COMB4 | Combination | Max | 24.28 | -0.45 | 6.25 | 0 |
| 1014 | 1014-3 | Shell-Thin | 1328 | COMB4 | Combination | Max | 24.07 | -0.92 | 5.79 | 0 |
| 1013 | 1013-3 | Shell-Thin | 1314 | COMB4 | Combination | Max | 24.03 | -0.63 | 6.03 | 0 |
| 1010 | 1010-3 | Shell-Thin | 1353 | COMB4 | Combination | Max | 24.01 | -0.64 | 6.06 | 0 |
| 1011 | 1011-3 | Shell-Thin | 1286 | COMB4 | Combination | Min | 23.92 | -0.48 | 6.22 | 0 |
| 1014 | 1014-3 | Shell-Thin | ~603 | COMB4 | Combination | Max | 23.85 | 6.65 | 6.61 | 0 |
| 1009 | 1009-3 | Shell-Thin | 1342 | COMB4 | Combination | Max | 23.84 | -0.55 | 6.22 | 0 |
| 1009 | 1009-3 | Shell-Thin | ~5 | COMB4 | Combination | Max | 23.78 | 7.07 | 6.62 | 0 |
| 1014 | 1014-3 | Shell-Thin | 1328 | COMB4 | Combination | Min | 23.72 | -0.96 | 5.75 | 0 |
| 1012 | 1012-34 | Shell-Thin | 1301 | COMB4 | Combination | Max | 23.7 | -0.38 | -6.2 | 0 |
| 1010 | 1010-3 | Shell-Thin | ~135 | COMB4 | Combination | Max | 23.67 | 6.76 | 6.73 | 0 |

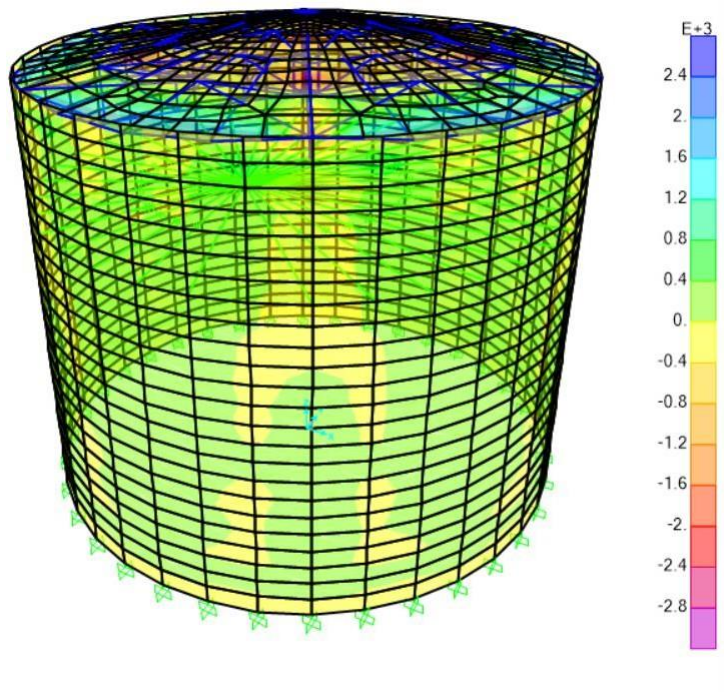


Figura 39. Comportamiento de la combinación 4.

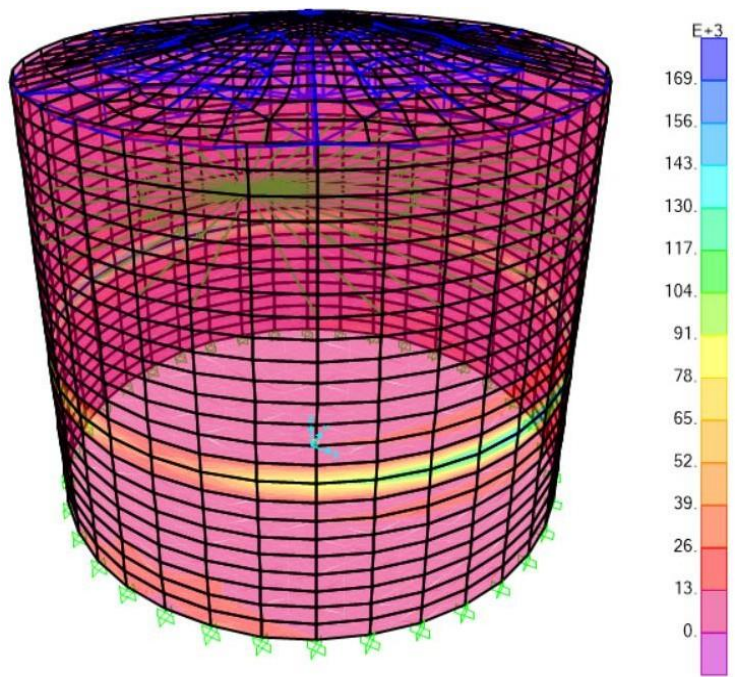


Figura 40. Comportamiento de la combinación 3.

- **Combinaciones de carga para el techo auto soportado del tanque vertical**

En base a la norma E-090 del reglamento nacional de edificaciones, El techo auto soportado del tanque será diseñado con la resistencia suficiente para soportar los efectos más críticos de las siguientes combinaciones.

Tabla 43. Combinaciones de carga en el techo del tanque.

| | |
|-----------------|----------------|
| Combinación N°1 | 1.4D |
| Combinación N°2 | 1.2D+1.6L |
| Combinación N°3 | 1.2D+1.3W+0.5L |

Donde:

D= Carga muerta debido al peso propio de los elementos.

L= Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.

W= Carga de viento.

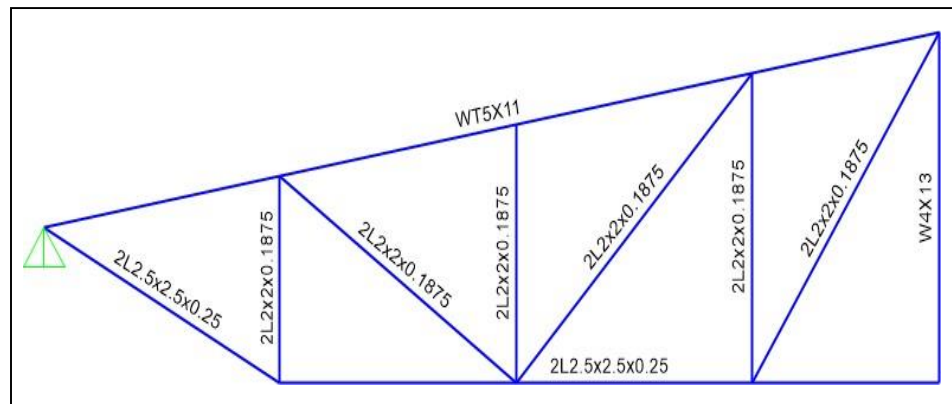


Figura 41. Estructuración de la cobertura del techo.

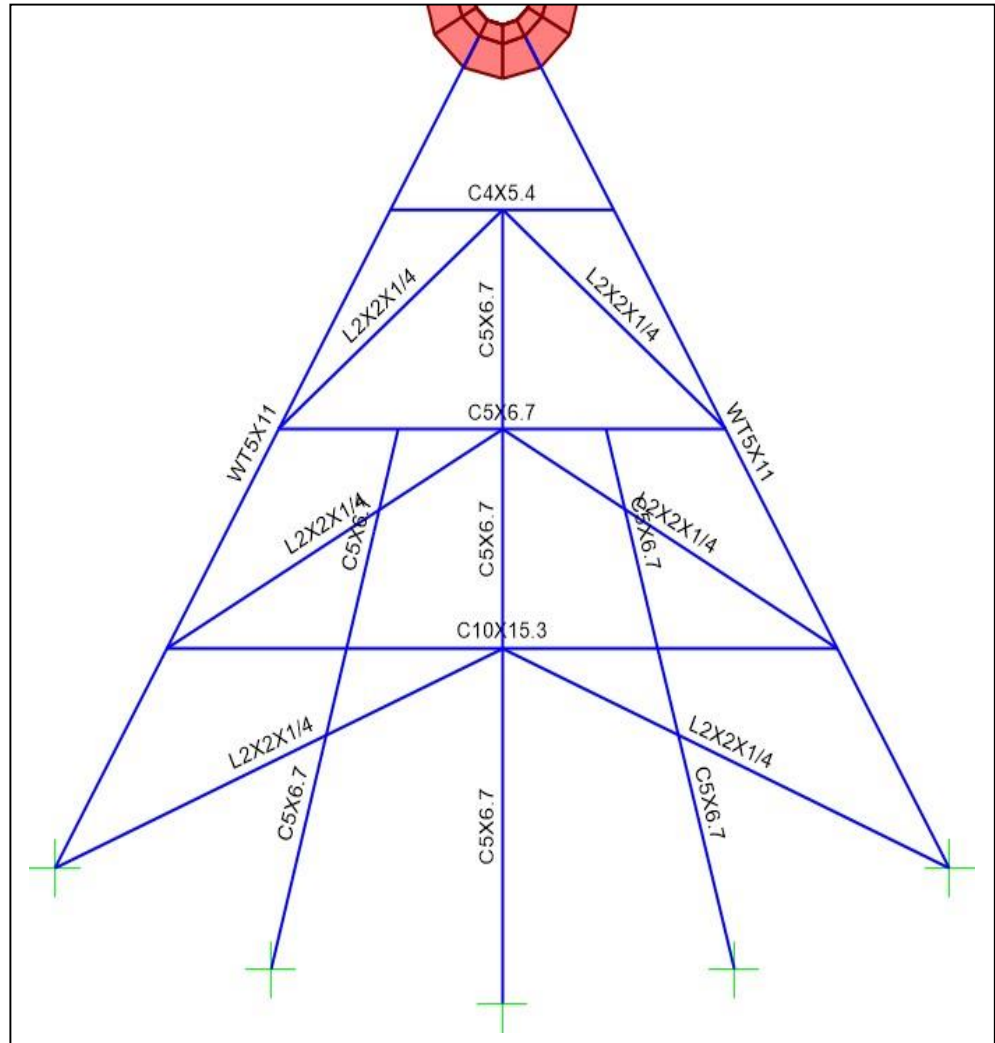


Figura 42. Vista en planta de la cobertura del techo.

- **Analizamos la estructuración del techo.**

Verificación bajo cargas de servicio, no deberán exceder 1/360 veces la luz del canal. Para el presente diseño analizaremos el canal C10x15.3 con la combinación N°3 de la tabla 43.

La deformación vertical máxima permitida para la viga es:

$$\Delta_{max} = \frac{L}{360} = \frac{5630}{360} = 15.6 \text{ mm}$$

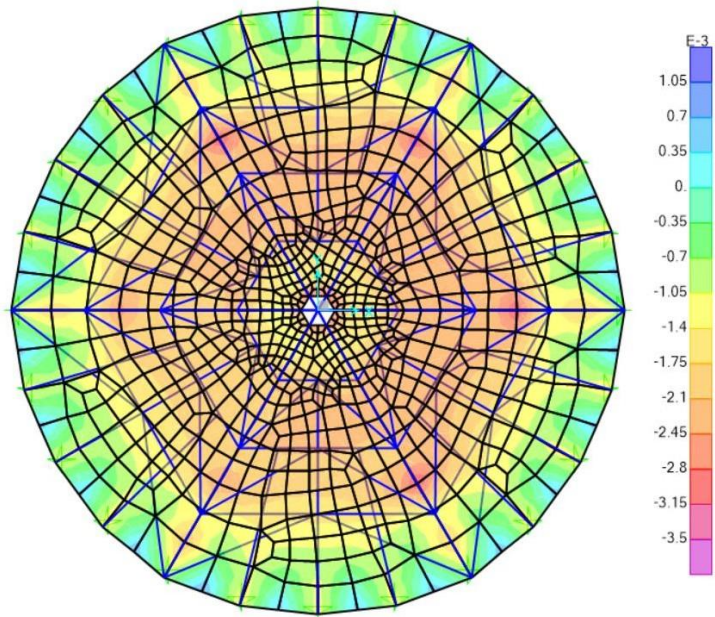


Figura 43. Verificación de deflexiones en la cobertura.

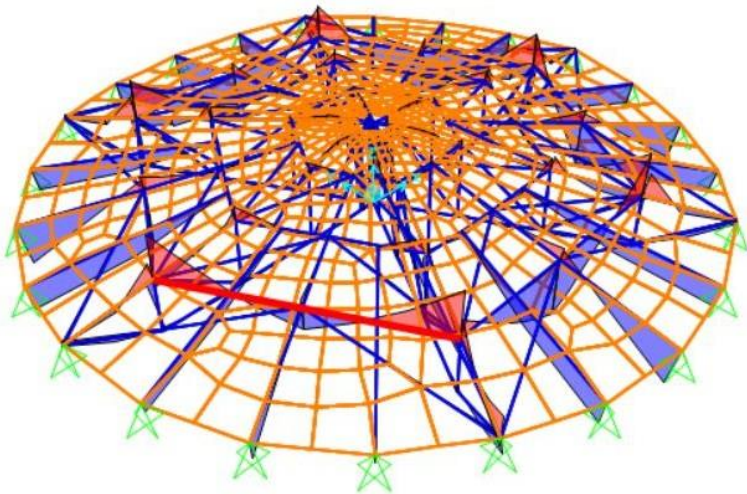


Figura 44. Verificación de diagrama de momentos en la cobertura.

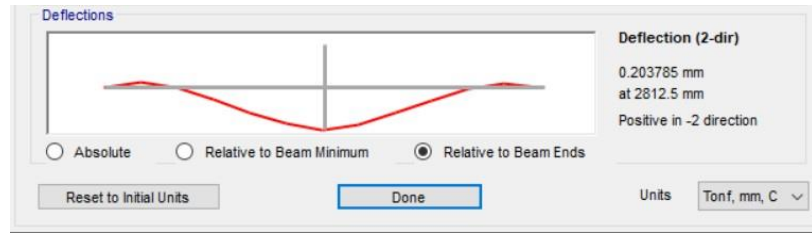


Figura 45. Verificación de la deflexión en el canal C10x15.3.

$$0.203785 \text{ mm} < 15.6 \text{ mm}$$

El canal C10x15.3 cumple con la verificación bajo cargas de servicio.

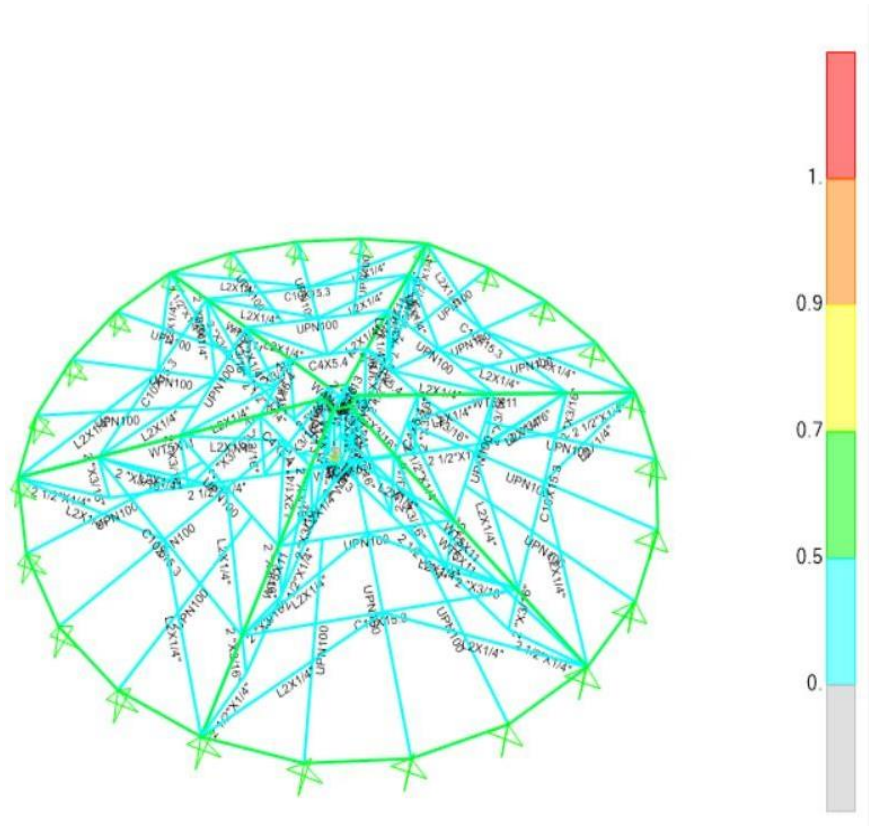


Figura 46. Verificación de diseño de la cobertura del techo.

Frame ID: 29 Analysis Section: C10X15.3
 Design Code: AISC 360-16 Design Section: C10X15.3

| COMBO ID | STATION LOC | MOMENT RATIO | INTERACTION CHECK | MAJ-SHR RATIO | MIN-SHR RATIO |
|-----------|-------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|
| 1.2D + 1. | 5156.25 | 0.036 (C) | = 0.01 + 0.025 + 0.001 | 0.007 | 0. |
| 1.2D + 1. | 5625. | 0.02 (C) | = 0.01 + 0.01 + 0. | 0.008 | 0. |
| 1.4D | 0. | 0.038 (C) | = 0.006 + 0.03 + 0.003 | 0.007 | 0. |
| 1.4D | 468.75 | 0.023 (C) | = 0.006 + 0.015 + 0.002 | 0.007 | 0. |
| 1.4D | 937.5 | 0.009 (C) | = 0.006 + 0.002 + 0. | 0.006 | 0. |
| 1.4D | 1406.25 | 0.015 (C) | = 0.006 + 0.009 + 0. | 0.005 | 0. |
| 1.4D | 1875. | 0.026 (C) | = 0.006 + 0.019 + 0. | 0.005 | 0. |

Buttons: Overwrites, Details, Tabular Data, OK, Cancel, Table Format File

Strength Deflection Stylesheet: Default

Figura 47. Verificación de la relación de diseño para el canal C10x15.3.

Frame ID: 36 Analysis Section: L2X1/4"
 Design Code: AISC 360-16 Design Section: L2X1/4"

| COMBO ID | STATION LOC | MOMENT RATIO | INTERACTION CHECK | MAJ-SHR RATIO | MIN-SHR RATIO |
|-----------|-------------|--------------|-------------------------|---------------|---------------|
| 1.2D + 1. | 0. | 0.066 (T) | = 0. + 0.014 + 0.051 | 0.002 | 0. |
| 1.2D + 1. | 2048.27 | 0.057 (T) | = 0. + 0.025 + 0.031 | 0. | 0. |
| 1.2D + 1. | 4096.53 | 0.116 (T) | = 0. + 0.053 + 0.062 | 0.003 | 0. |
| 1.4D | 0. | 0.121 (C) | = 0.02 + 0.035 + 0.065 | 0.003 | 0. |
| 1.4D | 2048.27 | 0.081 (C) | = 0.022 + 0.025 + 0.035 | 0. | 0. |
| 1.4D | 4096.53 | 0.146 (C) | = 0.023 + 0.052 + 0.07 | 0.003 | 0. |
| 1.2D + 1. | 0. | 0.086 (C) | = 0.006 + 0.025 + 0.055 | 0.002 | 0. |

Buttons: Overwrites, Details, Tabular Data, OK, Cancel, Table Format File

Strength Deflection Stylesheet: Default

Figura 48. Verificación de la relación de diseño para el ángulo L2x1/4.

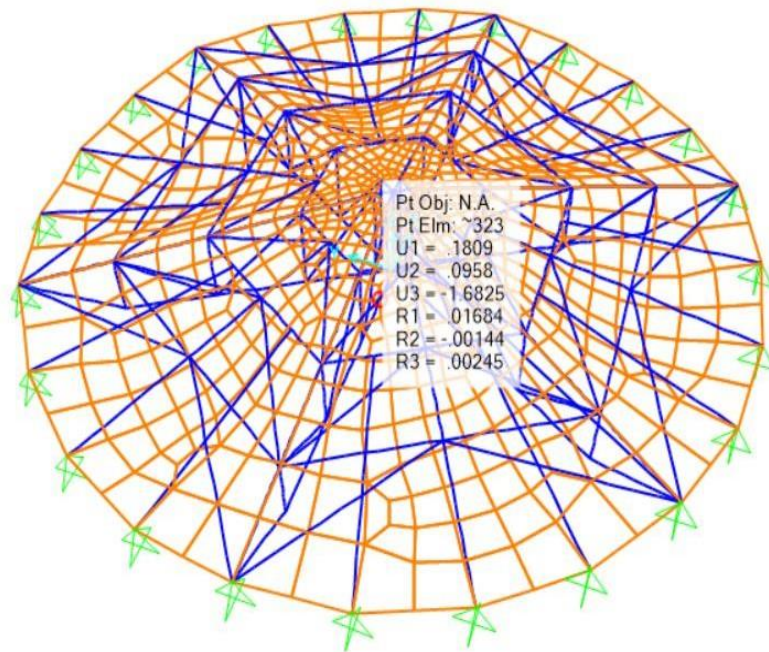


Figura 49. Comportamiento de la deformada de la combinación N°3 con la cobertura del techo.

Tabla 44. Desplazamientos del comportamiento de la deformada de la combinación N°3 respecto a la cobertura del techo.

| Joint Text | OutputCase | CaseType Text | U1 mm | U2 mm | U3 mm | R1 Radians | R2 Radians | R3 Radians |
|------------|----------------|---------------|-----------|-----------|----------|------------|------------|------------|
| ~289 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.315274 | -0.194336 | 1.566411 | 0.005165 | 0.002594 | 0.001019 |
| ~252 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.245792 | -0.150206 | 1.429723 | -0.024794 | 0.02009 | -0.002018 |
| ~266 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.284628 | -0.151773 | 1.292195 | -0.005981 | -0.004309 | -0.001297 |
| ~296 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.163083 | -0.084851 | 0.847868 | -0.004982 | 0.030354 | 0.001925 |
| ~288 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.172805 | -0.110529 | 0.608256 | 5.3E-05 | 0.002322 | 0.000218 |
| ~264 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.159057 | -0.076856 | 0.500994 | -0.008845 | -0.017857 | -0.00293 |
| ~268 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.158772 | -0.080828 | 0.448528 | -0.001793 | 0.00163 | -0.000137 |
| ~290 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.106321 | -0.075203 | 0.240392 | 0.021098 | -0.002155 | 0.003038 |
| ~287 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.098846 | -0.064836 | 0.104533 | 0.00048 | 0.000657 | 0.000135 |
| ~270 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.097843 | -0.048109 | 0.042916 | 0.00056 | 0.001755 | 0.000236 |
| ~301 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.092984 | -0.04696 | 0.023486 | -0.001027 | -0.00145 | -0.000269 |
| ~286 | 1.2D + 1.3W... | Combination | -0.088809 | -0.05572 | 0.017 | -1.198E-06 | -2.7E-05 | 1.946E-06 |
| 1261 | 1.2D + 1.3W... | Combination | 0 | 0 | 0 | -2.1E-05 | -0.000399 | 7.11E-06 |
| 1263 | 1.2D + 1.3W... | Combination | 0 | 0 | 0 | 0.000374 | -0.000146 | -1.8E-05 |
| 1265 | 1.2D + 1.3W... | Combination | 0 | 0 | 0 | 0.000443 | 4E-05 | 3.4E-05 |

➤ **Fabricación**

Para la fabricación de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado del tanque de almacenamiento, nos basamos en el siguiente procedimiento que detallamos primero mediante un diagrama de flujo, luego describimos cada fase en él.

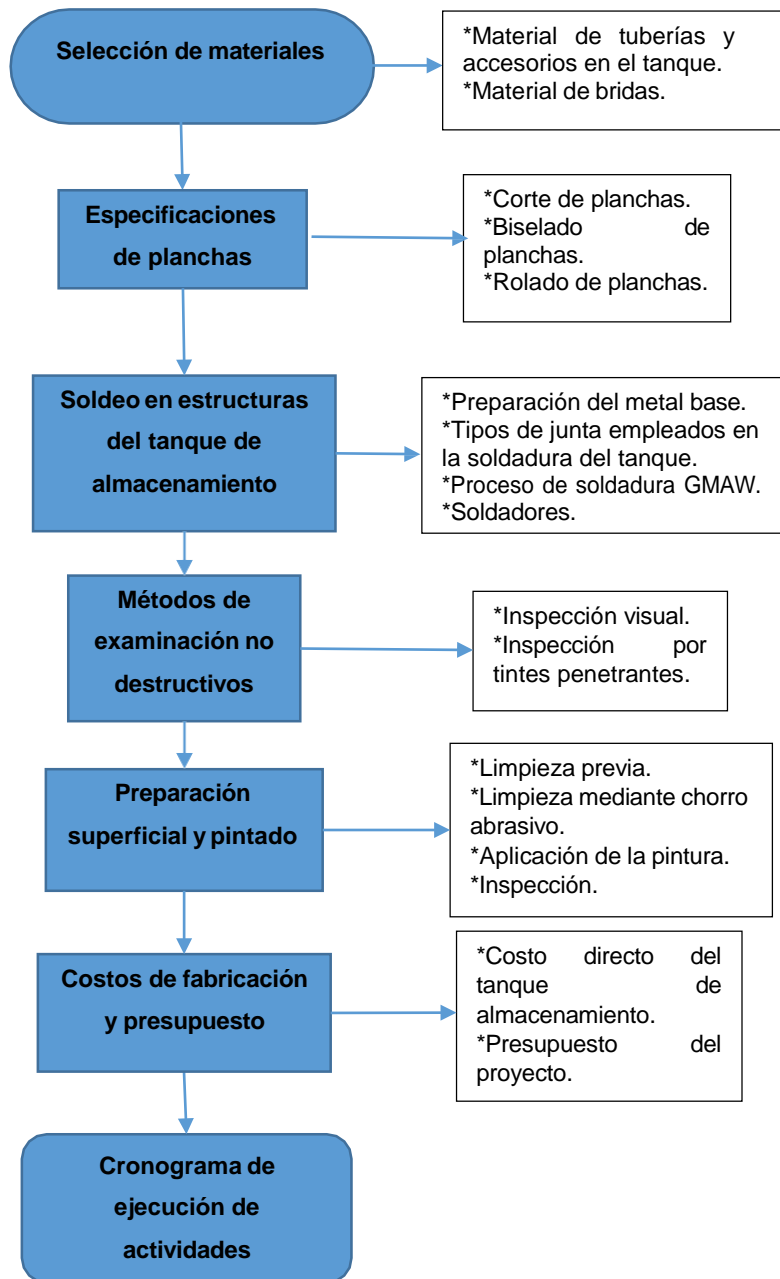


Figura 50. Diagrama de flujo de desarrollo de actividades.

a. Selección de materiales

Para nuestro caso, por requerimiento del cliente y tratándose de un acero comercial, usaremos el acero estructural ASTM A36, para las planchas, ángulos, canales y vigas de los anillos N° 4, 5, 6 y techo auto soportado. Además, en la sección 4.2 del API estándar 650, nos dicen que este acero viene a ser adecuado para el trabajo con planchas de hasta 40mm de espesor y posee características de alta soldabilidad y maleabilidad. Posee valores de fluencia de 250 MPa y de resistencia a la tracción de 400-550 MPa.



Figura 51. Plancha de acero ASTM A36 en taller.

A continuación, mostramos las cantidades y denominaciones de los ángulos, canales y vigas que van en el techo del tanque:

Tabla 45. Especificaciones y cantidades de ángulos, canales y vigas.

| Denominación de ángulos, canales y vigas | Unidad | Cantidad |
|---|--------|----------|
| Ángulo "L" A-36, 2" x 1/4" x 6000 mm | Unid. | 18 |
| Ángulo "L" A-36, 2 1/2" x 1/4" x 6000 mm | Unid. | 28 |
| Ángulo "L" A-36, 2" x 3/16" x 6000 mm | Unid. | 22 |
| Ángulo "L" A-36, 3" x 1/4" x 6000 mm | Unid. | 8 |
| Viga UPN 100 x 6000 mm, ASTM A-36 | Unid. | 16 |
| Canal "U" ASTM A-36, 10" x 15.3 x 6000 mm | Unid. | 6 |
| Canal "U" ASTM A-36, 4" x 5.4 x 6000 mm | Unid. | 2 |
| Viga H ASTM A-36, 4" x 13 x 6000 mm | Unid. | 2 |
| Viga WT ASTM A-36, 5" x 11 x 6000 mm | Unid. | 7 |
| Viga WT ASTM A-36, 5" x 50 x 6000 mm | Unid. | 1 |

- **Material de tuberías**

Elegimos el acero ASTM A53 para tuberías, ya que en la sección 4.5 del API estándar 650, nos indican que es el más utilizado para este caso. Posee valores de fluencia de 205 MPa y de resistencia a la tracción de 330 MPa, adecuados para soportar presiones que se generen en las líneas de tuberías.



Figura 52. Tubería perteneciente al techo del tanque.

Tabla 46. Especificaciones y cantidades de tuberías.

| Denominación de tuberías | Unidad | Cantidad |
|----------------------------------|--------|----------|
| Tubería SCH 40 A53, 4" x 6000 mm | Unid. | 3 |
| Tubería SCH 40 A53, 8" x 500 mm | Unid. | 1 |

- **Material de bridas**

Elegimos el acero ASTM A105 como material para las bridas, por ser aceptable y recomendado en la sección 4.5 del API estándar 650. Posee valores de fluencia de 250 MPa y de resistencia a tracción de 485 MPa, los cuales son adecuados para soportar las cargas que se puedan generar por el líquido almacenado, para nuestro el ácido sulfúrico.



Figura 53. Brida perteneciente al techo del tanque.

Tabla 47. Especificaciones y cantidades de bridas.

| Denominación de bridas | Unidad | Cantidad |
|--|--------|----------|
| Brida Slip On 4" de 150 Lb, ASTM A105 | Unid. | 1 |
| Brida Slip On 8" de 150 Lb, ASTM A105 | Unid. | 5 |
| Brida Slip On 24" de 150 Lb, ASTM A105 | Unid. | 2 |

b. Especificaciones de planchas

Habiendo hecho los cálculos con la ecuación 37, usaremos planchas del espesor que se muestran en las tablas 7 y 8. Para el formato de las mismas, las usaremos en presentación de 2400mm x 6000mm.

A continuación, mostraremos las cantidades y denominaciones de las planchas, además de la de los ángulos, canales y vigas que van en el techo del tanque:

Tabla 48. Especificaciones y cantidades de planchas.

| Denominación de planchas | Unidad | Cantidad |
|---|--------|----------|
| Plancha ASTM A36 de 9mm x 2400mm x 6000mm (Anillo 4°) | Unid. | 8 |
| Plancha ASTM A36 de 8mm x 2400mm x 6000mm (Anillo 5°) | Unid. | 8 |
| Plancha ASTM A36 de 6mm x 2400mm x 6000mm (Anillo 6°) | Unid. | 8 |
| Plancha ASTM A36 de 6mm x 2400mm x 6000mm (Techo) | Unid. | 14 |



Figura 54. Traslado de planchas de acero ASTM A36 a taller.

- **Corte de planchas**

Antes de realizar el corte en las planchas, primero se hace el debido trazado de longitudes requeridas según plano para cada elemento. Para este caso, se maneja una tolerancia de +/- 3mm con respecto a la línea trazada. Tolerancia que es muy usada para cortes en planchas de este tipo.



Figura 55. Corte y medición de planchas de acero ASTM A36 en taller.

- **Biselado de planchas**

Esta operación se realiza en las planchas de acero, después de haber hecho algún corte sobre estas o estando traídas directamente del proveedor. Lo realizamos a manera de preparación previa a la soldadura, en los bordes de las planchas que van a ser soldadas. Para nuestro caso, lo realizamos con un ángulo de 45°.



Figura 56. Biselado de planchas de acero ASTM A36 en taller.

- **Rolado de planchas**

Las planchas de acero pertenecientes a los anillos N° 4, 5 y 6, son las que serán sometidas a esta operación en máquinas roladoras. En nuestro caso, manejamos una tolerancia de +/- 13mm, la cual es muy usada en estas actividades. Para un mejor acabado, se utilizan unas calzas con el perfil y el radio de curvatura del rolado; con la ayuda de una comba y asentando la calza a lo largo de la plancha, se va chancando sobre esta para ir obteniendo el perfil deseado.



Figura 57. Calza y plancha de acero ASTM A36 en taller.

c. Soldeo en estructuras del tanque de almacenamiento

Para iniciar las actividades de soldeo en las estructuras del tanque de almacenamiento, detallamos a continuación los pasos que seguimos, para los cuales nos apoyamos en normas y códigos internacionales, garantizando así un producto final aceptable dentro de los requerimientos en este tipo de actividades.

- **Preparación del metal base**

Para la preparación que debemos de tener del metal base donde posteriormente se va a soldar, el código de soldadura estructural AWS D1. 1 (2020) nos dice que este debe de estar lo suficientemente limpio, sobre todo en las superficies donde se va a soldar y las adyacentes a estas. Deben de estar libres de agua, aceite, grasa u otros materiales a base de hidrocarburo. Todo esto con el fin de permitir que el soldeo que se realice, cumpla con las exigencias de calidad que posee este código.



Figura 58. Limpieza de planchas previas al soldeo.

- **Tipos de junta empleados en la soldadura del tanque**

- **Soldadura para juntas verticales**

En la sección 5.1.1.5 del API estándar 650, nos indican que para esta soldadura, elegimos una junta vertical de penetración completa y que tenga una ranura de forma cuadrada. Además, la separación entre plancha y plancha es la mitad del espesor de las mismas.



Figura 59. Soldadura vertical con ranura cuadrada.

Tomada de "Welded Tanks for Oil Storage", por API estándar 650, 2013, p[5-3].

- **Soldadura para juntas horizontales**

En la sección 5.1.1.5 del API estándar 650, nos indican que para esta soldadura, elegimos una junta horizontal de penetración

completa y que tenga una ranura de forma cuadrada. Además, la separación entre plancha y plancha es la mitad del espesor de las mismas.



Figura 60. Soldadura horizontal con ranura cuadrada.
Tomada de "Welded Tanks for Oil Storage", por API estándar 650, 2013, p.[5-4].

Soldadura para juntas traslapadas

En la sección 5.1.1.4 del API estándar 650, nos indican que para esta soldadura, elegimos una junta traslapada que no tenga bisel, con un filete de soldadura de 6mm con respecto al espesor de plancha.

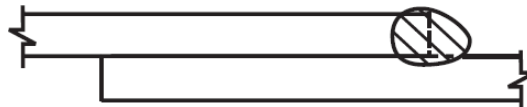


Figura 61. Soldadura a traslape sin bisel.
Tomada de "Welded Tanks for Oil Storage", por API estándar 650, 2013, p.[5-5].

- **Proceso de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding)**

En el código de soldadura estructural AWS D1. 1 (2020), nos mencionan que este proceso de soldadura usa un arco entre el charco de soldadura y un electrodo(alambre) de metal de aporte. Para que este proceso se pueda dar, tiene que haber protección proveniente de un gas inerte (Argón o Helio) o activo (CO₂ o mezcla de Ar-CO₂), que este suministrado de manera externa y que a la vez no esté aplicado con presión.

Para nuestro trabajo, hicimos uso de este proceso de soldadura, puesto que su índice de producción es alto y también porque puede trabajar de manera continua durante periodos prolongados. Beneficios que nos ayudan mucho en el desarrollo de la fabricación. El material de aporte que usamos fue el alambre macizo para soldadura ER70S-6, debido a que es muy utilizado para trabajos donde se requiera eficiencia y alto grado de deposición. Certificado de calidad de alambre en anexo 6.



Figura 62. Proceso de soldadura GMAW.

- **Soldadores**

Para tener confianza de que el proceso de soldadura se está llevando a cabo correctamente y dentro de los parámetros que exigen las normas y códigos, debemos de contar con personal capacitado para la labor. En nuestro caso, el técnico que desempeñará la labor es conocido como soldador calificado. Esta persona es la que ha demostrado experiencia, conocimiento y notable destreza al momento de efectuar procesos de soldadura.

La calificación de los soldadores para los procesos de soldadura, se llevó a cabo conforme a lo que se muestra en el artículo III, del código ASME sección IX, 2019. Para ver los registros de calificación de los soldadores, ir a anexo 3.

Los soldadores calificados que trabajaron en los procesos de soldadura en este trabajo, fueron 2. Los cuales, comandaban una cuadrilla (cada uno) de personal de apoyo a su disposición, para las diferentes actividades adicionales que siempre se presentan en el camino.

A continuación, los mencionaremos:

Tabla 49. Soldadores homologados.

| Nombre del soldador | Código del soldador | Fecha de calificación | Proceso de soldadura | Metal de aporte |
|------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Castillo Francia Luigi | LCF - 04 | 01/01/2018 | GMAW | ER70S - 6 |
| Cabrera Zavaleta Juan | JCZ - 02 | 01/01/2018 | GMAW | ER70S - 6 |

d. Métodos de examinación no destructivos

Para verificar que la fabricación se esté llevando a cabo de manera correcta, existen los métodos de examinación no destructivos. Los cuales se llevan a cabo por personal calificado y certificado en estos aspectos. Todo lo concerniente a estos métodos, está detallado en la sección V del ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019. Para nuestro caso, hicimos uso de 2 métodos que mencionaremos a continuación:

- **Inspección visual**

El código ASME sección V (2019), respecto a este método, nos dice que generalmente es usado para la determinación de cosas tales como la condición en la que se encuentra la superficie de una pieza, el alineamiento de superficies apareadas, la forma o evidencia de posibles fugas, etc. En este código también está estimado lo relacionado al procedimiento, criterio de aceptación, requerimientos, etc. de este método.

Para nuestro caso, hicimos uso de la inspección visual para determinar mediante observación directa de las planchas y soldadura, el estado actual del material y de existir un deterioro, identificar los

defectos, dar su ubicación, marcando y cuantificando estas zonas.

Los pasos que se siguieron para llevar a cabo este método fueron:

- Inspección visual directa
- Limpieza manual o por medios mecánicos.
- Identificación del material inspeccionado – planchas y soldadura.
- Estado superficial del material a inspeccionar.
- Tipo de cordón de soldadura inspeccionado; esto es configuración, espesor, dimensiones, geometría etc.
- Identificación y descripción de los defectos en formato gráfico.
- Marcado de los defectos.
- Registro Fotográfico.



Figura 63. Inspección visual en taller.
Certificado de calibración en anexo 5.

- **Inspección por tintes penetrantes**

El código ASME sección V (2019), nos menciona que este método es muy eficaz para poder detectar discontinuidades que se encuentren expuestas en la superficie de los metales que no son porosos y además en otros materiales. Las discontinuidades que se encuentran con mayor frecuencia son la porosidad, vueltas, costuras, laminaciones, grietas, etc. En este código también está estimado lo relacionado al procedimiento, criterio de aceptación, equipamiento, etc. de este método.

Para nuestro caso, por el tipo de material a inspeccionar y uso, se emplearon líquidos penetrantes coloreados, lavables con agua y

aplicados en aerosol. Los cuales son de la marca “MAGNAFLUX” no clorinados y de las siguientes características:

- Penetrante: SKL – WP
- Revelador: SKD – S2
- Limpiador: Agua

A continuación, describiremos de manera muy resumida el procedimiento que se llevó a cabo para realiza este método:

- Limpieza: Por medios manuales a fin de eliminar toda clase de suciedad en los cordones de soldadura.
- Aplicación penetrante: Aplicación de líquido penetrante en aerosol SKL-WP. Tiempo de penetración: 10 minutos.
- Limpieza penetrante: Eliminación del exceso de penetrante con trapo industrial humedecido en agua y secado a la brevedad.
- Aplicación del revelador: Aplicación de una capa fina y continúa del revelador en aerosol SKD-S2.
- Observación: Después de 5 minutos de aplicado el revelador se ubica, interpretan y registran las posibles discontinuidades presentes para su aceptación o rechazo.



Figura 64. Inspección por tintes penetrantes en taller.
Certificado de calidad en anexo 6.

e. Preparación superficial y pintado

Detallaremos las actividades realizadas a continuación y las iremos explicando de manera resumida a fin de un mejor entendimiento. Cabe recalcar, que toda actividad realizada, la hicimos en concordancia con las normas y estándares internacionales aplicables para este caso, garantizando así un proceso correcto.

- **Limpieza previa**

Para hacer una correcta limpieza previa de la superficie a tratar, señalamos las indicaciones que seguimos:

- Eliminar mediante herramientas mecánicas: escoria y rebabas de soldadura, así mismo, si se encuentran filos cortantes deben ser redondeados.
- Si las superficies de acero se encuentran contaminadas con grasa y/o aceite, estas deben ser lavadas con agua y detergentes industriales y luego enjuagados con agua según Norma SSPC-SP1(Limpieza con solventes). El agua debe ser de suficiente pureza y calidad que no contamine o exceda los criterios de limpieza de superficie.
- Si las superficies del acero presentan un nivel de contaminantes no visibles por encima de los límites establecidos, estas deben ser lavadas con agua. El agua debe ser de suficiente pureza y calidad que no impida que se alcance los criterios de limpieza de superficie.



Figura 65. Limpieza previa de materiales.

- **Limpieza mediante chorro abrasivo**

Después de la limpieza previa, continuamos con la limpieza por chorro abrasivo, pero antes de describirla, mencionaremos los requisitos y aspectos generales que cumplimos, correspondientes a este tipo de limpieza.

- Antes de los trabajos de chorreado abrasivo, se evaluó la calidad del aire comprimido según la Norma ASTM D4285(Método de prueba estándar para indicar aceite o agua en aire comprimido).
- Se Verificó el diámetro de boquilla y la presión a la salida de la boquilla. Para obtener mejor eficiencia la presión debe estar entre 90 psi a 100 psi.
- La preparación de superficie con chorro abrasivo, se hizo cumpliendo con la norma especificada para el sistema de pintura, SSPC-SP5.
- El perfil de rugosidad recomendado para este proyecto es de 2.5 a 3.0 mils, medido según norma ASTM D4417. Entiéndase por “mil”, a la unidad de medida de espesor de pintura, la cual es equivalente a una milésima de pulgada.
- Por recomendación y temas de seguridad laboral, las personas que realizan esta labor, deben de contar con guantes de cuero a fin de evitar la contaminación con sudor.
- Al término del chorreado abrasivo, se tuvo que limpiar con aire comprimido y con escobilla de nylon, para eliminar todo el resto del abrasivo de la preparación de superficie.
- En el caso de las superficies tratadas con abrasivos no metálicos (arena y escoria), se verificó que estamos debajo de lo admisible en cuanto a la concentración de sales remanentes en la superficie, esto de acuerdo a la norma SSPC. Los valores admisibles para superficies expuestas al medio ambiente deben ser < 50 ppm (partes por millón).

- En zonas de las estructuras donde se realizará el empalme con otra mediante soldadura en obra, se recomendó encintar los extremos con cinta Masking tape (2 pulg), para minimizar daños en la pintura aplicada.

Para este tipo de preparación de superficie, seguimos las pautas mencionadas en la norma SSPC-SP5(Limpieza mediante chorro abrasivo a metal blanco). Esta limpieza se logra haciendo impactar una partícula abrasiva sobre la superficie, que al chocar desprende las partículas extrañas a la base dejando una huella en la zona de impacto. El grado de metal blanco consiste en una limpieza de manera tal que la superficie se apreciará de un color gris blanco uniforme y metálico. La superficie mirada sin aumentos deberá estar libre de toda contaminación y apreciarse levemente rugosa para formar un perfil adecuado que permita un buen anclaje de los revestimientos.



Figura 66. Limpieza de estructuras mediante chorro abrasivo.

- **Aplicación de la pintura**

Para esta parte, mencionaremos desde los equipos de pintado hasta la aplicación de capa intermedia de pintura.

- **Equipos de pintado**

Los equipos de pintado deberán estar en perfectas condiciones para poder tener una aplicación sin problemas y lograr la

optimización de la cantidad de pintura a utilizar y el tiempo de aplicación. Debe considerarse lo siguiente:

- ✓ Elección de método de aplicación de acuerdo al tipo de pintura.
- ✓ Contar con los manómetros necesarios para la visualización de la presión de aplicación (en caso de usar equipos).
- ✓ Tener los accesorios y boquillas adecuadas para cuando se utiliza el equipo Airless.
 - a) Equipos Airless (sin aire): Una buena selección de boquilla y la presión adecuada del equipo, ayudará a que se obtenga mejor rendimiento y un trabajo de calidad.
 - b) Equipos Convencionales (con aire): Es importante considerar equipos de presión con una buena selección de las boquillas, casquillos y aguja en función al tipo de pintura a aplicarse. En estos equipos para obtener una mejor aplicación se realiza una dilución mayor que en los equipos Airless.
 - c) Brochas y rodillos: Deben ser resistentes a pinturas a base de solvente y adecuados para la aplicación de capas de acabado. Estos dispositivos son usados para resanes en zonas puntuales, aunque el acabado no será igual al aplicado con equipos.

Nosotros hicimos uso de equipos convencionales para todo el proceso de pintado de las estructuras. Además de brochas, cuando se requerían.

- **Condiciones ambientales**

Se debe de tener presente las siguientes condiciones ambientales para el pintado:

- ✓ % Humedad Relativa < 85
- ✓ T ° superficie < 45 ° C
- ✓ T ° superficie – T ° rocío ≥ 3 ° C

Las condiciones ambientales deben ser tomadas en cuenta para toda aplicación de recubrimientos, el aplicar bajo condiciones ambientales no aptas, puede traer consecuencias de falla de desprendimiento o un acabado diferente al esperado.

- **Preparación y aplicación de pintura**

Una vez preparada la superficie, limpia y seca, se procederá a la mezcla de pintura y aplicación del sistema recomendado, bajo las siguientes recomendaciones:

- ✓ La preparación de pintura debe realizarse en recipientes totalmente limpios. Se debe homogenizar la pintura por separado tanto parte A (resina) como parte B (endurecedor).
- ✓ Adicionar la parte B hacia la parte A y homogenizar con agitador eléctrico o neumático, por un tiempo máximo de 3 minutos hasta que la mezcla tome una apariencia uniforme, agregar el diluyente sólo después que la mezcla de ambos componentes haya culminado. Filtrar a otro recipiente con una malla 30 a 60 o telas de Nylon.
- ✓ Realizar la aplicación con un traslape de 50% de cada pasada, si es necesario cruce la pistola en ángulo correcto. La pistola siempre debe estar perpendicular a la superficie y a una distancia de 25 cm para un equipo convencional.
- ✓ Es mejor aplicar el recubrimiento con luz natural, si el caso requiere el uso de luz artificial, esta debe de tener una luminosidad mínima de 530 lumen / m² de preferencia luz blanca.
- ✓ Al exceder el tiempo de vida útil de la pintura (pot life), se

genera una variación de su viscosidad perdiendo sus propiedades de humectación y nivelamiento, por lo que se deberá desecharla.

- ✓ El curado en este tipo de recubrimientos se cumple a los 7 días a 25° C y dependerá de las temperaturas de la zona.

- **Aplicación de la capa base**

La aplicación de la primera capa de pintura, es la capa base. Para este caso utilizamos la pintura denominada Macropoxy 646.

Esta es una pintura epoxy modificada auto imprimante (base y acabado) de dos componentes, de altos sólidos en volumen, el cual otorga una excelente protección de cantos, esquinas y soldaduras. Su rápido secado la hace ideal para pintado de estructuras y equipos en taller, así como en el montaje. Tiene buena adherencia sobre superficies marginalmente preparadas. La mezcla necesita un tiempo de inducción de 15 a 30 minutos antes de ser aplicada.

Para la capa base, aplicamos un espesor de pintura de 4 mils en taller.

Tabla 50. Especificaciones de pintura base.

| Producto | Diluyente | %Sólidos Volumen | Proporción de mezcla | Pot life a 25° C | Repintado con el mismo producto a 25° C | |
|---------------|-----------|------------------|----------------------|------------------|---|----------|
| | | | | | Min | Máx |
| Macropoxy 646 | P33 NC | 72 +/- 2 | 1A : 1B | 4h | 3h | 12 meses |

Nota: Certificado de calidad en anexo 6.

Tabla 51. Especificaciones de aplicación de pintura base.

| Aplicación | % dilución vol. | Boquilla | Presión de atomización(psi) |
|---------------------|---------------------------|----------|-----------------------------|
| Equipo convencional | Hasta 20% | E - 704 | 60 - 65 |
| Brocha o rodillo | No se recomienda dilución | --- | --- |



Figura 67. Aplicación de 4 mils de pintura e capa base.

- **Aplicación de capa intermedia**

Después de la aplicación de la capa base, continuamos con la aplicación de la capa intermedia. La cual va entre la de base y la de acabado. Nosotros no llegamos a aplicar a capa de acabado, debido a que esta capa se recomienda aplicarla después del montaje y nuestra presente investigación no abarca ese punto.

En este caso, usaremos la pintura denominada Duraplate UHS. Esta pintura es un epoxy amina cicloalifática ultra alta en sólidos, que presenta un sistema de entintado en varios colores, diseñado especialmente para protección contra exposiciones agresivas. El alto contenido de sólidos y baja tensión superficial permite una superior retención de pintura en vértices y ángulos. Tiene características superiores a los epóxicos convencionales.

Posee un excelente desempeño en inmersión de petróleo crudo, hidrocarburos, agua de mar, solventes, y otros agentes químicos. Gran resistencia en ambientes expuestos a ácidos y álcalis como: plantas químicas, refinerías de cobre, plantas de ácidos y otros ambientes agresivos.

No es recomendable mezclar pintura recientemente preparada con otra pintura de la mezcla anterior, No utilizar el material por tiempo mayor a la vida útil de la mezcla.

Para la capa intermedia, aplicamos un espesor de pintura de 7 mils sobre los 4 mils de la capa base, en taller.

Tabla 52. Especificaciones de pintura intermedia.

| Producto | Diluyente | %Sólidos Volumen | Proporción de mezcla | Pot life a 25° C | Repintado con el mismo producto a 25° C | |
|---------------|---------------|------------------|----------------------|------------------|---|---------|
| | | | | | Min | Máx |
| Duraplate UHS | P215 o P33 NC | 98 +/- 2 | 4A : 1B | 45 min | 14 h | 14 días |

Nota: Certificado de calidad en anexo 6.

Tabla 53. Especificaciones de aplicación de pintura intermedia.

| Aplicación | % dilución vol. | Boquilla | Presión de atomización(psi) |
|---------------------|-----------------|----------|-----------------------------|
| Equipo convencional | --- | --- | --- |
| Brocha o rodillo | No requiere | --- | --- |



Figura 68. Aplicación de 7 mils de pintura en capa intermedia.



Figura 69. Preparación de pintura según proporción de mezcla indicada.



Figura 70. Aplicación de pintura a estructuras en taller.

- **Inspección**

Se debe de contar con los equipos de inspección y control de calidad calibrados y en óptimas condiciones, como mínimo: psicrómetro, termómetro de superficie y medidor de espesores de película seca. Certificado de homologación de pintor en anexo 4.

- **Equipos de inspección**

- ✓ Psicrómetro tipo bacharach:
Mide el % de humedad relativa.



Figura 71. Psicrómetro.
Certificado de calibración en anexo 5.

- ✓ Termómetro de superficie:
Mide la temperatura de la superficie a pintar.



Figura 72. Termómetro de superficie.
Certificado de calibración anexo 5.

- ✓ Medidor digital de película seca (mils y micrones)
Mide el espesor de pintura.



Figura 73. Medidor digital de película seca.
Certificado de calibración en anexo 5.

f. Costos de fabricación y presupuesto

Para obtener un presupuesto aproximado y los costos de fabricación, seguimos los pasos que mencionamos a continuación:

- Calculamos el peso de todas las planchas y materiales de acero al carbono que utilizamos en la fabricación, para así poder obtener un costo estimado cuando usemos el análisis de precio unitario. Para la obtención de los pesos de los materiales, hicimos uso de catálogos de acero, ver anexo 7.
- Calculamos también el área de las planchas y materiales, elemento por elemento, esto con el fin de poder obtener un costo estimado para los trabajos de tratamiento y recubrimiento superficial, cuando usemos el análisis de precio unitario.
- Detallamos el costo unitario de horas trabajadas del personal, insumos, equipos, etc, por día en tablas de partidas, haciendo uso del análisis de precio unitario.
- Con todo lo anterior obtenido, elaboramos una tabla de costo directo, donde colocamos cantidades, precios unitarios y el precio acumulado.

Tabla 55. Partida de capacitaciones e inducción.

| Partida | CAPACITACIONES E INDUCCIÓN | | | | Rendimiento: | 1.00 | GLB / día |
|------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|----------------|------------------------|---------------|-----------|
| Descripción de insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio(\$/.) | Parcial | | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| Ing. de Calidad | HH | 0.100 | 0.8000 | 100.00 | 80.00 | | |
| Ing. de Seguridad | HH | 0.100 | 0.8000 | 80.00 | 80.00 | | |
| Técnico / Ayudante | HH | 0.400 | 0.0032 | 55.00 | 0.18 | | |
| | | | | | 160.18 | | |
| Insumos | | | | | | | |
| Utiles de oficina | GLB | - | 1.0000 | 550.00 | 550.00 | | |
| | | | | | 550.00 | | |
| Equipo | | | | | | | |
| Fotocopiadora multiuso | HM | 0.800 | 1.0000 | 8000.00 | 80.00 | | |
| | | | | | 80.00 | | |
| | | | | | Costo unitario por GLB | 790.18 | |

Nota: Análisis de precio unitario.

Tabla 56. Partida de corte y biselado.

| Partida | CORTE Y BISELADO DE MATERIALES | | | | Rendimiento: | 1000 | Kg / día |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------|----------|----------------|-----------------------|-------------|----------|
| Descripción de insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio(\$/.) | Parcial | | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| Jefe de equipo | HH | 0.100 | 0.0008 | 90.00 | 0.07 | | |
| Armador / Corte | HH | 0.800 | 0.0064 | 80.00 | 0.51 | | |
| Operario | HH | 0.800 | 0.0064 | 80.00 | 0.51 | | |
| Ayudante | HH | 1.600 | 0.0128 | 55.00 | 0.70 | | |
| | | | | | 1.80 | | |
| Insumos | | | | | | | |
| Oxígeno | M3 | - | 0.0125 | 21.28 | 0.27 | | |
| Gas | Kg | - | 0.0125 | 16.65 | 0.21 | | |
| Discos | Und | - | 0.0125 | 24.05 | 0.30 | | |
| | | | | | 0.78 | | |
| Equipo | | | | | | | |
| Herramientas manuales | %MO | | 4.0000 | 1.80 | 0.07 | | |
| Equipo de corte | HM | 0.800 | 0.0064 | 7.60 | 0.05 | | |
| Esmeril | HM | 0.800 | 0.0064 | 9.50 | 0.06 | | |
| | | | | | 0.18 | | |
| | | | | | Costo unitario por Kg | 2.76 | |

Nota: Análisis de precio unitario.

Tabla 57. Partida de fabricación del tanque de almacenamiento.

| Partida | FABRICACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO | | | | Rendimiento: | 1000.00 | Kg / día |
|-----------------------|--|-----------|----------|--------------|-----------------------|-------------|----------|
| Descripción de insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio(S/.) | Parcial | | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| Jefe de equipo | HH | 0.100 | 0.0008 | 90.00 | 0.07 | | |
| Operario | HH | 0.400 | 0.0032 | 80.00 | 0.26 | | |
| Soldador GMAW | HH | 2.400 | 0.0192 | 100.00 | 1.92 | | |
| Ayudante | HH | 0.400 | 0.0032 | 55.00 | 0.18 | | |
| | | | | | 2.43 | | |
| Insumos | | | | | | | |
| Oxígeno | M3 | - | 0.0014 | 21.28 | 0.03 | | |
| Soldadura | Kg | - | 0.0049 | 27.75 | 0.14 | | |
| Gas | Kg | - | 0.0007 | 16.65 | 0.01 | | |
| Discos | Und | - | 0.0006 | 24.05 | 0.01 | | |
| | | | | | 0.19 | | |
| Equipo | | | | | | | |
| Herramientas manuales | %MO | | 5.0000 | 3.06 | 0.15 | | |
| Montacarga maniobra | HM | 0.800 | 0.0064 | 180.00 | 1.15 | | |
| Máquina de soldar | HM | 1.600 | 0.0128 | 38.00 | 0.49 | | |
| Equipo de corte | HM | 0.800 | 0.0064 | 7.60 | 0.05 | | |
| Esmeril | HM | 1.600 | 0.0128 | 9.50 | 0.12 | | |
| | | | | | 1.96 | | |
| | | | | | Costo unitario por Kg | 4.58 | |

Nota: Análisis de precio unitario.

Tabla 58. Partida de inspección por tintes penetrantes.

| Partida | INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES | | | | Rendimiento: | 1 | GLB / día |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------|----------|--------------|------------------------|----------------|-----------|
| Descripción de insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio(S/.) | Parcial | | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| Ing. de calidad | HH | 0.100 | 0.8000 | 100.00 | 80.00 | | |
| Técnico en calidad | HH | 0.400 | 3.2000 | 80.00 | 256.00 | | |
| | | | | | 336.00 | | |
| Insumos | | | | | | | |
| Limpiador/Tintes/Revelador | Und | - | 10.0000 | 70.22 | 702.200 | | |
| Gas | Kg | - | 6.0000 | 4.00 | 24.00 | | |
| | | | | | 726.20 | | |
| Equipo | | | | | | | |
| Herramientas manuales | %MO | | 5.0000 | 336.00 | 16.80 | | |
| | | | | | 16.80 | | |
| | | | | | Costo unitario por GLB | 1079.00 | |

Nota: Análisis de precio unitario.

Tabla 59. Partida de arenado y pintado de estructuras.

| Partida | ARENADO Y PINTADO DE ESTRUCTURAS | | | | Rendimiento: | 90.00 | M2 / día |
|-----------------------|---|-----------|----------|---------------|-----------------------|--------------|----------|
| Descripción de insumo | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio(\$/.) | Parcial | | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| Jefe de equipo | HH | 0.100 | 0.0111 | 90.00 | 1.00 | | |
| Operario pintor | HH | 1.200 | 0.1333 | 80.00 | 10.67 | | |
| Operario de compresor | HH | 0.600 | 0.0667 | 80.00 | 5.33 | | |
| Ayudante / Tolvero | HH | 3.600 | 0.4000 | 55.00 | 22.00 | | |
| | | | | | 39.00 | | |
| Insumos | | | | | | | |
| Consumibles (Arenado) | GLB | - | 0.9000 | 4.32 | 3.89 | | |
| Pintura y diluyente | GLB | - | 0.1500 | 172.80 | 25.92 | | |
| | | | | | 29.81 | | |
| Equipo | | | | | | | |
| Herramientas manuales | %MO | | 5.0000 | 39.00 | 1.95 | | |
| Equipo de arenado | HM | 0.800 | 0.0711 | 25.80 | 1.83 | | |
| Compresora | HM | 0.800 | 0.0711 | 78.20 | 5.56 | | |
| Equipo de pintura | HM | 0.800 | 0.0711 | 20.50 | 1.46 | | |
| | | | | | 10.8 | | |
| | | | | | Costo unitario por M2 | 79.61 | |

Nota: Análisis de precio unitario.

- **Costo directo del tanque de almacenamiento**

Con la ayuda de lo anterior detallado en las tablas de áreas-pesos de materiales para fabricación de tanque y tablas de partidas, mostramos la siguiente tabla de costo de directo:

Tabla 60. Costo directo de fabricación del tanque.

| Suministro y Fabricación del Tanque de Almacenamiento | PRESUPUESTO GENERAL | | | |
|---|---------------------|----------|--|---------------------|
| | Und | Cantidad | Precio Unitario(PU) en Nuevos Soles | Acumulado (\$/.) |
| Suministro para fabricación del Tanque de Almacenamiento | | | | |
| Capacitaciones e inducción del personal | | | | |
| Capacitaciones e inducción | GLB | 1.00 | 790.18 | 790.18 |
| Suministro de materiales mecánicos | | | | |
| Plancha ASTM A-36, 6 x 2400 x 6000 mm | Und | 22 | 2088.34 | 45943.48 |
| Plancha ASTM A-36, 8 x 2400 x 6000 mm | Und | 8 | 2785.31 | 22282.48 |
| Plancha ASTM A-36, 9 x 2400 x 6000 mm | Und | 8 | 3133.47 | 25067.76 |
| Ángulo "L" A-36, 2" x 1/4" x 6000 mm | Und | 18 | 87.8 | 1580.4 |
| Ángulo "L" A-36, 2 1/2" x 1/4" x 6000 mm | Und | 28 | 112.8 | 3158.4 |
| Ángulo "L" A-36, 2" x 3/16" x 6000 mm | Und | 22 | 67 | 1474 |
| Ángulo "L" A-36, 3" x 1/4" x 6000 mm | Und | 8 | 134.72 | 1077.76 |
| Viga UPN 100 x 6000 mm, ASTM A-36 | Und | 16 | 200 | 3200 |
| Canal "U" ASTM A-36, 10" x 15.3 x 6000 mm | Und | 6 | 420.6 | 2523.6 |
| Canal "U" ASTM A-36, 4" x 5.4 x 6000 mm | Und | 2 | 148.6 | 297.2 |
| Viga H ASTM A-36, 4" x 13 x 6000 mm | Und | 2 | 357.6 | 715.2 |
| Viga WT ASTM A-36, 5" x 11 x 6000 mm | Und | 7 | 300 | 2100 |
| Viga WT ASTM A-36, 5" x 50 x 6000 mm | Und | 1 | 1364 | 1364 |
| Tubería SCH40 A-53, 4" x 6000 mm | Und | 3 | 50 | 150 |
| Tubería SCH40 A-53, 8" x 500 mm | Und | 0.0833 | 132.43 | 11 |
| BridaSlip On de 4" de 150Lb, ASTM-A105 | Und | 1 | 40 | 40 |
| BridaSlip On de 8" de 150Lb, ASTM-A105 | Und | 5 | 86.63 | 433.15 |
| BridaSlip On de 24" de 150Lb, ASTM-A105 | Und | 2 | 643.15 | 1286.3 |
| Fabricación del tanque de almacenamiento | | | | |
| Corte y biselado | Kg | 36548.87 | 2.76 | 100874.9 |
| Fabricación del tanque de almacenamiento | Kg | 36548.87 | 4.58 | 167393.8 |
| Inspección por tintes penetrantes | GLB | 1.00 | 1079 | 1079 |
| Arenado y recubrimiento superficial del tanque de almacenamiento | | | | |
| Arenado y pintado de estructuras | M2 | 1325.72 | 79.61 | 105540.6 |
| COSTO DIRECTO EN NUEVOS SOLES (\$/.) | | | | 488383.21 |

- **Presupuesto del proyecto**

Con los datos obtenidos de las tablas y los costos, procedimos a elaborar la siguiente tabla de presupuesto del proyecto:

Tabla 61. Presupuesto del proyecto.

| DESCRIPCIÓN | TOTAL (S/.) |
|---------------------------|------------------|
| Costo directo | 488383.21 |
| Gastos generales (19.10%) | 93281.19 |
| Utilidad (10%) | 48838.32 |
| Total facturar (sin igv) | 630502.72 |
| Igv (18%) | 113490.49 |
| Monto a facturar | 743993.21 |

g. Cronograma de ejecución de actividades

Presentaremos a continuación las actividades realizadas a lo largo del desarrollo del presente trabajo, debidamente ordenadas en tabla y además la respectiva grafica correspondiente:

Tabla 62. Especificación de actividades por día.

| Nombre de tarea | Comienzo | Duración en días | Fin |
|---|------------|------------------|------------|
| ACTIVIDADES PRELIMINARES | 2/09/2019 | 26 | 27/09/2019 |
| Reunión de inicio (kickoff meeting) | 2/09/2019 | 1 | 2/09/2019 |
| Visita de validación de documentos de ingeniería y seguridad | 3/09/2019 | 5 | 7/09/2019 |
| Capacitaciones específicas adicionales de personal con fotocheck | 3/09/2019 | 5 | 7/09/2019 |
| Exámenes médicos, inducción y capacitaciones específicas de personal nuevo | 3/09/2019 | 25 | 27/09/2019 |
| INGENIERÍA | 3/09/2019 | 14 | 16/09/2019 |
| Memoria de cálculo de tanque según norma API 650 (en reemplazo de anillos N° 4, 5, 6 y techo auto soportado) | 3/09/2019 | 2 | 4/09/2019 |
| Plano de arreglo general de tanque (vista de planta, elevación y detalles) | 4/09/2019 | 3 | 6/09/2019 |
| Plano de habilitado y rolado de planchas de 2 m de altura para anillos de casco cilíndrico | 8/09/2019 | 1 | 8/09/2019 |
| Plano de habilitado de planchas de techo auto soportado | 9/09/2019 | 1 | 9/09/2019 |
| Plano de habilitado de anillo rigidizador | 10/09/2019 | 1 | 10/09/2019 |
| Plano de fabricación de estructura soporte de techo auto soportado | 10/09/2019 | 4 | 13/09/2019 |
| Plano de fabricación de accesorios en techo auto soportado | 15/09/2019 | 2 | 16/09/2019 |
| FABRICACIÓN EN TALLER | 9/09/2019 | 17 | 25/09/2019 |
| Compra de acero | 9/09/2019 | 3 | 11/09/2019 |
| Habilitado, rolado, biselado de planchas para anillos de casco cilíndrico | 12/09/2019 | 8 | 19/09/2019 |
| Habilitado, biselado de planchas de techo auto soportado | 15/09/2019 | 5 | 19/09/2019 |
| Habilitado, rolado de ángulo de anillo rigidizador | 16/09/2019 | 3 | 18/09/2019 |
| Soldeo de estructuras de techo auto soportado(radiales y tijerales) | 20/09/2019 | 6 | 25/09/2019 |
| Soldeo de accesorios de techo auto soportado | 22/09/2019 | 2 | 23/09/2019 |
| PRUEBA Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN TALLER | 19/09/2019 | 2 | 20/09/2019 |
| Inspección visual | 19/09/2019 | 1 | 19/09/2019 |
| Inspección por tintes penetrantes | 20/09/2019 | 1 | 20/09/2019 |
| PREPARACIÓN SUPERFICIAL Y PINTADO EN TALLER | 21/09/2019 | 10 | 30/09/2019 |
| Arenado y pintado de capa base de planchas para anillos de casco cilíndrico | 21/09/2019 | 9 | 29/09/2019 |
| Arenado y pintado de capa base de estructuras soporte de techo auto | 23/09/2019 | 7 | 29/09/2019 |
| Arenado y pintado en capa base de ángulo de anillo | 26/09/2019 | 4 | 29/09/2019 |
| Arenado y pintado de capa base de accesorios de techo auto soportad | 28/09/2019 | 2 | 29/09/2019 |
| Medicion de Spot por mils | 29/09/2019 | 2 | 30/09/2019 |
| DESPACHO DE MATERIALES | 1/10/2019 | 2 | 2/10/2019 |

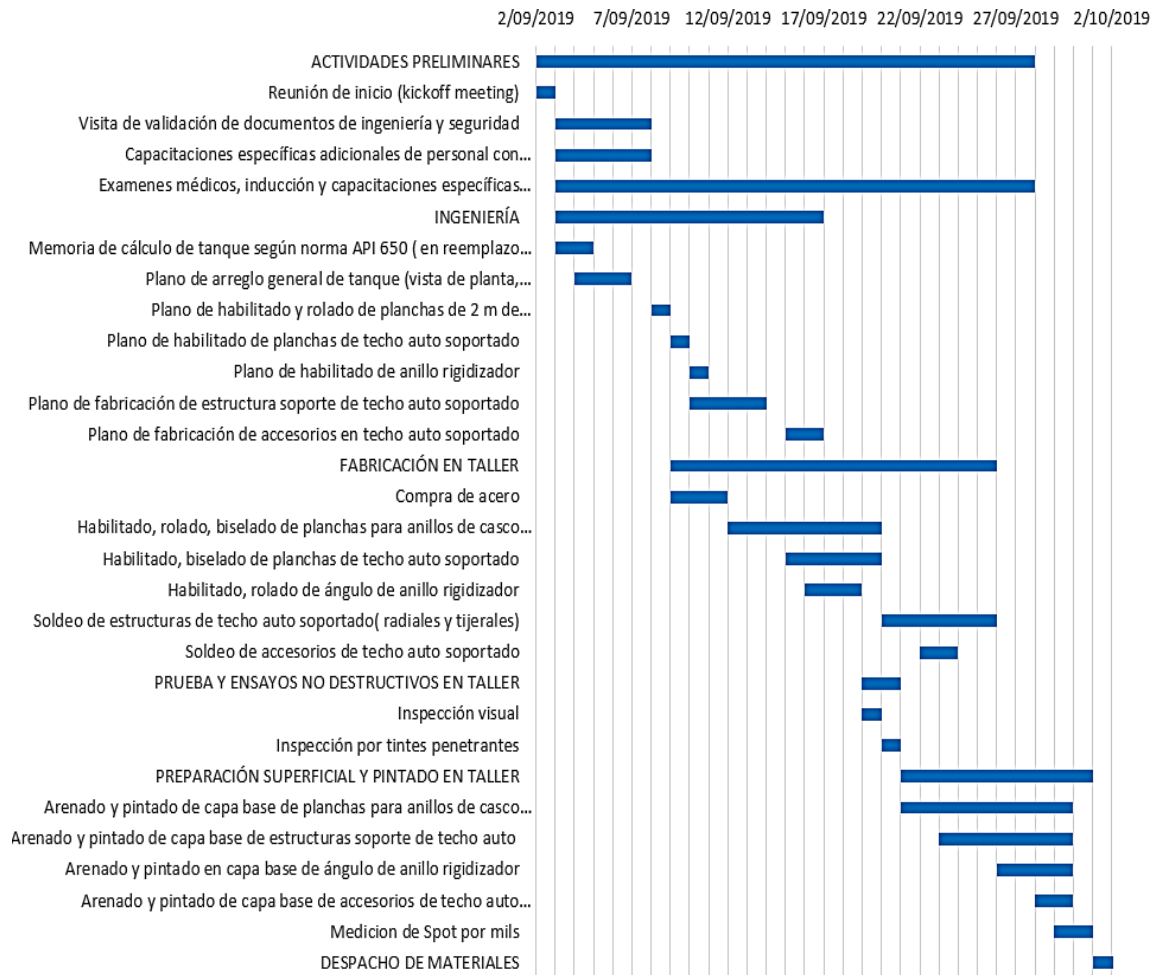


Figura 74. Cronograma de ejecución de actividades.

Para llevar un mejor control de los tiempos de ejecución de las actividades mencionadas en el cronograma, elaboramos un diagrama de la curva “S”. Así podemos ver de manera gráfica si nuestro proyecto está atrasado, adelantado o normal en cuanto a tiempo día por día. Las valorizaciones se tomaron en cuenta, desde que se tuvieron los materiales en el taller hasta el fin de toda actividad realizada en el mismo. El monto sobre el que se trabajó, fue el que obtuvimos en la tabla 60, el de costo directo, antes de agregar utilidades, igv o algún otro porcentaje, por ser temas de impuestos que se agregan al final de todo. A continuación, mostramos la curva “S” del proyecto y su respectiva tabla de elaboración, la cual ayudó a medir el progreso del avance, permitiéndonos ver el porcentaje de desarrollo de los trabajos diariamente:

Tabla 63. Avance programado vs Avance ejecutado.

| AVANCE PROGRAMADO VS AVANCE EJECUTADO | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------------|-----------|
| OBRA: | Fabricacion de anillos N°4, 5, 6 y techo auto soportado de tanque de almacenamiento | | | | | | | | FECHA BASE : | 2/09/2019 |
| EJECUTA: | Pentatech S.A.C. | | | | | | | | PLAZO(d.c.): | 31 días |
| UBICACIÓN: | Cajamaquilla - San Juan de Lurigancho | | | | | | | | | |
| VALORIZACIONES | PROGRAMADO | | | | EJECUTADO | | | | ESTADO DE LA OBRA | |
| | ACTUAL | | ACUMULADO | | ACTUAL | | ACUMULADO | | | |
| | % | MONTO S/. | % | MONTO S/. | % | MONTO S/. | % | MONTO S/. | | |
| 12/09/2019 | 3.20% | 22,920.00 | 3.20% | 22,920.00 | 2.85% | 20,413.13 | 2.85% | 20,413.13 | - | -0.35% |
| 13/09/2019 | 3.10% | 22,321.00 | 6.30% | 45,241.00 | 2.65% | 19,080.85 | 5.50% | 39,493.98 | - | -0.80% |
| 14/09/2019 | 3.00% | 21,922.00 | 9.30% | 67,163.00 | 2.75% | 20,095.17 | 8.25% | 59,589.15 | - | -1.05% |
| 15/09/2019 | 3.75% | 23,423.00 | 13.05% | 90,586.00 | 3.45% | 23,049.16 | 11.70% | 82,638.31 | - | -1.35% |
| 16/09/2019 | 3.05% | 22,024.00 | 16.10% | 112,610.00 | 3.95% | 23,726.00 | 15.65% | 106,364.31 | - | -0.45% |
| 17/09/2019 | 3.15% | 22,525.00 | 19.25% | 135,135.00 | 4.10% | 24,318.25 | 19.75% | 130,682.56 | + | 0.50% |
| 18/09/2019 | 4.00% | 23,926.00 | 23.25% | 159,061.00 | 4.15% | 24,823.23 | 23.90% | 155,505.79 | + | 0.65% |
| 19/09/2019 | 3.80% | 23,627.00 | 27.05% | 182,688.00 | 4.20% | 25,311.06 | 28.10% | 180,816.85 | + | 1.05% |
| 20/09/2019 | 9.60% | 33,028.00 | 36.65% | 215,716.00 | 9.40% | 34,439.92 | 37.50% | 215,256.77 | + | 0.85% |
| 21/09/2019 | 9.70% | 33,129.00 | 46.35% | 248,845.00 | 9.45% | 34,555.25 | 46.95% | 249,812.02 | + | 0.60% |
| 22/09/2019 | 9.10% | 32,530.00 | 55.45% | 281,375.00 | 9.40% | 34,439.92 | 56.35% | 284,251.94 | + | 0.90% |
| 23/09/2019 | 7.50% | 28,031.00 | 62.95% | 309,406.00 | 7.60% | 28,504.75 | 63.95% | 312,756.69 | + | 1.00% |
| 24/09/2019 | 7.40% | 27,832.00 | 70.35% | 337,238.00 | 7.20% | 27,179.78 | 71.15% | 339,936.47 | + | 0.80% |
| 25/09/2019 | 7.40% | 27,833.00 | 77.75% | 365,071.00 | 7.25% | 27,368.82 | 78.40% | 367,305.29 | + | 0.65% |
| 26/09/2019 | 7.45% | 27,934.00 | 85.20% | 393,005.00 | 6.80% | 27,022.72 | 85.20% | 394,328.01 | + | 0.00% |
| 27/09/2019 | 3.35% | 23,135.00 | 88.55% | 416,140.00 | 3.50% | 23,165.45 | 88.70% | 417,493.46 | + | 0.15% |
| 28/09/2019 | 3.30% | 23,036.00 | 91.85% | 439,176.00 | 3.65% | 23,378.56 | 92.35% | 440,872.02 | + | 0.50% |
| 29/09/2019 | 3.25% | 22,937.00 | 95.10% | 462,113.00 | 3.60% | 23,305.98 | 95.95% | 464,178.00 | + | 0.85% |
| 30/09/2019 | 4.90% | 26,270.21 | 100.00% | 488,383.21 | 4.05% | 24,205.21 | 100.00% | 488,383.21 | | 0.00% |
| TOTAL ACUM. | 100% | 488,383.21 | | | 100% | 488,383.21 | | | | |

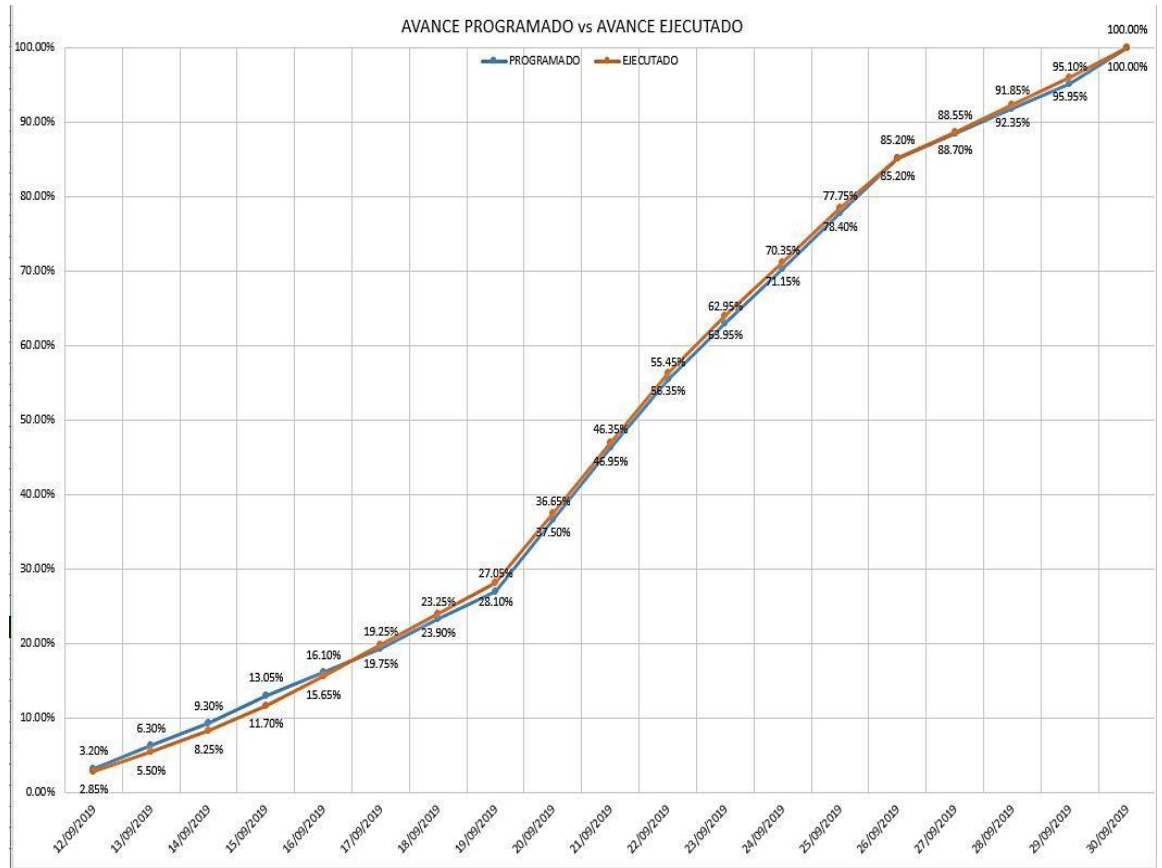


Figura 75. Diagrama de curva S de Avance programado vs Avance ejecutado.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados

- **Resultados de objetivo específico 1.** Determinar parámetros de diseño. Los resultados de los parámetros de diseño se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 64. Resultado de los parámetros de diseño.

| | |
|---------------------------------|---|
| Velocidad de diseño del viento | 78.10 Km/h |
| Lugar | San Juan de Lurigancho, Lima, Lima |
| Zona sísmica N° | 4 |
| Factor de zona | 0.45 |
| Peso específico ácido sulfúrico | 1830 Kgf/m3 |
| Peso específico A36 | 7850 Kgf/m3 |

En la tabla 64 visualizamos los resultados obtenidos en base a las normas descritas en el subcapítulo 2.3.7 de la presente investigación.

- **Resultados de objetivo específico 2.** Diseñar anillos y techo auto soportado.

Se presentan los resultados de diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical, tales como dimensionamiento, cargas de diseño, esfuerzos debido a las fuerzas sísmica, esfuerzos debido a la fuerza hidrostática, esfuerzos combinados anulares de tensión, la relación de diseño y la estabilidad.

Tabla 65. Resultado del dimensionamiento del tanque vertical.

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Espesor del anillo N°1 | 16.5 mm |
| Espesor del anillo N°2 | 13 mm |
| Espesor del anillo N°3 | 9.5 mm |
| Espesor del anillo N°4 | 9 mm |
| Espesor del anillo N°5 | 8 mm |
| Espesor del anillo N°6 | 6 mm |
| Espesor del techo auto soportado | 6 mm |

| | |
|--|------------------------|
| Angulo del elemento cónico | 9.5° |
| Vigas rigidizadoras intermedias | No se necesitan |
| Anillo rigidizador superior | 75x75x6 mm |
| Diámetro de la boquilla de aforamiento en el techo | 4 pulg |
| Diámetro de la boquilla de venteo en el techo | 8 pulg |
| Diámetro del manhole del techo | 600 mm |

Tabla 66. Resultado de las cargas de diseño del tanque vertical.

| | |
|--|---------------------|
| Carga muerta ($W_s + W_r + W_f$) | 73.72 tnf. |
| Carga viva L_r | 18.34 tnf. |
| Carga de viento W | 3.49 tnf. |
| Carga de líquido almacenado W_p | 3422.1 tnf. |
| Peso efectivo del líquido impulsivo W_i | 2489.58 tnf. |
| Peso efectivo del líquido convectivo W_c | 978.33 tnf. |

Tabla 67. Resultado de los esfuerzos debido a las fuerzas sísmicas.

| Anillo | $N_i(N/mm)$ | $N_c(N/mm)$ |
|----------|---------------|---------------|
| Numero 6 | 37.60 | 102.00 |
| Numero 5 | 148.06 | 62.84 |
| Numero 4 | 235.62 | 39.09 |
| Numero 3 | 300.29 | 24.97 |
| Numero 2 | 342.07 | 16.97 |
| Numero 1 | 360.95 | 13.14 |

Tabla 68. Resultado de los esfuerzos debido a la presión hidrostática del líquido.

| Anillo | $N_h(N/mm)$ |
|----------|----------------|
| Numero 6 | 80.79 |
| Numero 5 | 350.07 |
| Numero 4 | 619.35 |
| Numero 3 | 888.64 |
| Numero 2 | 1157.92 |
| Numero 1 | 1427.21 |

Tabla 69. Resultado de los esfuerzos combinados de anulares de tensión.

| Anillo | $\sigma_T(N/mm^2)$ |
|----------|--------------------|
| Numero 6 | 31.58 |
| Numero 5 | 63.86 |
| Numero 4 | 95.35 |
| Numero 3 | 125.26 |
| Numero 2 | 115.42 |
| Numero 1 | 108.39 |

Tabla 70. Resultados de la relación de diseño.

| Anillo | <i>ratio de diseño</i> |
|----------|------------------------|
| Numero 6 | 0.19 |
| Numero 5 | 0.39 |
| Numero 4 | 0.59 |
| Numero 3 | 0.78 |
| Numero 2 | 0.72 |
| Numero 1 | 0.68 |

Tabla 71. Resultado de la estabilidad del tanque.

| | |
|--|----------------------|
| Momento de volteo M_{rw} | 4194.16 tnf-m |
| Fuerza resistente al volteo w_a | 36565.995 N/m |
| Gravedad especifica efectiva de la sustancia G_e | 1.43 |
| parámetro de aceleración sísmico vertical A_v | 0.55g |
| Ratio de anclaje | 4.09 |

En la tabla 70, se aprecia que las relaciones de diseño son menores que 1 así confirmamos el óptimo diseño de los anillos del tanque vertical, esta relación se llegó a calcular entre los resultados obtenidos de la tabla 69 con el esfuerzo admisible del A36.

En la tabla 71, para obtener una mejor estabilidad del tanque vertical, se llegará a modificar el anillo anular colocando platinas con soldaduras traslapadas.

- **Resultados de objetivo específico 3.** Validar resistencia, rigidez y estabilidad.

La simulación del tanque vertical, se realizó mediante el programa SAP 2000 y obtuvimos los siguientes resultados en base a la resistencia, rigidez y estabilidad del tanque vertical.

Tabla 72. Resultado de la simulación del tanque vertical.

| | |
|---|----------------------|
| Desplazamientos del comportamiento de la deformada de la combinación 3 respecto al espectro modal | 8.93mm |
| Desplazamientos del comportamiento de la deformada de la combinación 4 respecto al espectro modal | 0.44mm |
| Periodo máximo respecto al espectro modal | 4.45 s |
| Periodo mínimo respecto al espectro modal | 0.13 s |
| Momento de la carga de sismo respecto al espectro modal | 2083.55 tnf-m |
| Carga de la combinación 3 respecto a la carga hidrostática. | 1685.82 N/mm |
| Carga de la combinación 4 respecto a la carga hidrostática. | 25.54 N/mm |

Los valores de la tabla 72, son los resultados de la simulación con respecto a las combinaciones 3 y 4. Al usar dichas combinaciones nos brindan un mejor análisis estructural.

A continuación, se presentan las figuras del comportamiento de la carga hidrostática, de las combinaciones 3 y 4.

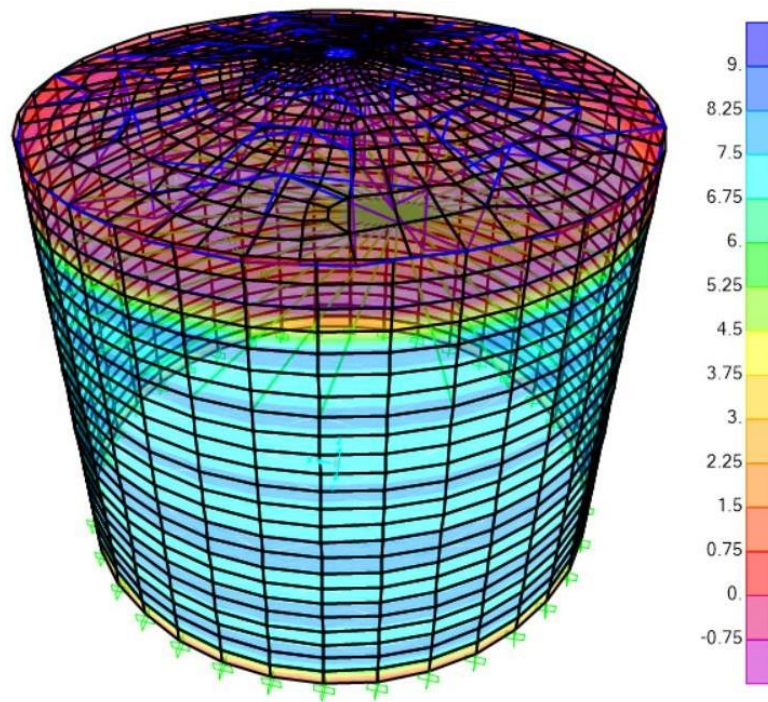


Figura 76. Comportamiento respecto a las cargas hidrostáticas.

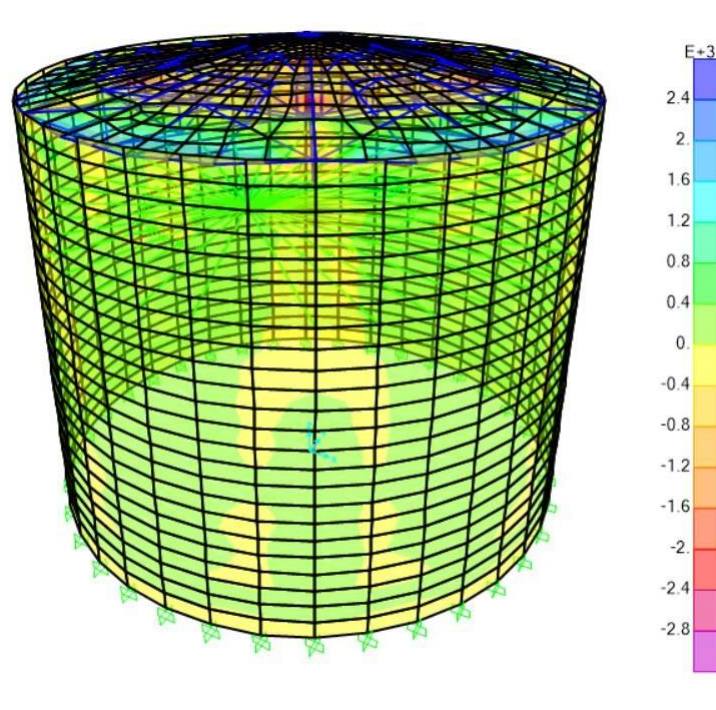


Figura 77. Comportamiento de la combinación 4.

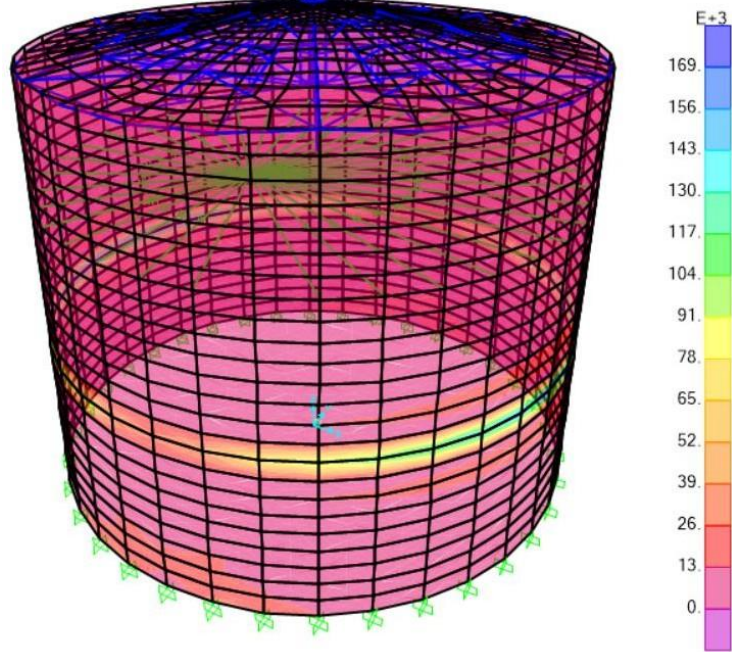


Figura 78. Comportamiento de la combinación 3.

Tabla 73. Resultado de la simulación del techo auto soportado.

| | |
|---|-----------------|
| Desplazamiento del comportamiento de la combinación N°3 con la cobertura del techo. | 1.57mm |
| Deflexión en el canal C10x15.3 | 0.204 mm |
| Relación de diseño para el canal C10x15.3. | 0.007 |
| Relación de diseño para el ángulo L2x1/4". | 0.002 |

Los valores de la tabla 73, son los resultados de la simulación con respecto a la combinación 3. Al usar dicha combinación brinda un mejor análisis estructural en la cobertura.

A continuación, se presentan las figuras del comportamiento de la cobertura, de las combinaciones 3.

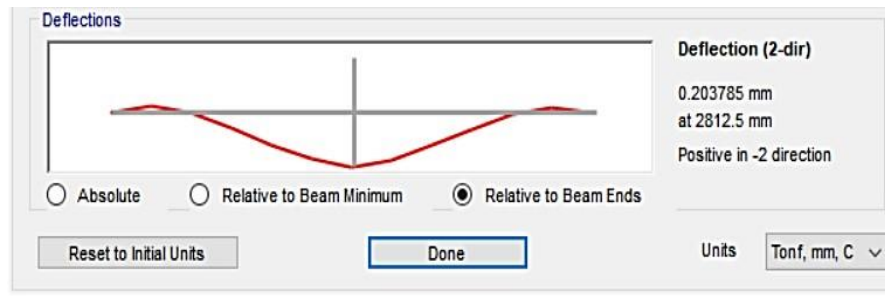


Figura 79. Verificación de la deflexión en el canal C10x15.3.

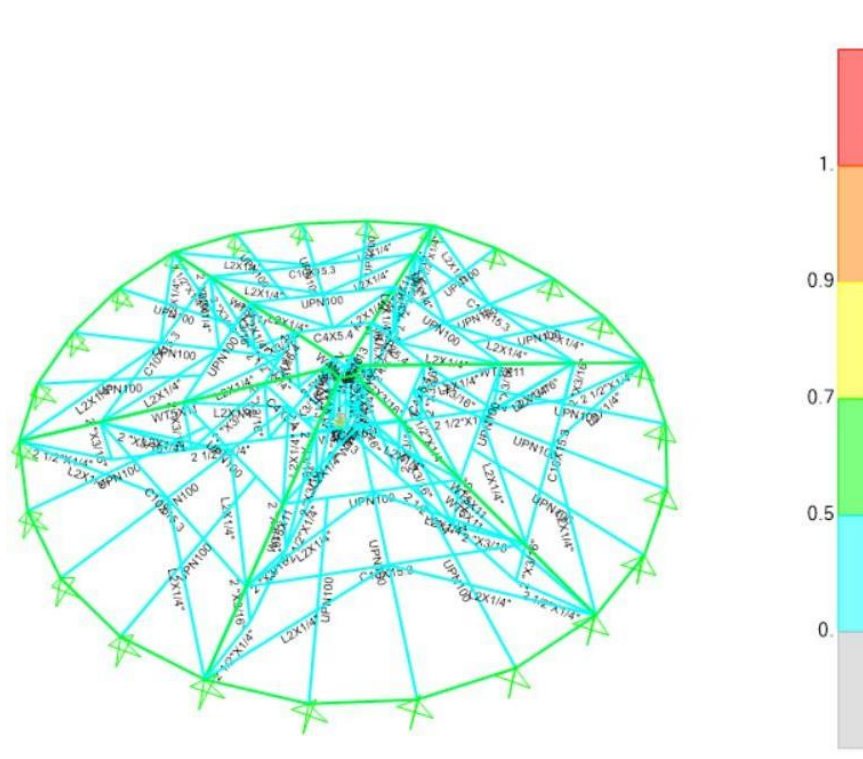


Figura 80. Simulación de relaciones de diseño en la cobertura del techo.

- **Resultados de objetivo específico 4.** Desarrollo del procedimiento de fabricación.

Se desarrolló el procedimiento de fabricación, mediante nuestra propuesta de 7 etapas estratégicamente seleccionadas.

Se presentan las etapas y los resultados obtenidos en cada una de ellas a continuación.

- **ETAPA I: Selección de materiales**

Tabla 74. Denominaciones y materiales.

| DENOMINACIÓN DE PLANCHAS | MATERIAL |
|---------------------------------------|------------|
| Plancha de 6 mm x 2400 mm x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Plancha de 8 mm x 2400 mm x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Plancha de 9 mm x 2400 mm x 6000 mm | ASTM A-36 |
| DENOMINACIÓN DE ÁNGULOS | MATERIAL |
| Ángulo "L" de 2" x 1/4" x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Ángulo "L" de 2 1/2" x 1/4" x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Ángulo "L" de 2" x 3/16" x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Ángulo "L" de 3" x 1/4" x 6000 mm | ASTM A-36 |
| DENOMINACIÓN DE CANALES | MATERIAL |
| Canal "U" de 10" x 15.3 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Canal "U" de 4" x 5.4 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| DENOMINACIÓN DE VIGAS | MATERIAL |
| Viga "H" de 4" x 13 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Viga UPN 100 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Viga WT de 5" x 11 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| Viga WT de 5" x 11 x 6000 mm | ASTM A-36 |
| DENOMINACIÓN DE TUBERÍAS | MATERIAL |
| Tubería SCH 40 de 4" x 6000 mm | ASTM A-53 |
| Tubería SCH 40 de 8" x 500 mm | ASTM A-53 |
| DENOMINACIÓN DE BRIDAS | MATERIAL |
| Brida Slip On 4" de 150 Lb | ASTM A-105 |
| Brida Slip On 8" de 150 Lb | ASTM A-105 |
| Brida Slip On 24" de 150 Lb | ASTM A-105 |

- **ETAPA II: Especificaciones de planchas**

Tabla 75. Especificaciones y ubicación de planchas.

| Especificaciones de planchas | Ubicación |
|---|--------------------|
| Plancha ASTM A36 de 9mm x 2400mm x 6000mm | Anillo N°4 |
| Plancha ASTM A36 de 8mm x 2400mm x 6000mm | Anillo N°5 |
| Plancha ASTM A36 de 6mm x 2400mm x 6000mm | Anillo N°6 y Techo |

Tabla 76. Actividades realizadas en las planchas.

| ACTIVIDAD REALIZADA | DESCRIPCIÓN |
|----------------------|---|
| Corte de planchas | Para esta actividad se manejó una tolerancia de +/- 3mm, con respecto a las líneas trazadas. |
| Biselado de planchas | Se manejó un ángulo de 45° para esta actividad. |
| Rolado de planchas | Para esta actividad se manejó una tolerancia de +/- 13mm, con respecto a las líneas trazadas. Para mejor uniformidad en el acabado, se utilizaron calzas con el perfil de rolado. |

- **ETAPA III: Soldeo en estructuras del tanque de almacenamiento**

Tabla 77. Pasos a seguir en el soldeo de estructuras del tanque.

| PASOS A SEGUIR | | DESCRIPCIÓN |
|---|------------------------------------|---|
| Preparación del metal base | | Actividad realizada de acuerdo a lo que indica el código de soldadura estructural - Acero AWS D1.1 2020. |
| Tipos de junta empleados en la soldadura del tanque | Soldadura para juntas verticales | Se realizó de acuerdo a lo que indica la sección 5.1.1.5 de la norma API Standard 650. |
| | Soldadura para juntas horizontales | Se realizó de acuerdo a lo que indica la sección 5.1.1.5 de la norma API Standard 650. |
| | Soldadura para juntas traslapadas | Se realizó de acuerdo a lo que indica la sección 5.1.1.4 de la norma API Standard 650. |
| Proceso de soldadura GMAW(Gas Metal Arc Welding) | | Actividad realizada de acuerdo a lo que indica el código de soldadura estructural - Acero AWS D1.1 2020. El material de aporte usado, fue el alambre macizo para soldadura ER-70S-6 |
| Soldadores | | La calificación para selección de los soldadores, se realizó de acuerdo a lo que se indica en el artículo III, del código ASME sección IX, 2019. |

- **ETAPA IV: Métodos de examinación no destructivos**

Tabla 78. Pasos a seguir en el soldeo de estructuras del tanque.

| MÉTODOS | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------------------|--|
| Inspección visual | Método realizado de acuerdo a lo que indica el código ASME sección V 2019. El procedimiento, criterio de aceptación, requerimientos, etc., están incluidos en esta sección. Se pasó la inspección al 100% de las juntas. |
| Inspección por tintes penetrantes | Método realizado de acuerdo a lo que indica el código ASME sección V 2019. El procedimiento, criterio de aceptación, equipamiento, etc., están incluidos en esta sección. Se pasó la inspección al 100% de las juntas. |
| | Los productos que usamos fueron de la marca "MAGNAFLUX", no clorinados. |
| | Penetrante: SKL - WP |
| | Revelador: SKD - S2 |
| | Limpiador: Agua |

- **ETAPA V: Preparación superficial y pintado**

Tabla 79. Preparación superficial.

| ACTIVIDADES REALIZADAS | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------------------|---|
| Limpieza previa | Actividad realizada de acuerdo a lo que indica la norma SSPC-SP1. La cual habla sobre limpieza con solventes. Para nuestro caso se utilizó agua. |
| Limpieza mediante chorro abrasivo | Actividad realizada de acuerdo a lo que indica la norma SSPC-SP5. La cual habla sobre la limpieza de superficies mediante chorro abrasivo a metal blanco. |
| | La calidad del aire comprimido utilizado se evaluó mediante la norma ASTM |
| | La presión a la salida de la boquilla estuvo entre 90 psi a 100 psi. |
| | El perfil de rugosidad previo al pintado recomendado para nuestro caso, fue de 2.5 mils a 3.0 mils. Medido de acuerdo con el método B de los métodos de medición de superficies de la norma ASTM D4417. |
| | Para la concentración de sales remanentes en la superficie, se verificó que estamos debajo de los valores admisibles indicados en la norma SSPC. La cual recomienda que estos sean < 50ppm. |

Tabla 80. Pintado.

| ACTIVIDADES REALIZADAS | | DESCRIPCIÓN | | |
|----------------------------------|--|--|---------------------------------|--------|
| Aplicación de la pintura | Equipos de pintado | Hicimos uso de equipos convencionales (con aire) y para cuando se requería, también usamos brochas y rodillos. | | |
| | Condiciones ambientales | Las condiciones recomendadas presentes para el pintado fueron : | % Humedad relativa < 85% | |
| | | | T. superficie < 45 °C | |
| | | | T. superficie - T. rocío ≥ 3 °C | |
| | Preparación y aplicación de pintura | Se homogenizó la pintura por separado, tanto la parte A (resina) como la parte B (endurecedor). Para esto, se adicionó la parte B hacia la parte A, con un agitador eléctrico por 3 minutos hasta que la mezcla se uniformice. | | |
| | Aplicación de la capa base | Para la capa base utilizamos pintura denominada Macropoxy 646. Se aplicó un espesor de pintura de 4 mils. | Diluyente | P33 NC |
| % sólidos en volumen | | | 72 +/- 2 | |
| Proporción de mezcla | | | 1A : 1B | |
| Aplicación de la capa intermedia | Para la capa intermedia utilizamos pintura denominada Duraplate UHS. Se aplicó un espesor de pintura de 7 mils, sobre los 4 mils | Repintado a 25 °C | 3h después | |
| | | Diluyente | P215 o P33 NC | |
| | | % sólidos en volumen | 98 +/- 2 | |
| | | Proporción de mezcla | 4A : 1B | |
| Inspección | Los equipos de medición que utilizamos fueron : | Psicrómetro tipo Bacharach, para % de humedad relativa | | |
| | | Termómetro de superficie, para superficie de estructuras | | |
| | | Medidor digital de película seca, espesor de pintura | | |

- ETAPA VI: Costos de fabricación y presupuesto**

Tabla 81. Costos de fabricación.

| DESCRIPCIÓN | COSTOS (S/.) |
|--|------------------|
| Capacitaciones e inducción | 790.18 |
| Suministro de materiales mecánicos | 112704.73 |
| Fabricación del tanque de almacenamiento | 269347.7 |
| Arenado y recubrimiento superficial del tanque de almacenamiento | 105540.6 |
| TOTAL | 488383.21 |

Tabla 82. Presupuesto.

| DESCRIPCIÓN | MONTO (S/.) |
|----------------------------|------------------|
| Costo directo | 488383.21 |
| Total a facturar (sin igv) | 630502.72 |
| Monto a facturar | 743993.21 |

- **ETAPA VII: Cronograma de ejecución de actividades**

Tabla 83. Cronograma de ejecución de actividades.

| NOMBRE DE TAREA | INICIO | FIN | DURACIÓN EN DÍAS |
|---|------------|------------|------------------|
| Actividades preliminares | 2/09/2019 | 27/09/2019 | 26 |
| Ingeniería | 3/09/2019 | 16/09/2019 | 14 |
| Fabricación en taller | 9/09/2019 | 25/09/2019 | 17 |
| Prueba y ensayos no destructivos en taller | 19/09/2019 | 20/09/2019 | 2 |
| Preparación superficial y pintado en taller | 21/09/2019 | 30/09/2019 | 10 |
| Despacho de materiales | 1/10/2019 | 2/10/2019 | 2 |
| Duración total del proyecto | | | 31 |

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Se comprobó que, si se diseña un tanque vertical, utilizando como base para el cálculo, la normativa API estándar 650, el RNE y el empleo del SAP 2000, se justifican los parámetros de diseño adecuados para el correcto desempeño de estas partes del tanque, siendo estos la velocidad de diseño del viento de 78.10 km/h, factor de zona 0.45, zona sísmica 4 y el peso específico de la sustancia almacenar de 1830 Kgf/m³. En la etapa de diseño se llegó a utilizar la normativa API estándar 650 para determinar las cargas de diseño y el análisis dinámico. Obteniendo los siguientes resultados, carga muerta de 73.72 tnf, carga viva de 18.34 tnf, carga viento de 3.49 tnf y la carga de líquido almacenado de 3422.1 tnf. las relaciones de diseño del anillo N°6 de 0.19, anillo N° 5 de 0.39 y anillo N°4 de 0.59. Los valores para la estabilidad del tanque vertical obtenidos fueron, el momento de volteo de 4194.16 tnf-m, la fuerza resistente al volteo de 36565.995 N/m y la relación de anclaje de 4.09. Así mismo se corroboró que, simulando con el software SAP 2000 el análisis dinámico del tanque vertical con sus respectivos comportamientos generados por las cargas de diseño, estos están cumpliendo con lo establecido de la norma API estándar 650. Por consiguiente, los resultados obtenidos nos garantizan que dichos elementos del tanque vertical resistan y no fallen estructuralmente. Adicionalmente, contribuyó en conjunto con los códigos AWS en la preparación del metal base y el proceso de soldadura GMAW, ASME en los métodos de examinación no destructivos - calificación de soldadores y la norma SSPC en la preparación superficial y pintado de las estructuras fabricadas del tanque, para asegurar el correcto procedimiento en la fabricación de las estructuras del tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA - Cajamarquilla.

- Se confirmó que, determinar los parámetros de diseño siguiendo los procedimientos establecidos en la norma API estándar 650 y el RNE 020 y 030, nos brindó el soporte para iniciar con el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical, dando como resultado la velocidad de diseño del viento de 78.10 km/h, factor de zona 0.45, zona sísmica 4 y el peso específico de la sustancia a almacenar de 1830 Kgf/m³.

- Se logró comprobar que, al diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical, mediante los criterios de cálculo descritos en la norma API estándar 650, obtenemos un adecuado diseño del casco y cobertura del techo del tanque; siendo las cargas de diseño, la carga muerta de 73.72 tnf, carga viva de 18.34 tnf, carga viento de 3.49 tnf, carga de líquido almacenado de 3422.1 tnf., las relaciones de diseño del anillo N°6 de 0.19, anillo N° 5 de 0.39 y anillo N°4 de 0.59, las cuales están en el rango permitido, esto se especifica en cuestiones de resistencia con valores menores que 1. Así mismo, se determinó los valores para la estabilidad del tanque vertical, siendo el momento de volteo de 4194.16 tnf-m, la fuerza resistente al volteo de 36565.995 N/m y la relación de anclaje de 4.09, garantizando así que los componentes determinados del tanque resistan y no fallen, por estar en cumplimiento de los parámetros de diseño.

- Se pudo corroborar que, si se emplea el software SAP 2000 llegamos a contrastar el análisis dinámico del tanque vertical con sus respectivos comportamientos generados por las cargas de diseño, mediante los cálculos matemáticos de las cargas sísmicas descritas en la norma API estándar 650; siendo estos, el periodo convectivo de 4.04 seg. , momento de volteo de 4194.16 tnf-m y el esfuerzo máximo debido a la fuerza hidrostática de 1427.21 N/mm, con los comportamientos generados por las cargas de

diseño en el software SAP 2000 de nombre propio en sus resultados, tales como periodo máximo de 4.45 seg. , el momento de la carga de sismo en 2083.55 tnf-m y el esfuerzo máximo debido a la carga hidrostática de 1685.82 N/mm.

- Se logró comprobar que, si se emplean los procesos de fabricación establecidos en el código AWS D1. 1 para la preparación del metal base y el proceso de soldadura GMAW, la norma API estándar 650 para los tipos de junta empleados en la soldadura, el código ASME sección V - IX para los métodos de examinación no destructivos - calificación de soldadores y la norma SSPC SP1 – SP5 para la preparación superficial y pintado de las estructuras fabricadas del tanque, nos garantizó que el procedimiento de fabricación fue óptimo y cumple con los estándares de calidad requeridos para estos procesos, dando como resultado la aceptación y validación de este por parte de la empresa contratante, puesto que son normas y códigos de carácter internacional muy exigidos en temas de este ámbito.

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares

- Roberto Ismael Cabezas Félix y Wilson patricio Núñez Arguello de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, menciona que con la ayuda de la simulación en el programa SAP 2000 se pudo constatar que el diseño del tanque es el correcto, ya que se encuentra estable después de soportar las cargas muertas, vivas, hidrostática, sismo y viento. De esta forma, se pudo comprobar que las deformaciones del tanque se encuentran dentro del rango requerido por la norma API estándar 650 que no debe exceder de 1/2". En ese sentido, concuerda con la presente investigación que realizó la simulación en el software SAP 2000 con el fin de comprobar la resistencia,

rigidez y estabilidad del tanque vertical. Partiendo de la selección de materiales, elementos y combinaciones de carga propuestas en el diseño, para posteriormente validarlas en la simulación, realizando varias simulaciones con respecto a las combinaciones de carga, obteniendo como resultado de los desplazamientos en el cuerpo de 8.93 mm y en la cobertura de 1.57 mm cumpliendo con el rango requerido de la norma API estándar 650.

- Roberto Ismael Cabezas Félix y Wilson Patricio Núñez Argüello de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, mencionan que el procedimiento de fabricación descrito por ellos conserva las restricciones de la norma API estándar 650. Así mismo, los procesos de soldadura tales como SMAW, GMAW, FCAW, SAW y PAW descritos en su estudio, también están avalados por esta norma. Además, los procesos de limpieza y pintura, los llevaron a cabo de acuerdo a las especificaciones de la norma SSPC, con el fin de alargar la vida útil de su tanque protegiendo sus componentes contra la corrosión. Por lo tanto, concuerda con la presente investigación que para su propuesta de procedimiento de fabricación, empleó la norma API estándar 650 en los tipos de junta empleados en la soldadura, el código AWS D1. 1 en la preparación del metal base y para el proceso de soldadura GMAW que se utilizó, el código ASME en la calificación de soldadores y métodos de ensayo no destructivos y la norma SSPC en la preparación superficial y pintado de las estructuras fabricadas del tanque.

- Víctor Hugo Gonza Sánchez de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Riobamba, menciona que la velocidad del viento para su estudio se establece en 85 millas por hora (mhp), ya que el API estándar 650 tiene una referencia mínima de 100 millas por hora (mhp), de igual manera

dicho resultado se relaciona con la norma ecuatoriana de construcción (NEC), la cual manifiesta que para alturas de 10 metros, la velocidad mínima del viento sea de 47 millas por hora (mhp), pero por razones del sitio donde se realiza el estudio, no se puede alcanzar la velocidad mínima del API. Por lo tanto, concuerda con la presente investigación, que para determinar la velocidad de diseño del viento utilizamos los procedimientos establecidos en el reglamento nacional de edificaciones (RNE) 020 y 030, donde se describe la velocidad mínima del viento, la zona sísmica y su factor de zona a utilizar en el diseño. Obteniendo como resultado una velocidad de diseño del viento de 78.10 km/h, factor de zona de 0.45 y zona sísmica 4 en base al lugar de estudio.

- De acuerdo con Gianfranco Emmanuel Pejerrey Zegarra de la Universidad Tecnológica del Perú, concluye en su estudio de diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento atmosférico de 6000 barriles para almacenaje de gasolina de 90 octanos en la selva, que si bien el standard API estándar 650 indica varios métodos para calcular los espesores de la envolvente del tanque, el más usado es el método de un pie debido a la facilidad de cálculo y a la fiabilidad que este brinda al momento de realizar dicho cálculo, además que este método vincula directamente al material usado para la fabricación, al líquido almacenado, al proceso del cliente y el entorno de ubicación del tanque. Así mismo, concuerda con la presente investigación, que mediante el método de un pie diseñó los anillos N°4,5,6 del tanque vertical, utilizando la gravedad específica de la sustancia a almacenar, los esfuerzos admisibles de diseño del material y el factor de corrosión para determinar los espesores de los anillos, mediante los cálculos descritos en la norma API estándar 650 para condiciones de diseño y de carga hidrostática.

- José Luis Málaga Alarco de la Pontificia Universidad Católica del Perú, llegó a inferir que la carga sísmica modelada por el método de elementos finitos (MEF) en base a las normas, API estándar 650 y el reglamento nacional de edificaciones (RNE) E.030, logra una representación más detallada del método de la cortante basal, ya que modela de manera continua cargas planteadas como discretas en las normas con un bajo error de aproximación (3.93%). Acorde con ello, la presente investigación mediante los cálculos matemáticos de las cargas sísmicas descritas en la norma API estándar 650 el periodo convectivo obtenido es de 4.04 seg. y al simular el comportamiento del periodo espectral modal con el software SAP 2000 es de 4.45 seg. , obteniendo un error de aproximación de (9.2%). La principal diferencia entre los resultados se debe a que Málaga realiza una evaluación de un tanque – plataforma, mientras que esta investigación está enfocada hacia el diseño de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

El presente trabajo de investigación, se desarrolló en cumplimiento de nuestra ética profesional y de acuerdo a los reglamentos vigentes de investigación de la UNAC. Nos responsabilizamos por la información mostrada y obtenida, pudiendo dar fe de que es verídica, debido a que fue recabada de primera mano por nosotros de la misma empresa, ya que fuimos participes de dicho proyecto en el área de calidad. Además, que para su obtención usamos buscadores muy reconocidos y que brindan alta credibilidad de ella. También es confiable porque se trabajó de acuerdo a normas y códigos aceptados internacionalmente. De la misma manera, lo es la información obtenida de la simulación y modelamiento, por haber utilizado software de diseño validado también internacionalmente.

CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar y fabricar un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla, mediante el uso de la normativa API estándar 650 y el RNE, de las cuales se siguió sus modelos matemáticos, procedimientos y recomendaciones, para encontrar los parámetros de diseño, el dimensionamiento, las cargas de diseño, los esfuerzos combinados anulares de tensión, las relaciones de diseño, el momento de volteo y la fuerza resistente al volteo; pudiendo así diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado. Posteriormente, el diseño propuesto fue validado con el software SAP 2000, que realizó la simulación del comportamiento generado por las cargas de diseño en tema de resistencia, rigidez y estabilidad, cumpliendo con lo requerido en la norma API estándar 650 y RNE. Además, en uso conjuntamente de esta, con las normativas SSPC y los códigos AWS y ASME, permitieron llevar a cabo la fabricación de las estructuras del tanque, de manera fiable y correcta.
2. Se cumplió el objetivo de determinar los parámetros de diseño, la velocidad del viento y la sismografía del lugar, para el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical determinados en el capítulo IV, siendo estos la velocidad de diseño del viento de 78.10 km/h, factor de zona de 0.45 y la zona sísmica de 4. Estos parámetros calculados brindaron el soporte para iniciar con el diseño de lo mencionado. Siendo el peso específico de la sustancia a almacenar de 1830 Kgf/m³.

3. Se logró diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical, obteniendo como resultado el dimensionamiento del anillo rigidizador superior de 75x75x6mm, venteo del techo de 8 pulg, espesor de anillo N°6 de 6 mm, espesor de anillo N°5 de 8 mm, espesor de anillo N°4 de 9 mm, espesor de la plancha del techo de 6 mm. La carga muerta de 73.72 tnf, carga viva de 18.34 tnf, carga de viento de 3.49 tnf y la carga del líquido almacenado de 3422.1 tnf. Los esfuerzos combinados anulares de tensión del anillo N°6 de 31.58 N/mm², anillo N°5 de 63.86 N/mm² y anillo N°4 de 95.35 N/mm². Las relaciones de diseño del anillo N°6 de 0.19, anillo N°5 de 0.39 y anillo N°4 de 0.59. La estabilidad del tanque vertical con el momento de volteo de 4194.16 tnf-m, la fuerza resistente al volteo de 36565.995 N/m y la relación de anclaje de 4.09. Los valores determinados en el diseño cumplen con lo requerido en la norma API estándar 650, lo cual nos llegó a garantizar que dichos elementos del tanque vertical resistan y no fallen estructuralmente.

4. Se validó la resistencia, rigidez y estabilidad de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical, mediante la simulación del comportamiento generado por las cargas de diseño con el software SAP 2000, llegando obtener la resistencia del esfuerzo máximo debido a la carga hidrostática de 1685.82 N/mm, la rigidez determinada para el canal C10x15.3 de 0.20 mm; para la estabilidad del tanque vertical, el momento de la carga de sismo de 2083.55 tnf-m. Teniendo certeza de que la validación de los resultados obtenidos con el software es aceptable porque están dentro de lo permisible en temas de diseño según normas API 650 y RNE.

5. Se cumplió con el objetivo de desarrollar el procedimiento de fabricación de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m³ de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla, mediante la propuesta de 7 etapas estratégicamente seleccionadas y cuya secuencia facilitó el cumplimiento del objetivo de manera ordenada y exitosa. Estas etapas se realizaron de acuerdo a lo que indica el código de soldadura estructural – Acero AWS D1.1(2020) para la preparación del metal base y el proceso de soldadura GMAW, la norma API estándar 650 12th 2013 para los tipos de junta empleados en la soldadura, el código ASME V – IX (2019) para los métodos de examinación no destructivos - calificación de soldadores y la norma SSPC SP1 – SP5 para la preparación superficial y pintado de las estructuras fabricadas del tanque. Garantizando así la validación del procedimiento por tratarse de normas y códigos de aceptación internacional por las empresas.

RECOMENDACIONES

1. El reglamento nacional de edificaciones RNE 020 recomienda que la velocidad mínima de diseño sea de 75 km/h, pero en la norma API estándar 650 se recomienda una velocidad mínima de 160 km/h. Se pueden utilizar ambos parámetros, pero tomando en cuenta que, al escoger el valor de la norma API, si no se llegara a alcanzar la velocidad mínima requerida, sería por razones del sitio donde se realiza el estudio.
2. Se recomienda realizar estudios preliminares de espesores a los tanques diseñados y fabricados en base a la norma API estándar 650, para encontrar áreas afectadas por la corrosión u otro agente deteriorante. De esta manera se garantizará que existan partes críticas del tanque, por tal motivo que en la presente investigación se planteó el diseño y fabricación de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical.
3. Se recomienda obtener conocimientos del software SAP 2000 como del procedimiento adecuado para realizar la simulación. De esta manera se podrá optimizar los tiempos y costos de investigación si se cuenta con una computadora adecuada, para no contratar a terceros que realicen este servicio.
4. Se recomienda que todo instrumento y/o equipo utilizado en la fabricación para la toma y verificación de datos, así como también los insumos utilizados en la inspección, se encuentren en óptimas condiciones. Motivo por el cual deben de contar con sus respectivos certificados de calibración y calidad, expedidos por entidades especialistas en estos temas, tales como el Instituto Nacional de Calidad(INACAL) y Corrosion & Protective Coatings(CPC) instrumentos, para nuestro caso. De esta manera se garantizará que estos estén totalmente operativos y vigentes, haciendo que todas las medidas y lecturas obtenidas sean reales y confiables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARCA, J. y VILLEGAS, R. Equipo para la determinación de tiempos de almacenamiento de asfalto modificado a condiciones críticas. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR* [en línea]. Julio, 2021, 23(42), 1-12 [fecha de consulta: 30 de septiembre de 2021]. ISSN: 22153705. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/download/45435/47559?inline=1>
- ALDAZ, E. Procesos para la fabricación y montaje de tanques hidrostáticos para el almacenamiento de combustible. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Quito: Universidad Politécnica Nacional, 2014. 259 pp. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8997>
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. Specification for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 360-16.2016. Chicago: USA,1921. [619] pp.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Welded tanks for oil storage. API STANDARD 650.12th 2013. Washington D.C: USA,1961. [510] pp.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel. ASTM D4417.1999. West Conshohocken: USA,1993. [3] pp.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air. ASTM D4285.1999. West Conshohocken: USA,1983. [1] pp.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures, ASCE/SEI 7-10* [en línea].2010 Ed. Reston: USA. 2010. [fecha de consulta: 3 de octubre de 2021].ISBN:9780784410851.Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_de_la_california_waterfix/exhibits/docs/dd_jardins/DDJ-148%20ASCE%207-10.pdf

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Nondestructive Examination* [en línea].2019 Ed. New York: USA. 1914. [fecha de consulta: 28 de septiembre del 2021]. ISBN: 9780791872840. Disponible en : <https://nexnor.com/wp-content/uploads/2020/01/ASME-V-2019.pdf>

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, Welding, Brazing and Fusion Qualifications* [en línea].2019 Ed. New York: USA. 1914. [fecha de consulta: 28 de septiembre del 2021]. ISBN: 9780791872901. Disponible en : <https://123sanat.com/d/catalogue/ASME-IX-9-2019.pdf>

AMERICAN WELDING SOCIETY. *Structural Welding Code-Steel, AWS D1. 1* [en línea].24th Edition. Miami: USA. 2020. [fecha de consulta: 1 de noviembre de 2021]. ISBN: 9781643220888. Disponible en: <https://studylib.es/doc/9016323/aws-d1.1-d1.1m-2020-structural-welding-code---steel>

ARIAS, D. *Manual para citar y referenciar fuentes en textos de ingeniería según norma ISO 690-2*. Huancayo: Universidad Continental. Fondo Editorial, 2019. 83 pp. ISBN: 9786124443046.

AZA, G. *Compendio de normas para productos de acero* [en línea]. 3.º ed. Santiago: Chile, 2000 [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/alvarosepulveda399/acero-66860344>

- BEHAR, D. *Metodología de la investigación*. 2008 ed. [s.l.]. Editorial Shalom 2008, 2008. 94 pp. ISBN: 9789592127837.
- CABEZAS, R. y NÚÑEZ, W. Diseño y simulación de un tanque de techo fijo para almacenar petróleo de 3000 BLS de capacidad en la plataforma del pozo sachá 192, ubicada en la provincia de Orellana. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2011. 242 pp. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1251>
- CALABRO, H., GODOY, L. y JACA R. Comportamiento de tanques de almacenamiento con techo flotante frente a acciones térmicas. *Mecánica Computacional* [en línea]. Noviembre, 2016, 36(?), 517-528 [fecha de consulta: 4 de octubre de 2021]. ISSN: 25913522. Disponible en: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/4995/4927#:~:text=Los%20tanques%20cerrados%20en%20su,que%20se%20apoyan%20en%20columnas.>
- CARRASCO, S. *Metodología de la investigación científica*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Editorial San Marcos, 2005. 474 pp. ISBN: 9972342425.
- CSI SPAIN SAP 2000 [software]. Versión 23.2.0. [s.l.]. Computers & Structures INC., 2020 [fecha de consulta: 27 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000#>
- ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica*. 2.ª ed. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C., 2014. ISBN: 9786120016671.
- FERRARI, D. y DEL CASTILLO, F. *Método del elemento finito y AutoFem®* [en línea]. 2018-1. Cautitlán Izcalli: Universidad Nacional Autónoma de México, 2018 [fecha de consulta: 3 de octubre de 2021]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/Elemento_finito_Autofem.pdf

- GONZA, V. Diseño y cálculo de un tanque para almacenamiento de petróleo para 3000 BBLs. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014. 166 pp. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en : <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/3711>
- HERNÁNDEZ, R. *Metodología de la investigación*. 6.º ed. México D.F.: México. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2014. 600 pp. ISBN: 9781456223960.
- INDUSTRIAS metálicas Rodriguez Rubiano Hnos. Servicios de corte plasma y oxicorte. 2020 [fecha de consulta: 4 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://metalmecanicacnc.com/servicios/corte-plasma-oxicorte/>
- LEÓN, J. *Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento* [en línea]. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, Inglesa, 2003[fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Dise%C3%B1o+y+c%C3%A1lculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>
- LEÓN, J. *Diseño y cálculo de recipientes a presión* [en línea]. Edición 2001. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, Inglesa, 2001 [fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/57282721-Diseno-y-calculo-recipientes-sujetos-a-presion.html>
- MÁLAGA, J. Evaluación del diseño estructural de un sistema tanque-plataforma de lixiviación de 3336 m³ de capacidad. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014. 138 pp. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5482>

- MA SAN, J. *Diseño de elementos de máquina I* [en línea]. Piura: Perú, 2013 [fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/14.pdf>
- METAL 5000 CNC. Servicios de punzonado, doblez y corte. 2019 [fecha de consulta: 5 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://peruindustria.com/>
- MINISTERIO de vivienda, construcción y saneamiento(MVCS). Reglamento Nacional de Edificaciones, RNE. 2006. [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021].Disponible en:<https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- PEJERREY, G. Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento atmosférico de 60,000 barriles para almacenaje de gasolina de 90 octanos en la selva. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2017. 365 pp. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/912>
- PERMASTORE Tanks & Silos. Tratamiento de aguas residuales municipales. 2013 [fecha de consulta: 4 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://zdocs.tips/doc/industrial-es-e12l92vxvvpv>
- SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN(SENCICO). *Norma E.020 CARGAS* [en línea]. Lima: Perú. 2020. [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021]. ISBN: 9786124622199. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/15atg-9w0OEXjR5C1m6lXUFihwYeUh1aN/view>

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN(SENCICO). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente* [en línea]. Lima: Perú. 2020. [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021]. ISBN: 9786124842702. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view>

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN(SENCICO). *Norma E.060 Concreto Armado* [en línea]. Lima: Perú. 2020. [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021]. ISBN: 9786124842740. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2yIU5Kz/view>

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN(SENCICO). *Norma E.090 Estructuras Metálicas* [en línea]. Lima: Perú. 2020. [fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021]. ISBN: 9786124842771. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1xWH8ciDZd_QB7EK0xOOLGr4qiYWURSKJ/view

SOLDEXA una compañía ESAB. Servicios especiales de soldadura. 2021 [fecha de consulta: 5 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/serviciospremium/servicios-especiales-soldadura.cfm>

THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS. Steel Structures Painting Council.SSPC.2007. Pittsburgh: USA,1950. [550] pp.

VANEGAS, L. *Diseño de elementos de máquinas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2018. 521 pp. ISBN: 9789587223019.



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TANQUE VERTICAL PARA EL ALMACENAMIENTO DE 1870 M3 DE ÁCIDO SULFÚRICO EN REFINERÍA NEXA-CAJAMARQUILLA 2019”.

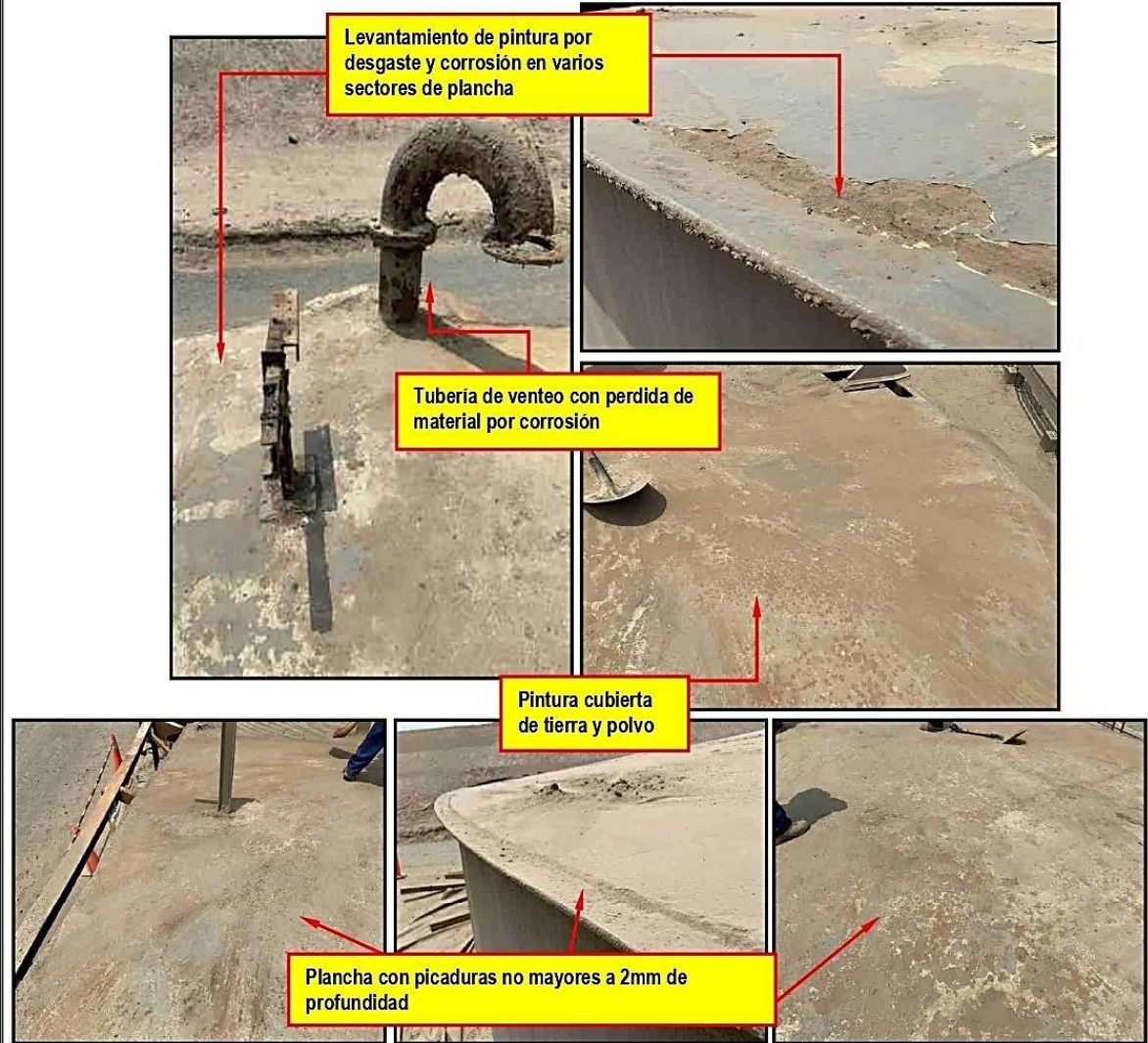
| PROBLEMAS GENERAL | OBJETIVOS GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|---|---|---|---|---|
| ¿Cómo diseñar y fabricar un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla? | Diseñar y fabricar un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. | Si se diseña un tanque vertical teniendo en cuenta el uso de la norma API estándar 650, las cargas de diseño, el análisis dinámico y el empleo del SAP 2000, nos garantizará que los componentes del tanque vertical resistan y no fallen, por estar en cumplimiento de los parámetros de diseño, así mismo conjuntamente con el uso de los códigos AWS, ASME y la norma SSPC, va asegurar el correcto procedimiento en la fabricación de las estructuras del tanque para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. | VARIABLE INDEPENDIENTE Diseño y fabricación de un tanque vertical | La investigación es de tipo tecnológica de nivel aplicada. Puesto gira en torno a aplicar el conocimiento científico mediante la investigación, planteamiento y fabricación de un diseño, en el que desarrollamos nuestra propuesta de modelo viable, apoyándonos en la observación del funcionamiento de modelos similares, cálculos, normas y simulaciones en software, con el fin de solucionar los problemas propuestos que beneficien a la refinería y por ende al país. |
| ESPECÍFICOS | ESPECÍFICOS | ESPECÍFICAS | | |
| ¿Cómo determinar los parámetros de diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla? | Determinar los parámetros de diseño de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. | Si se determinan los parámetros de diseño mediante el uso de la norma API 650 y el FINE adecuadamente, nos permitirá iniciar el diseño de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical. | | |
| ¿Cómo diseñar los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla? | Diseñar los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla empleando la norma API 650. | Si se diseñan los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical mediante los criterios descritos en la norma API estándar 650, nos garantizará que estos componentes resistan y no fallen, por estar en cumplimiento de los parámetros de diseño. | VARIABLE DEPENDIENTE Almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico | La investigación es de diseño no experimental, descriptivo simple, puesto que hemos hecho uso de la observación de la muestra para obtener información necesaria y verídica, la cual es vital para el desarrollo de la presente investigación. |
| ¿Cómo validar la resistencia, rigidez y estabilidad mediante el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla? | Validar la resistencia, rigidez y estabilidad de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. | Si se emplea el software SAP 2000, nos permitirá validar el diseño de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado, así mismo se llegará a contrastar el análisis dinámico y las respectivas cargas de diseño. | | |
| ¿Cómo desarrollar el procedimiento de fabricación de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla? | Desarrollar el procedimiento de fabricación de los anillos N° 4,5,6 y techo auto soportado de un tanque vertical para el almacenamiento de 1870 m3 de ácido sulfúrico en la refinería NEXA – Cajamarquilla. | Si se emplean los procesos de fabricación establecidos en el código AWS D1. 1, la norma API estándar 650, el código ASME sección V - IX y la norma SSPC SP1 – SP5, nos garantizará que el procedimiento de fabricación va ser óptimo y cumplirá con los estándares de calidad requeridos. | | La población viene a ser los elementos que conforman el tanque vertical (anillos, techo auto soportado, manhole, venteo, conexiones) y la muestra es el conjunto de los anillos N°4,5,6 y techo auto soportado del tanque vertical. |

Anexo 2. Reporte preliminar CS. 19. 11. 099 de estado del tanque.

| | | | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|----|---|------|
|  | | Evaluación para determinar espesores mínimos en tanques de servicio | | |  | |
| Reporte: CS.19.11.099 | | CÓDIGO | C251 | 01 | | |
| REGISTRO DE MEMORIA DE CALCULO | | | | | | |
| 1. DATOS GENERALES | | | | | | |
| CLIENTE | : NEXA RESOURCES - Refinería Cajamarquilla | | | | | |
| PRODUCTO INSPECCIONADO | : Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico | | | | | |
| MATERIAL | : Acero ST 37-2 (anillos 2 al 6) / ST 42-2 (1er anillo) | | | | | |
| N° DE SERIE | : C 251 | | | | | |
| FECHA DE ELABORACION | : 18 de Febrero del 2019 | | | | | |
| 2. REQUISITO | | | | | | |
| CODIGO API 653-2014: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction | | | | | | |
| ANEXO C / Alcance de Servicios - PLAN DE INSPECCION TANQUES EN SERVICIO (Tabla 4) | | | | | | |
| 3. METODO | | | | | | |
| CODIGO API 653-2014: Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction | | | | | | |
| 4. DATOS PARA CALCULO DE ESPESOR MINIMO DE CUERPO (anillo completo) | | | | | | |
| Diámetro interior (D) | 49.210 | pies | | | | |
| Esfuerzo Permissible (S) | 24266 | lb/pulg2 (1er anillo) | | | | |
| Esfuerzo Permissible (S) | 22400 | lb/pulg2 (2do anillo) | | | | |
| Esfuerzo Permissible (S) | 24645 | lb/pulg2 (demás anillos) | | | | |
| Eficiencia (E) | 0.70 | --- | | | | |
| Gravedad Especifica (G) | 1.84 | (a una concentración de 98%) | | | | |
| Altura total (H) | 39.370 | pies | | | | |
| N° de anillos | 6 | | | | | |
| Material | Acero ST 37-2 (anillos 2 al 6) / ST 42-2 (1er anillo) | | | | | |
| Espeor Mínimo - 1er Anillo | 0.532 | pulgadas | 13.51 | mm | Altura 1er a | 6.56 |
| Espeor Mínimo - 2do Anillo | 0.478 | pulgadas | 12.13 | mm | Altura 2do a | 6.56 |
| Espeor Mínimo - 3er Anillo | 0.345 | pulgadas | 8.75 | mm | Altura 3er a | 6.56 |
| Espeor Mínimo - 4to Anillo | 0.255 | pulgadas | 6.48 | mm | Altura 4to a | 6.56 |
| Espeor Mínimo - 5to Anillo | 0.166 | pulgadas | 4.20 | mm | Altura 5to a | 6.56 |
| Espeor Mínimo - 6to Anillo | 0.076 | pulgadas | 1.93 | mm | Altura 6to a | 6.56 |
| Nota: El espesor mínimo en cualquier anillo no debe ser menos a 0.1 pulgadas (API 653 4.3.3.1) | | | | | | |
| 5. DATOS PARA CALCULO DE ESPESOR MINIMO DE CUERPO (Area corroída) | | | | | | |
| Diámetro interior (D) | | pies | | | | |
| Esfuerzo Permissible (S) | | lb/pulg2 | | | | |
| Eficiencia (E) | | --- | | | | |
| Gravedad Especifica (G) | | --- | | | | |
| Altura total (H) | | pies | | | | |
| N° de anillos | | | | | | |
| Material | | | | | | |
| Esp. Min. en área adelgazada | | pulg. | | | | |
| 6. RESULTADO | | | | | | |
| El espesor mínimo actual en el anillo N° 1 es de 0.644 pulg., el cual es mayor al espesor mínimo requerido | | | | | | |
| El espesor mínimo actual en el anillo N° 2 es de 0.517 pulg., el cual es mayor al espesor mínimo requerido | | | | | | |
| El espesor mínimo actual en el anillo N° 3 es de 0.500 pulg., el cual es mayor al espesor mínimo requerido | | | | | | |
| El espesor mínimo actual en el anillo N° 4 es de 0.272 pulg., el cual está igual al espesor mínimo requerido | | | | | | |
| El espesor mínimo actual en el anillo N° 5 es de 0.103 pulg., el cual está relativamente menor al espesor mínimo requerido | | | | | | |
| 7. OBSERVACIONES | | | | | | |
| Para el cálculo de espesor mínimo: se asumieron datos de resistencia de material dados en el plano de fabricación del tanque | | | | | | |
| Se ha asumido una eficiencia de junta soldada de 0.70 debido a que no hay evidencia de Inspección radiográfica | | | | | | |
| y se asume una gravedad específica de 1.84 de acuerdo al tipo de producto que almacena en una concentración de 98% | | | | | | |
| Para el cálculo de espesores mínimos no se ha considerado el valor de corrosión admisible debido a que no existe información con respecto a dicho valor | | | | | | |
| Elaborado por: | | | | | | |
| Ing. Elvis Ortiz D. | | | | | | |
| Nivel II SNT-TC-1A UT | INSPECTOR | REVISADO/APROBADO POR GERENCIA TECNICA | REVISADO/APROBADO POR QA / QC CALIDAD | | | |
| Fecha de Emisión: 18/02/2019 | | Revisión: | | | | |



REGISTRO FOTOGRAFICO – TECHO DE TANQUE



OBSERVACIONES

- Las planchas del techo presentan una cubierta de tierra y polvo que cubre toda la superficie del mismo, acumulándose barro en las zonas de desniveles de los cordones de soldadura originando zonas con corrosión por picaduras deteriorando la pintura protectora y el material de las planchas, especialmente en los bordes del techo y la zona Noreste del techo del tanque.
- La distribución de las zonas afectadas por la corrosión originada por la humedad y condiciones ambientales se muestran en el siguiente cuadro.
- Se observó sectores con deformaciones y/o distorsiones en las planchas del techo
- Norma referencial:
 - API 653 - 4.2 Tank Roof Evaluation
 - Recommended Practice API 575 – 8.2.9 tank Roof Inspection

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. |
| Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº |

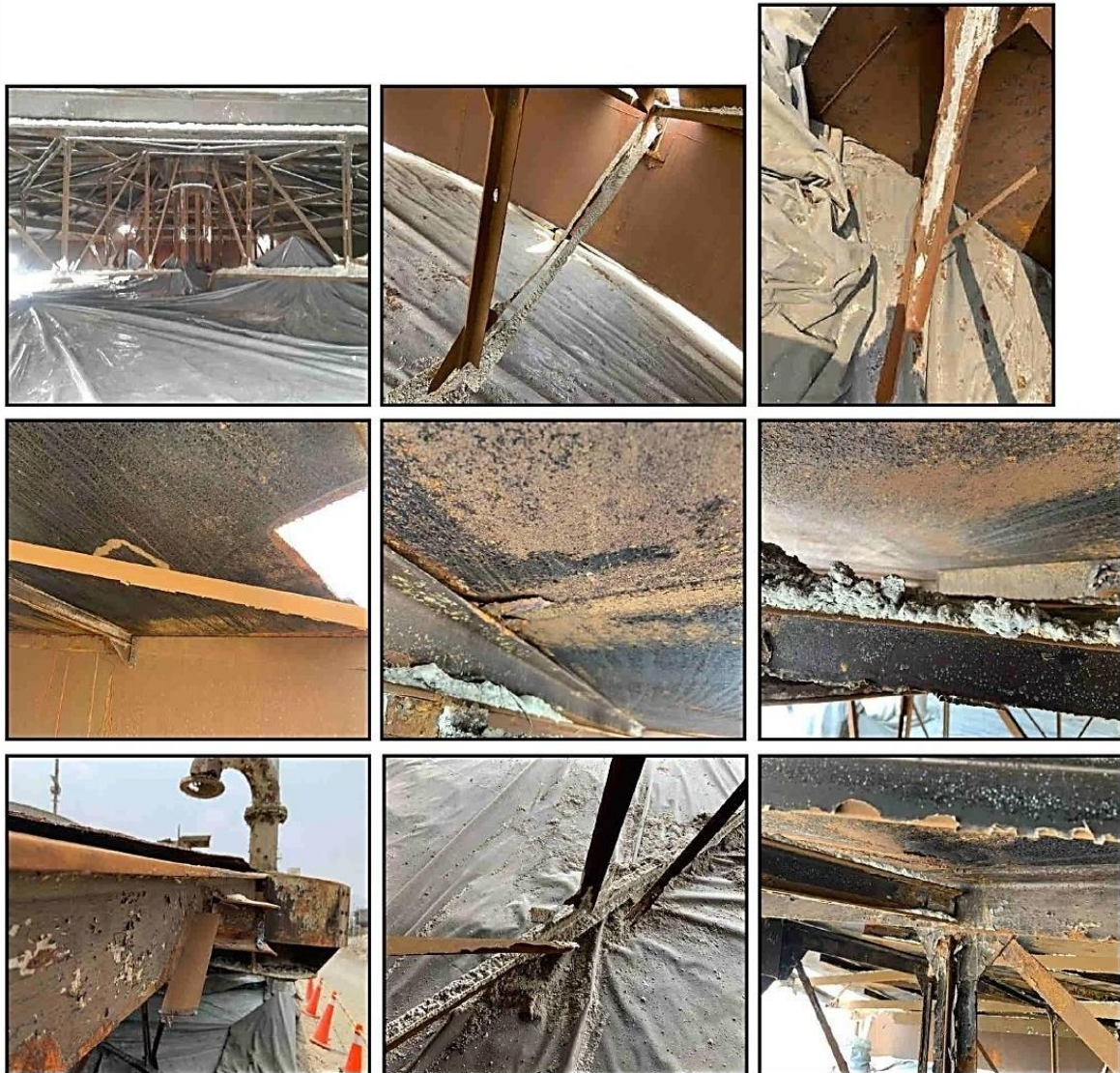


**Control Service
Group s.a.c.**

CLIENTE: NEXA RESOURCES – UNIDAD: CAJAMARQUILLA S.A.
 PROYECTO: INFORME DE INSPECCIÓN POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO N° C251 PROYECTO CAPEX – NEXA

REV: 01
 PAG: 03

REGISTRO FOTOGRAFICO – TECHO DE TANQUE – PARTE INTERNA



OBSERVACIONES

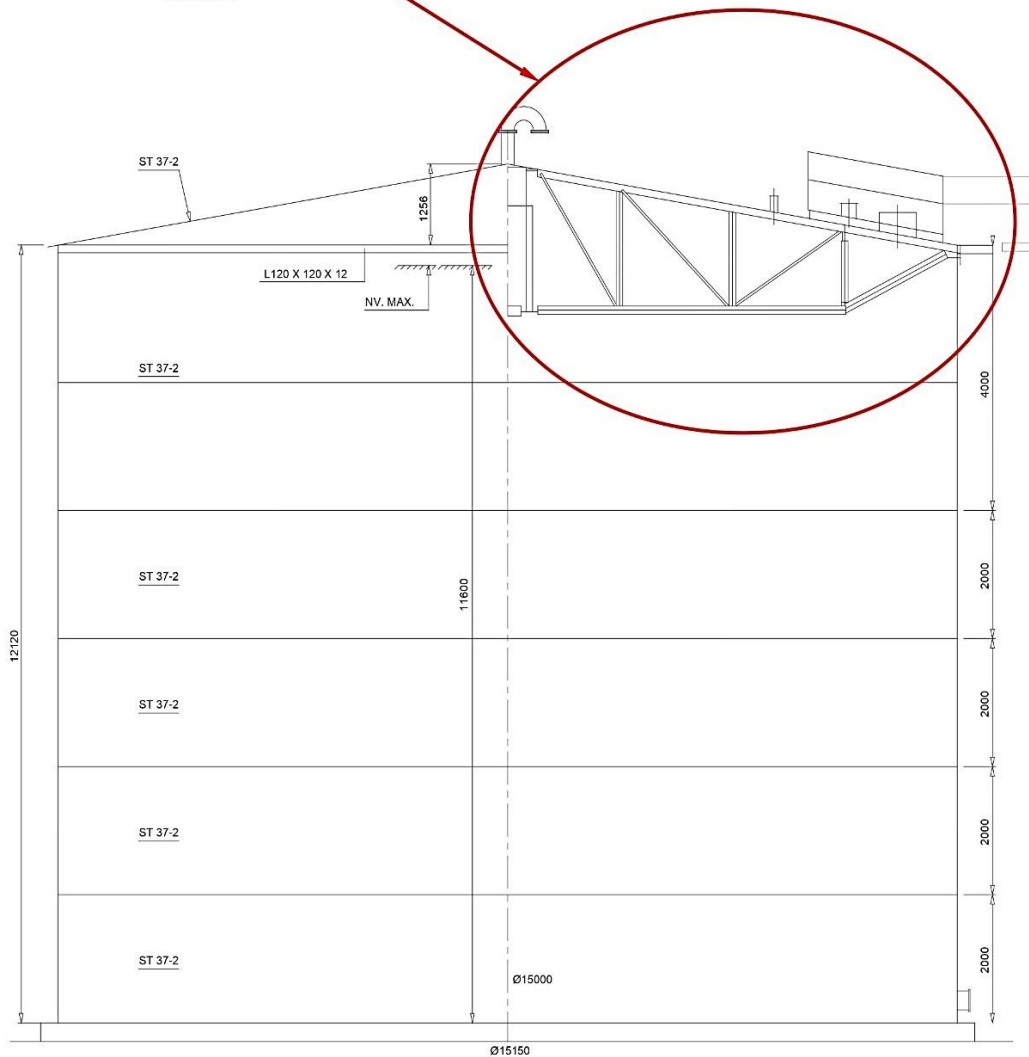
- Todas estructuras internas (vigas, arriostres, ángulos, etc.) se encuentran con un severo desgaste mostrando pérdida de material, desgaste y oxidación.
- En su mayoría tiene concentración de sulfato de ácido en diferentes sectores lo que lo hace inseguro
- Norma referencial:
 - API 653 - 4.2 Tank Roof Evaluation
 - Recommended Practice API 575 – 8.2.9 tank Roof Inspection
 - OSHA 29 CFR Part. 1910 – Barandas y plataformas

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. |
| Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº |



DISTRIBUCION DE ESTRUCTURA DE TECHO DE TANQUE

Estructura interna de soporte de techo según plano de fabricación retirado por deterioro

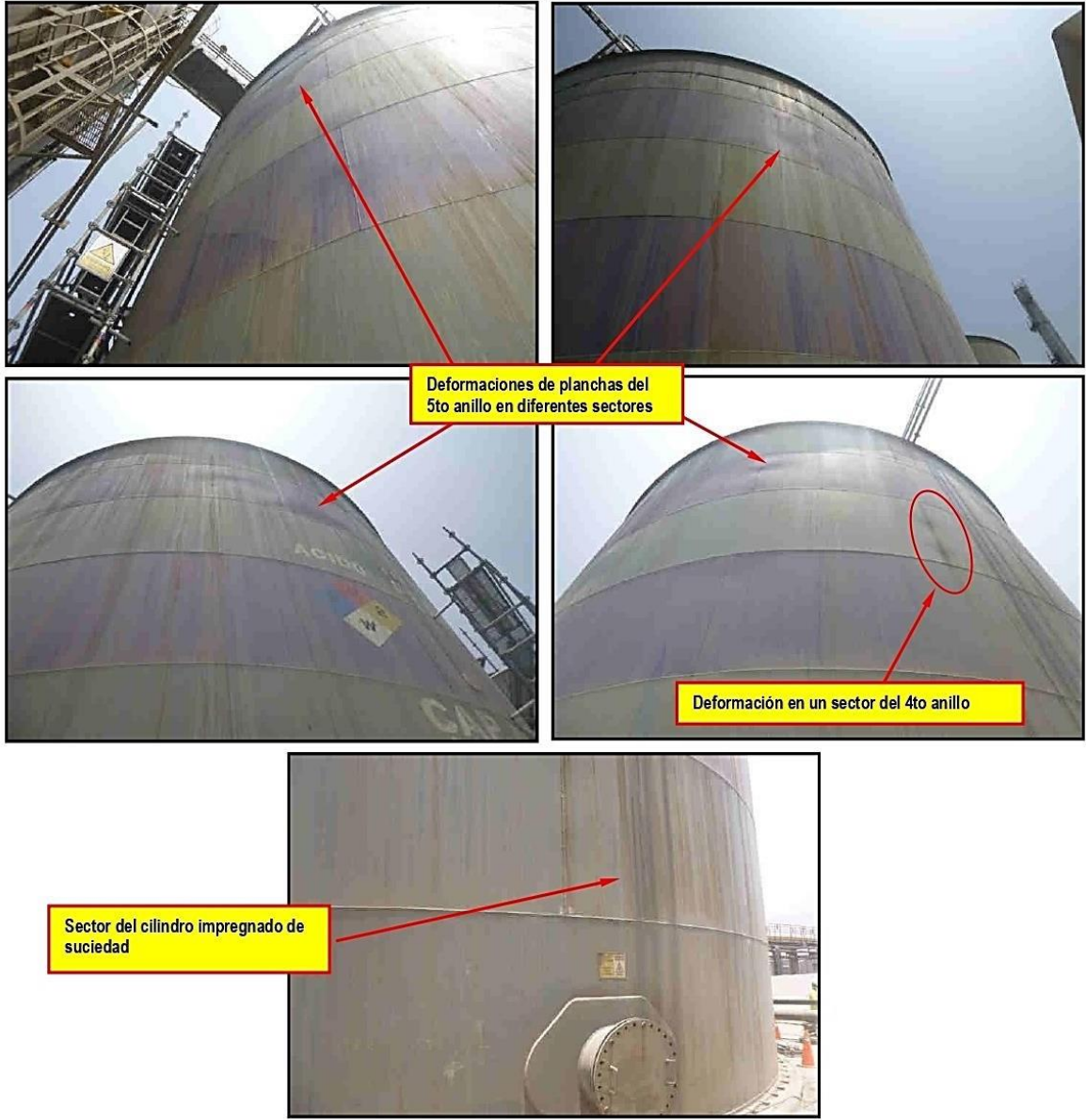


| | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. |
| Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº |



| | | |
|-----------|--|---------|
| CLIENTE: | NEXA RESOURCES – UNIDAD: CAJAMARQUILLA S.A. | REV: 01 |
| PROYECTO: | INFORME DE INSPECCIÓN POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO Nº C251 PROYECTO CAPEX – NEXA | PAG: 05 |

REGISTRO FOTOGRAFICO – PLANCHAS DEL CILINDRO - EXTERNO



OBSERVACIONES

- Las planchas de los anillos 4 y 5 tanque presentan distorsiones (deformaciones) en diferentes secciones, los cuales también comprometen cordones de soldadura tanto verticales como circunferenciales, estas distorsiones al comprometer cordones de soldadura, no están permitidos dentro de las condiciones dadas por el API 653.
- Norma referencial:
 - API 653 - 4.3 Tank Shell Evaluation
 - Recommended Practice API 575 – 8.28 Tank Shell Inspection

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. | Mod. | Mod. | F. |
| Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº | Por: | Por: | Vº Bº |

Anexo 3. Calificación de soldadores.

| | | | |
|---|---|--------------------|------------|
|  | REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQ) De acuerdo al código ASME - Sección IX | PT-CC-F-033 | |
| | | HOJA: | 1 de 1 |
| | | EMISION: | 01/01/2018 |
| | | REVISION: | 0 |

| REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQ) | | | | | |
|--|--------------------------------|---|--|------------------------------|-----------|
| Nombre del Soldador: <u>Juan Cabrera Zavaleta</u> | | No. Estampa: <u>JCZ-02</u> WPQR No.: <u>016</u> DNI: <u>44118602</u> | | | |
| Identificación de WPS seguido por el soldador: <u>WPS-ASME-009</u> | | <input checked="" type="checkbox"/> Probeta <input type="checkbox"/> Soldadura Producción | | | |
| Especificación de metal base: <u>ASTM A36</u> | | Espesor: <u>6mm</u> | | | |
| Variables de soldadura | Valor Usado en la Calificación | Rango Calificado | | | |
| Proceso de Soldadura: | FCAW | FCAW | | | |
| Tipo usado (manual, semiautomático): | semiautomático | semiautomático | | | |
| Respaldo(metal, soldadura, soldadura doble): | Sin respaldo | Con o Sin respaldo | | | |
| Metal Base | ASTM A-36 | Grupo 1 | | | |
| Metal Base No. P o S a No. P o S | PN°1 | PN°1 a PN°1 | | | |
| Tipo de Unión | A tope en V | Plancha – Ranura : 3mm – 12mm | | | |
| <input type="checkbox"/> Plancha <input type="checkbox"/> Tubería (ingresa diámetro si es tubería) | 6mm | Filete : Ilimitado Tubería: tubo≤610mm Rotado Tubo ≥610mm Fijo | | | |
| Especificación metal aporte (SFA) | 5.20 | 5.20 | | | |
| Clasificación metal aporte | E71T-1 | E71T1 | | | |
| Metal de aporte No. F: | 6 | 6 | | | |
| Inserto Consumible: (GTAW o PAW): | - | - | | | |
| Tipo de aporte (GTAW o PAW): | - | - | | | |
| Posición calificada: | 3G | Ranura: Plano, Vertical Filete: Plano, Horizontal, Vertical | | | |
| Progresión vertical (ascendente/descendente): | - | - | | | |
| Tipo de gas combustible (OFW): | Ar 80% - Co2 20% | - | | | |
| Gas Inerte de respaldo (GTAW, PAW, GMAW): | - | - | | | |
| Modo de Transferencia (GMAW): | - | - | | | |
| Corriente Tipo/Polaridad (GTAW): | - | - | | | |
| RESULTADOS | | | | | |
| Resultado de Inspección Visual: Aceptable | | Resultados de Prueba de Doble: EDNB-016 | | | |
| <input type="checkbox"/> Lado | | <input checked="" type="checkbox"/> Cara y Raíz Transversal <input type="checkbox"/> Cara y Raíz Longitudinal | | | |
| Tipo | Resultado | Tipo | Resultado | Tipo | Resultado |
| Doblado de cara | Aceptable | - | - | - | - |
| Doblado de raíz | Aceptable | - | - | - | - |
| Resultado de examen radiográfico alternativo: _____ | | | | | |
| Soldadura de filete: Prueba de fractura: _____ | | | Longitud y porcentaje de Defectos: _____ | | |
| Macro ataque: _____ | | Tamaño de filete: _____ X _____ | | Concavidad/Convexidad: _____ | |
| Otras Pruebas: _____ | | | | | |
| Película o Probeta evaluada por: _____ Compañía: _____ | | | | | |
| Pruebas Mecánicas conducidas por: _____ Prueba de Laboratorio No: _____ | | | | | |
| Soldadura supervisada por: _____ | | | | | |
| Nosotros certificamos que los datos registrados son correctos y que las probetas fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo a los requerimientos del Código ASME Sección IX | | | | | |
| Fabricante o contratista: Pentatech Construcción Sac | | | Autorizado: Ing. Giovanni Cabezas J. | | |
| Calificación: Ing. Walter Mamani Huancollo | | CWI : 16012861 | | Fecha: 01/06/2018 | |

Anexo 4. Certificado de homologación del pintor.



Sherwin Williams Perú SRL. Subsidiaria de The Sherwin Williams Company, Cleveland, Ohio, USA

CH_209-25_PEN

CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN

Por medio del presente Sherwin-Williams Perú SRL CERTIFICA que el Señor **CHAPOÑAN LLONTOP, MANUEL** identificado con DNI N° **43707225** de la empresa **PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.**, ha participado en la evaluación teórica y práctica para ser homologado como Aplicador de Pinturas Industriales para el Proyecto:

REFORMA DE TANQUE

La condición del evaluado es **Aprobado (75/100)**, para la aplicación del siguiente sistema:

| Capa | Pintura | EPS (mils) |
|----------------------|---------------|------------|
| Base | MACROPOXY 646 | 4.0 |
| Intermedio | DURAPLATE UHS | 7.0 |
| | | |
| ESPESOR FINAL | | 11.0 |

Lima, 01 de Octubre de 2019

Davis Huaigua Ingeniero de
Asistencia Técnica Inspector
NACE – Nivel 2 #57724
SHERWIN-WILLIAMS PERÚ

Segundo De La Cruz Jefe
del Dpto. Técnico
SHERWIN-WILLIAMS PERÚ

Nota: En el caso que el aplicador no cumpliera con los procedimientos de aplicación de pinturas para el presente proyecto, se rescindirá el presente certificado.

Av. El Derby #121 Santiago de Surco, Lima 33 Perú
Central: (511) 2512929 E-mail: coatings@sherwin.com.pe

Anexo 5. Certificado de calibración de instrumentos y/o equipos.

Página 1 de 1

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° CTU-016-2019

Fecha de emisión: 2019-01-06

Expediente: 012-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: TERMÓMETRO INFRARROJO

Marca: FLUKE
 Modelo: 62 MAX
 Serie: 36302242WS
 Identificación: No Indica
 Ubicación: No Indica

Rango de indicación: -30 °C a 500 °C
 División mínima: 0,1 °C
 Procedencia: China
 Sensor: Infrarrojo

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.

Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2019-01-06

Lugar: Laboratorio de Temperatura de UNIMETRO S.A.C.

Método: La calibración se efectuó mediante el método de comparación directa Tomando como referencia la PC-017 "Procedimiento para la calibración de termómetros digitales", 1ra. Edición, Diciembre 2012, SNM-INDECOPI.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES:

| INDICACIÓN TERMÓMETRO (°C) | CORRECCIÓN (°C) | TCV (°C) | INCERTIDUMBRE (°C) |
|-------------------------------|--------------------|-------------|-----------------------|
| 0,0 | -0,6 | -0,6 | 0,2 |
| 200,0 | 4,8 | 204,8 | 1,6 |
| 400,0 | 6,4 | 406,4 | 1,7 |

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES AMBIENTALES:

| | Inicial | Final |
|------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 20,8 | 20,9 |
| Humedad Relativa (%HR) | 68,0 | 66,0 |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--------------------------------------|--|------------------------------|
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termómetro patrón de 0,01 °C de resolución | LT-009-2019 - INACAL-DM |
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termómetro patrón de 0,01 °C de resolución | LT-010-2019 - INACAL-DM |
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termómetro patrón de 0,1 °C de resolución | CT-012-2019 - UNIMETRO S.A.C |

OBSERVACIONES:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.



Ing. Moisés A. Inga Chucos
 Gerente de Metrología
 Rég. CIP N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° CTU-017-2019

Fecha de emisión: 2019-01-06

Expediente: 012-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: PSICRÓMETRO

Marca: BACHARACH
Modelo: No Indica
Serie: No Indica
Identificación: CI-23409 (*)
Ubicación: No Indica

Rango de indicación: -5 °C a 50 °C
División mínima: 1 °C
Procedencia: U.S.A.
Líquido: Mercurio

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.

Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN:

Fecha: 2019-01-06
Lugar: Laboratorio de Temperatura de UNIMETRO S.A.C.
Método: La calibración se efectuó mediante el método de comparación directa Tomando como referencia la PC-017 "Procedimiento para la calibración de termómetros digitales", 1ra. Edición, Diciembre 2012, SNM-INDECOPI.

CONDICIONES AMBIENTALES:

| | Inicial | Final |
|--------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 19,0 | 19,3 |
| Humedad Relativa (%hr) | 64,7 | 64,0 |
| Tiempo de Estabilización | 20 min. | |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--------------------------------------|--|----------------------------|
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termómetro patrón de 0,01 °C de resolución | LT-009-2019 INACAL-DM |
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termómetro patrón de 0,01 °C de resolución | LT-010-2019 INACAL-DM |

OBSERVACIONES:

- (*) Identificación asignada por PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO"
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.
- La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.
- (**) Se le asignó las identificaciones de H y S al termómetro de bulbo húmedo (C2) y al de bulbo seco (C1) respectivamente.



Ing. Moisés A. Inga Chucos
Gerente de Metrología
Reg. CIP N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES:

| TERMOMETRO DE LIQUIDO EN VIDRIO: HUMEDO (H) (**) | | | |
|---|---------------------------|--------------------|------------------------------|
| INDICACIÓN TERMÓMETRO (°C) | CORRECCIÓN (°C) | TCV (°C) | INCERTIDUMBRE (°C) |
| 5,0 | 0,6 | 5,6 | 0,2 |
| 20,0 | 0,2 | 20,2 | 0,2 |
| 40,0 | -0,4 | 39,6 | 0,2 |

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

| TERMOMETRO DE LIQUIDO EN VIDRIO: SECO (S) (**) | | | |
|---|---------------------------|--------------------|------------------------------|
| INDICACIÓN TERMÓMETRO (°C) | CORRECCIÓN (°C) | TCV (°C) | INCERTIDUMBRE (°C) |
| 5,0 | -0,3 | 4,7 | 0,2 |
| 20,0 | 0,7 | 20,7 | 0,2 |
| 40,0 | 0,9 | 40,9 | 0,2 |

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

FIN DEL DOCUMENTO





CERTIFICADO DE CALIBRACION
Certificado No. 20 - 001121

- 1 **SOLICITANTE**
RUC
DIRECCION
PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.
20553327971
CALLE 8 DE OCTUBRE 271, DPTO. 302
URB. SANTA CRUZ
MIRAFLORES, LIMA

- 2 **INSTRUMENTO DE MEDICION**
FABRICANTE
PROCEDENCIA
MODELO
SERIE No.
SONDA F SERIE No.
RANGO
MEDIDOR DE ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS
DEFELSKO CORPORATION
USA
POSITECTOR STD
848277
385858
0 - 60 MILS (0 - 1,500 MICRAS)

- 3 **CONDICIONES DE LABORATORIO**
TEMPERATURA
HUMEDAD RELATIVA
FECHA CALIBRACION
25 ± 5 °C
MAX. 95%
7/02/2019

- 4 **METODO**
El medidor de espesor de recubrimientos fue verificado de acuerdo al procedimiento de calibración del fabricante, utilizando láminas patrón.

- 5 **PATRON DE MEDICION**
Durante el procedimiento de calibración, se han utilizado láminas patrón, con Número de Serie CPC-1058, con Certificado Inacal **LLA - 268 - 2019**
Se adjunta el Certificado de Calibración.

- 6 **RESULTADOS**
Las mediciones efectuadas se muestran en la Tabla No. 01 del presente documento.
El instrumento está operando dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante.
Se recomienda verificar la calibración del equipo una vez al año, asimismo este intervalo puede cambiar de acuerdo al uso, manipuleo, o condiciones de almacenaje.

TABLA No. 01 - MEDICIONES

| Patrón de Calibración (Color) | Tolerancias especificadas | | | Lectura del Instrumento (Mils) | Factor de corrección (Mils) |
|-------------------------------|---------------------------|----------------|-------|--------------------------------|-----------------------------|
| | Min | Espesor (Mils) | Max | | |
| NARANJA | 0.89 | 0.94 | 0.99 | 0.94 | 0.00 |
| ROJO | 1.99 | 2.05 | 2.11 | 2.06 | -0.01 |
| CELESTE | 5.07 | 5.20 | 5.33 | 5.22 | -0.02 |
| MARRON | 10.10 | 10.28 | 10.46 | 10.25 | 0.03 |
| AMARILLO | 19.72 | 20.00 | 20.28 | 20.03 | -0.03 |

Realizado por:

Gerardo Araujo Saravia


Técnico
CORROSION & PROTECTIVE COATINGS S.A.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº **CLU-021-2019**

Fecha de emisión: 2019-01-06
Expediente: 012-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: **PIE DE REY**
 Marca: MITUTOYO
 Modelo: CD-6" ASX-B
 Código de fábrica: 500-196-30B
 Número de serie: 18944912
 Código de identificación: No indica

Alcance de Indicación: 0 mm a 150 mm;
0 in a 6 in
 Resolución: 0,01 mm; 0,0005 in
 Tipo de Indicación: Digital
 Procedencia: Brasil

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.
 Dirección: Cal. 8 De Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2019-01-06
 Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.
 Método: Según el PC-012 Procedimiento de calibración de pie de rey 5ta. Edición, Agosto 2012, SNM-INDECOPI.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES AMBIENTALES:

| | Inicio | Final |
|-------------|---------|---------|
| Temperatura | 21,0 °C | 20,0 °C |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Bloques Patrón de Longitud | LLA-C-074-2019 - INACAL-DM |
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termohigrómetro | LH-132-2019-INACAL-DM |

OBSERVACIONES:

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" en el instrumento.
- La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.



Mrs. Moisés A. Inga Chucos
 Gerente de Metrología
 Reg. C.O.P. N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
 Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
 Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

RESULTADOS

ERROR DE REFERENCIA INICIAL (I): 0.00 μm

ERROR DE INDICACIÓN DEL PIE DE REY PARA MEDICIÓN DE EXTERIORES

| VALOR PATRÓN (mm) | PROMEDIO DE INDICACIÓN DEL PIE DE REY (mm) | ERROR (μm) |
|-------------------|--|-------------------------|
| 0.000 | 0.000 | 0 |
| 50.001 | 49.998 | -3 |
| 100.002 | 100.012 | 10 |
| 150.002 | 150.013 | 11 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL (E) (μm) |
|-------------------|--|
| 150.00 | 10 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE REPETIBILIDAD (R) (μm) |
|-------------------|--|
| 150.00 | 20 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE CAMBIO DE ESCALA DE EXTERIORES A INTERIORES (S-E) (μm) |
|-------------------|--|
| 70.00 | -7 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE CAMBIO DE ESCALA DE EXTERIORES A PROFUNDIDAD (S-P) (μm) |
|-------------------|---|
| 70.00 | -10 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE CONTACTO LINEAL (L) (μm) |
|-------------------|--|
| 9.98 | 0 |



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

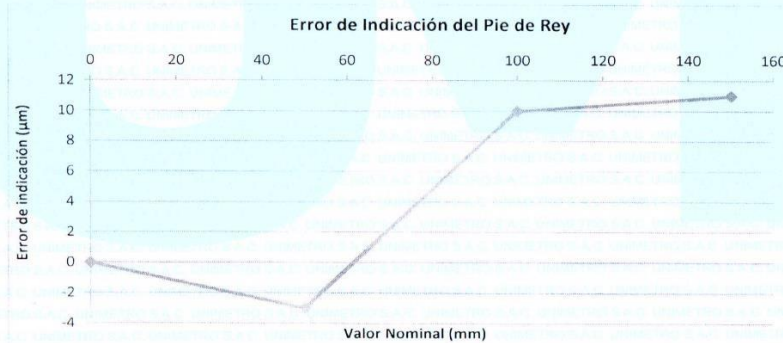
Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DE CONTACTO DE SUPERFICIE COMPLETA (J) (µm) |
|-------------------|---|
| 20,00 | 0 |

| VALOR PATRÓN (mm) | ERROR DEBIDO A LA DISTANCIA DE CRUCE DE LAS SUPERFICIES DE MEDICIÓN PARA MEDICIÓN DE INTERIORES (K) (µm) |
|-------------------|--|
| 5,00 | 10 |

Incertidumbre del error de indicación del pie de rey: $[(16,53^2 + 0,026^2 * L^2)]^{1/2} \mu\text{m}$
L: indicación del pie de rey expresado en milímetros

- Nota 1: Error de indicación del pie de rey para medición de interiores = Error de Indicación de exteriores + Error de cambio de escala de exteriores a interiores (SE-i)
- Nota 2: Error de indicación del pie de rey para medición de profundidad = Error de Indicación de exteriores + Error de cambio de escala de exteriores a profundidad (SE-p).
- Nota 3: El instrumento tiene un error máximo permisible de $\pm 30 \mu\text{m}$, según norma DIN 862-1988.



FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° **CLU-017-2019**

Fecha de emisión: 2019-01-06
Expediente: 012-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: **WELD FILLET GAUGE**
 Marca: G.A.L. GAGE CO. Alcance de indicación: (*)
 Modelo: Weld Fillet Gage Tipo de indicación: Analógica
 Serie: No Indica Procedencia: U.S.A.
 Identificación: UML-3129 (**)

SOLICITANTE: **PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.**
 Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2019-01-06
 Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.
 Método: Tomando como referencia la Norma OIML-R035 "Medidas Materializadas de Longitud".

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES AMBIENTALES:


| | Inicial | Final |
|--------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 20,1 | 20,4 |
| Humedad Relativa (%hr) | 65 | 64 |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--|------------------|------------------------------|
| Patrones de referencia de la INACAL-DM | Regla | L-0898-2019 - METROIL S.A.C. |

OBSERVACIONES:

- (**) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- (*) Juego de medidas de espesores de soldadura cada uno viene representado por 2 mediciones concavas y 2 mediciones convexas.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" en el instrumento.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.



Ing. Moisés A. Inga Chuco
Gerente de Metrología
Reg. CIP N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

RESULTADOS

| WELD FILLET GAGE # 1 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 25,40 | 25,40 | 0,00 (*) |
| 22,20 | 22,20 | 0,00 (*) |

Incertidumbre del error de Indicación (k=2): **0,01 mm**

(*) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

| WELD FILLET GAGE # 2 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 22,20 | 22,20 | 0,00 (*) |
| 19,10 | 19,10 | 0,00 (*) |

Incertidumbre del error de Indicación (k=2): **0,01 mm**

(*) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

| WELD FILLET GAGE # 3 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 25,40 | 25,40 | 0,00 (*) |
| 25,40 | 25,40 | 0,00 (*) |

Incertidumbre del error de Indicación (k=2): **0,01 mm**

(*) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

| WELD FILLET GAGE # 4 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 15,90 | 15,90 | 0,00 (*) |
| 6,40 | 6,40 | 0,00 (*) |
| 15,90 | 15,90 | 0,00 (**) |
| 6,40 | 6,40 | 0,00 (**) |

Incertidumbre del error de Indicación (k=2): **0,01 mm**

(*) Para medidas convexas del espesor de soldadura.

(**) Para medidas concavas del espesor de soldadura.



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
 Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
 Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

| WELD FILLET GAGE # 5 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 4,80 | 4,80 | 0,00 (*) |
| 3,20 | 3,20 | 0,00 (*) |
| 4,80 | 4,80 | 0,00 (**) |
| 3,20 | 3,20 | 0,00 (**) |

Incertidumbre del error de Indicación ($k=2$): **0,01 mm**

(*) Para medidas convexas del espesor de soldadura.
(**) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

| WELD FILLET GAGE # 6 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 7,90 | 7,90 | 0,00 (*) |
| 11,10 | 11,10 | 0,00 (*) |
| 7,90 | 7,90 | 0,00 (**) |
| 11,10 | 11,10 | 0,00 (**) |

Incertidumbre del error de Indicación ($k=2$): **0,01 mm**

(*) Para medidas convexas del espesor de soldadura.
(**) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

| WELD FILLET GAGE # 7 | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Indicación del Instrumento (mm) | Indicación del Patrón (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 9,50 | 9,50 | 0,00 (*) |
| 12,70 | 12,70 | 0,00 (*) |
| 9,50 | 9,50 | 0,00 (**) |
| 12,70 | 12,70 | 0,00 (**) |

Incertidumbre del error de Indicación ($k=2$): **0,01 mm**

(*) Para medidas convexas del espesor de soldadura.
(**) Para medidas concavas del espesor de soldadura.

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° CLU-015-2019

 Fecha de emisión: 2019-01-06
 Expediente: 012-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: V - WAC GAGE
 Marca: G.A.L. GAGE CO
 Modelo: 269-465-5750
 Serie: No indica
 Identificación: UML-311 (*)
 Procedencia: U.S.A.

 Alcance de indicación: 0 mm a 6 mm
 División de escala: 0,5 mm
 Tipo de indicación: Analógico

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.
 Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2019-01-06
 Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.
 Método: Comparación directa con bloques patrones de longitud.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.

 La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES AMBIENTALES:

| | Inicial | Final |
|------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 20,1 | 20,4 |
| Humedad Relativa (%hr) | 65 | 63 |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Bloques Patrón de Longitud | LLA-C-074-2019 INACAL - DM |
| Patrones de referencia del INACAL-DM | Termohigrómetro | LH-132-2019 INACAL-DM |

OBSERVACIONES:

- (*) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" en el instrumento.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.


 Ing. Moisés A. Inga Chucos
 Gerente de Metrología
 Reg. CIP N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

RESULTADOS

| EXCESO DE SOLDADURA EN EL METAL | | |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| Valor Nominal Patrón (mm) | Indicación del Instrumento (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| 2,0 | 2,0 | 0,0 |
| 3,0 | 3,0 | 0,0 |
| 4,0 | 4,1 | 0,1 |
| 5,0 | 5,1 | 0,1 |
| 6,0 | 6,0 | 0,0 |

Incertidumbre del error de Indicación ($k=2$): 0.1 mm

| PROFUNDIDAD | | |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| Valor Nominal Patrón (mm) | Indicación del Instrumento (mm) | Error de Indicación (mm) |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| 2,0 | 2,0 | 0,0 |
| 3,0 | 3,0 | 0,0 |
| 4,0 | 4,1 | 0,1 |
| 5,0 | 5,1 | 0,1 |
| 6,0 | 6,0 | 0,0 |

Incertidumbre del error de Indicación ($k=2$): 0.1 mm

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° **CLU-047-2019**

Fecha de Emisión : 2019-01-15

Expediente : 042-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: CINTA MÉTRICA

Marca: TRUPER

Modelo: 12649

Identificación: UML-1056 (*)

Serie: No Indica

Alcance de indicación: 5000 cm; 164 ft

División de escala: 0,1 cm; 1/16 in

Procedencia: China

Ubicación: No Indica

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.

Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima.

DE LA CALIBRACIÓN:

Fecha: 2019-01-15

Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.

Método: Tomando como referencia la Norma OIML-R035 "Medidas Materializadas de Longitud".

Tomando como referencia la norma DI-011 "Procedimiento para la Calibración de Flexómetros", Edición Digital 1, CEM de España.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.

La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN:

| | Inicial | Final |
|--------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 20,6 | 20,4 |
| Humedad Relativa (%hr) | 63 | 65 |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--|------------------|------------------------------|
| Patrones de referencia de la INACAL-DM | Regla Metálica | L-0898-2019 - METROIL S.A.C. |

OBSERVACIONES:

- (*) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del equipo.



Ing. Moisés A. Inga Chucos
Gerente de Metrología
Reg. CIR N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

RESULTADOS

| INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (cm) | DESVIACIÓN ENCONTRADA (cm) | TOLERANCIA CLASE III (cm) |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 100,00 | -0,02 | 0,20 |
| 200,00 | -0,04 | 0,28 |
| 300,00 | -0,04 | 0,36 |
| 400,00 | -0,04 | 0,44 |
| 500,00 | -0,04 | 0,52 |
| 600,00 | -0,04 | 0,60 |
| 700,00 | -0,04 | 0,68 |
| 800,00 | -0,06 | 0,76 |
| 900,00 | -0,06 | 0,84 |
| 1 000,00 | -0,06 | 0,92 |
| 1 100,00 | -0,06 | 1,00 |
| 1 200,00 | -0,06 | 1,08 |
| 1 300,00 | -0,03 | 1,16 |
| 1 400,00 | -0,03 | 1,24 |
| 1 500,00 | -0,05 | 1,32 |
| 1 600,00 | -0,02 | 1,40 |
| 1 700,00 | 0,01 | 1,48 |
| 1 800,00 | 0,01 | 1,56 |
| 1 900,00 | 0,01 | 1,64 |
| 2 000,00 | 0,01 | 1,72 |
| 2 100,00 | -0,01 | 1,80 |
| 2 200,00 | -0,01 | 1,88 |
| 2 300,00 | -0,01 | 1,96 |
| 2 400,00 | -0,01 | 2,04 |
| 2 500,00 | -0,01 | 2,12 |
| 2 600,00 | -0,01 | 2,20 |
| 2 700,00 | -0,01 | 2,28 |
| 2 800,00 | 0,02 | 2,36 |
| 2 900,00 | 0,02 | 2,44 |
| 3 000,00 | 0,02 | 2,52 |
| 3 100,00 | 0,02 | 2,60 |
| 3 200,00 | 0,05 | 2,68 |
| 3 300,00 | 0,05 | 2,76 |
| 3 400,00 | 0,05 | 2,84 |
| 3 500,00 | 0,08 | 2,92 |
| 3 600,00 | 0,13 | 3,00 |
| 3 700,00 | 0,13 | 3,08 |
| 3 800,00 | 0,13 | 3,16 |
| 3 900,00 | 0,16 | 3,24 |
| 4 000,00 | 0,16 | 3,32 |
| 4 100,00 | 0,16 | 3,40 |
| 4 200,00 | 0,19 | 3,48 |
| 4 300,00 | 0,22 | 3,56 |
| 4 400,00 | 0,20 | 3,64 |
| 4 500,00 | 0,20 | 3,72 |
| 4 600,00 | 0,23 | 3,80 |
| 4 700,00 | 0,26 | 3,88 |
| 4 800,00 | 0,26 | 3,96 |
| 4 900,00 | 0,26 | 4,04 |
| 5 000,00 | 0,31 | 4,12 |

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN: 0,09 cm

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº **CLU-014-2019**

Fecha de Emisión : 2019-01-06

Expediente : 011-2019

UNIDAD BAJO PRUEBA: FLEXÓMETRO

Marca: STANLEY
 Modelo: 30-626
 Identificación: UML-827 (*)
 Serie: No indica

Alcance de indicación: 800 cm; 26 ft
 División de escala: 0.1 cm; 1/32 in (**)
 Procedencia: No indica
 Ubicación: No indica

SOLICITANTE: PENTATECH CONSTRUCCION S.A.C.

Dirección: Cal. 8 de Octubre Nro. 271 Dpto. 302 Urb. Santa Cruz - Miraflores - Lima - Lima

DE LA CALIBRACIÓN:

Fecha: 2019-01-06
 Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.
 Método: Tomando como referencia la Norma OIML-R035 "Medidas Materializadas de Longitud".
 Tomando como referencia la norma DI-011 "Procedimiento para la Calibración de Flexómetros", Edición Digital 1, CEM de España.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
 La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN:

| | Inicial | Final |
|--------------------------|---------|-------|
| Temperatura (°C) | 19,9 | 19,8 |
| Humedad Relativa (%hr) | 65 | 65 |

PATRONES DE REFERENCIA:

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Certificado de Calibración |
|--|------------------|------------------------------|
| Patrones de referencia de la INACAL - DM | Regla | L-0898-2019 - METROIL S.A.C. |

OBSERVACIONES:

- (*) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- (**) División de escala de: 0.1 cm en el rango de indicación de 0 cm a 800 cm; 1/16 in en el rango de indicación de 0,5 ft a 26 ft; 1/32 in en el rango de 0 ft a 0,5 ft.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del equipo.



Ing. Moisés C. Inga Chucos
 Gerente de Metrología
 Reg. CIP N° 137294

PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
 Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
 Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

RESULTADOS

| INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (cm) | DESVIACIÓN ENCONTRADA (cm) | TOLERANCIA CLASE II (cm) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 0.00 | 0.00 | 0.06 |
| 10.00 | 0.00 | 0.06 |
| 20.00 | 0.00 | 0.06 |
| 30.00 | 0.00 | 0.06 |
| 40.00 | 0.00 | 0.06 |
| 50.00 | 0.01 | 0.10 |
| 60.00 | 0.01 | 0.10 |
| 70.00 | 0.01 | 0.10 |
| 80.00 | 0.01 | 0.10 |
| 90.00 | 0.01 | 0.10 |
| 100.00 | 0.01 | 0.10 |
| 150.00 | 0.02 | 0.14 |
| 200.00 | 0.02 | 0.14 |
| 250.00 | 0.03 | 0.18 |
| 300.00 | 0.03 | 0.18 |
| 350.00 | 0.04 | 0.22 |
| 400.00 | 0.04 | 0.22 |
| 450.00 | 0.05 | 0.26 |
| 500.00 | 0.05 | 0.26 |
| 550.00 | 0.06 | 0.30 |
| 600.00 | 0.06 | 0.30 |
| 650.00 | 0.07 | 0.34 |
| 700.00 | 0.07 | 0.34 |
| 750.00 | 0.08 | 0.38 |
| 800.00 | 0.08 | 0.38 |

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN: 0.08 cm

FIN DEL DOCUMENTO



PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACION ESCRITA DE UNIMETRO S.A.C.

Anexo 6. Certificado de calidad de insumos para inspección, soldadura y pintura.



Certification

SKD-S2

Date: 10/18/2018

Purchase Order:

Batch #: 19K12K

We hereby certify that the Penetrate inspection material

Type SKD-S2 , Batch No. 19K12K

Manufactured in October, 2018 furnished on the above order number
meets the requirements of EN ISO 3452-2, with the following results.

| Individual Property | Section | Requirement | Result |
|--------------------------------------|---------|--|--------|
| Appearance | 6.1 | White | PASS |
| Sensitivity (30µm panel) | 6.2 | Sensitivity Level (1(<75%) or 2 (≥75%)) Penetrant: SKL-SP2 | 2 |
| Density | 6.3 | .707-.824@ 20°C (68°F) | 0.786 |
| Residue on evaporation/solid content | 6.13 | 13.83 - 16.94 g* | 15.83 |
| Flashpoint | 6.5 | NA | NA** |
| Corrosive Properties (Mg) | 6.11 | No evidence of staining, pitting or corrosion | PASS |
| Developer Performance | 6.15 | Fine, even, non-reflective and non-fluorescent coating, shall increase visibility of the penetrant indications | PASS |
| Re-dispensability | 6.16 | Readily dispersed when stirred or agitated. Aerosol shall be suspended after 30sec shaking | PASS |

*Residue on evaporation/solid content is done from the bulk material and not the aerosol cans. Value obtained is more accurate on bulk material.

**Flashpoint not required per ISO3452-2:2013 6.5.1 flashpoint measurement only required for material with nominal flash of 20°C and 110°C. Flashpoint is below 20°C

***Testing in accordance with 5.4.3 Table 4 as applicable

Mathew Plamoottil
Quality Assurance Manager

Laurie Marx
Quality Control Manager

155 Harlem Ave.
Glenview, IL 60025
P: 1-847-657-5300

Form No. 3452SKD-S2 R-02/16

magnaflux.com

SKL-WP2

Date: 09/11/2017

Purchase Order:

Batch #: 17J08K

We hereby certify that the Penetrate inspection material

Type SKL-WP2, Batch No 17J08K

Manufactured in September, 2017 furnished on the above order number meets the requirements of EN ISO 3452-2, with the following results.

| Individual Property | Section | Requirement | Result |
|---------------------------|---------|---|--------|
| Appearance | 6.1 | Red Liquid | PASS |
| Sensitivity (30µm panel) | 6.2 | Sensitivity Level (1(<75%) or 2 (≥75%)) | 2 |
| Density | 6.3 | 0.839-0.927@ 20°C (68°F) | 0.891 |
| Viscosity | 6.4 | 7.83-9.57 cST@37.8 °C (100°F) | 8.88 |
| Flashpoint | 6.5 | >101°C (213°F) | 214 |
| Washability | 6.6 | Residue equal or less than standard | PASS |
| Corrosive Properties (Mg) | 6.11 | No evidence of staining, pitting or corrosion | PASS |
| Water Tolerance | 6.10 | >5% | 16.85 |

*Testing in accordance with 5.4.1 Table 2 as applicable



Mathew Plamoottil
Quality Assurance Manager



Laurie Marx
Quality Control Manager

Producto: EXATUB E71T-1M 1.20mm 15.00kg

Clasificación: E 71T - 1C / 1M

Lote producción: F103A9I120

Especificación: AWS A5.20

Fecha emisión: 12/09/2019

Diámetro: 1.20mm

Mediante el presente documento se certifica que el producto indicado y el lote referido es de la misma clasificación, proceso de fabricación y los materiales utilizados en su fabricación cumplen con los mismos requisitos del producto cuyos resultados se muestran a continuación. Este producto ha sido fabricado bajo el sistema de calidad de SOLDEX S.A. el cual cumple con los requerimientos de la Norma ISO 9001 y los ensayos sobre el metal depositado han sido realizados de acuerdo a las Normas Técnicas Internacionales aplicables.

Composición Química

| Especificación [%] | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|
| C | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | P | S | Nb | Cu |
| Máx. 0.12 | Máx. 0.20 | Máx. 0.50 | Máx. 0.30 | Máx. 1.75 | Máx. 0.90 | Máx. 0.03 | Máx. 0.03 | ---- | Máx. 0.35 |
| Otros | V = Máx. 0.08 | | | | | | | | |
| Metal Depositado / Alambre Sólido [%] | | | | | | | | | |
| C | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | P | S | Nb | Cu |
| 0.053 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 1.16 | 0.54 | 0.012 | 0.013 | ---- | 0.04 |
| Otros | V = 0.02 | | | | | | | | |

Propiedades Mecánicas - Tracción

| Especificación | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Gas de Protección | Condición de Prueba | Resistencia a la Tracción Min [MPa] | Límite de Fluencia Min [MPa] | Elongación Min [%] |
| 75-25%Ar/balan.CO2 | Después de Soldado | 490 - 670 | 390 | 22 |
| Metal Depositado | | | | |
| Gas de Protección | Condición de Prueba | Resistencia a la Tracción [MPa] | Límite de Fluencia [MPa] | Elongación [%] |
| 75-25%Ar/balan.CO2 | Después de Soldado | 570 | 557 | 28 |

Propiedades Mecánicas - Impacto

| Especificación | | | | | |
|--------------------|---------------------|------------------|--------------------------|--------------------|----------------|
| Gas de Protección | Condición de Prueba | Temperatura [°C] | Valores Individuales [J] | Valor Promedio [J] | Tipo de Ensayo |
| 75-25%Ar/balan.CO2 | Después de Soldado | -20 | ---- | 27 | ---- |
| Metal Depositado | | | | | |
| Gas de Protección | Condición de Prueba | Temperatura [°C] | Valores Individuales [J] | Valor Promedio [J] | Tipo de Ensayo |
| 75-25%Ar/balan.CO2 | Después de Soldado | -20 | ---- | 90 | ---- |

Otras Pruebas

| Inspección Radiográfica | Prueba de Soldadura en Filete | | | Otros |
|-------------------------|-------------------------------|----------|--------------|----------|
| Conforme | Vertical: | Conforme | Sobrecabeza: | Conforme |
| | | | | ---- |

Ing. Ronald Requejo V.
SOLDEX S.A.



SHERWIN-WILLIAMS.

Sherwin Williams Perú SRL Una subsidiaria de Sherwin Williams Company, Cleveland, Ohio, USA

| CERTIFICADO DE CALIDAD | | | |
|--|-------------|--|------------------|
| PRODUCTO : DILUYENTE EPOXICO P33 NC | | | |
| PESO ESPECIFICO: Kg/Gln | ASTM D 1475 | 3.21 +/- 0.07 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA: | ASTM D 891 | 0.846 +/- 0.02 | |
| COLOR: | | Característico | |
| COMPOSICIÓN: | | Solventes NO CONTROLADOS | |
| CLARIDAD: | ASTM D 2090 | Líquido Claro, libre de materia en suspensión. | |
| | LOTE | 0914191G | Fecha 20/09/2019 |

El presente certificado se extiende por Sherwin Williams Perú S.R.L. quien asume la garantía con el cliente, bajo el respaldo de la subsidiaria fabricante del producto.

SHERWIN WILLIAMS PERÚ S.R.L.
[Handwritten Signature]
SEGUNDO DE LA CRUZ BANCAL
Laboratorio de Control de Calidad

AV.EL DERBY N°125 - URB. EL DERBY - SANTIAGO DE SURCO - LIMA
Central Telefónica 251 2929 - Fax 251 3938 - E-mail: clientes@sherwin.com.pe



SHERWIN-WILLIAMS.

Sherwin Williams Perú SRL Una subsidiaria de Sherwin Williams Company, Cleveland, Ohio, USA

CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO : MACROPOXY 646

| | | | | | | | | |
|--|--|--------------|---------|------------------|---------|------------------|-------|------------|
| PRODUCTO FORMULADO EN BASE A: | Resina Epóxy Poliamidoamina | | | | | | | |
| COLOR: | RAL 7035 | | | | | | | |
| COMPOSICIÓN: | - Pigmento : 48 +/-2% - Vehículo : 52 +/-2% | | | | | | | |
| PIGMENTO: | Pigmentos Especiales y Extendedores Inertes | | | | | | | |
| VEHÍCULO: | - No Volátil : 65.5+/-2% - Volátil : 34.5+/-2% | | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS: | | | | | | | | |
| - Contenido Sólidos en Peso: | 84 +/-2% | | | | | | | |
| - Contenido Sólidos en Volumen: | 72 +/-2% | | | | | | | |
| - Peso Especifico: | 1,56 +/-0,1 | | | | | | | |
| - Rendimiento Teórico: (a 4 Mils película seca) | 26.8 m ² /galón | | | | | | | |
| - Diluyente: | P33 | | | | | | | |
| - Viscosidad de Entrega: | 110+/- 5 KU (25°) | | | | | | | |
| - Secado Tacto: | 1-2 horas a 25°C | | | | | | | |
| - Secado Duro: | 7 días | | | | | | | |
| - Tiempo de Repintado: | 8 horas mín. – 24 meses máx. | | | | | | | |
| -Estabilidad en Envase Sellado (20°C): | 2 años | | | | | | | |
| - POT LIFE (20°C) 1 lt.: | 4 horas | | | | | | | |
| - Nº de componentes: | 2 | | | | | | | |
| - Relación Mezcla: | 1A : 1B (vol) | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td>LOTES</td> <td>PARTE A</td> <td>43807</td> <td>PARTE B</td> <td>TG1929BC1</td> <td>Fecha</td> <td>20/08/2019</td> </tr> </table> | LOTES | PARTE A | 43807 | PARTE B | TG1929BC1 | Fecha | 20/08/2019 |
| LOTES | PARTE A | 43807 | PARTE B | TG1929BC1 | Fecha | 20/08/2019 | | |

El presente certificado se extiende por Sherwin Williams Perú S.R.L., quien asume la garantía con el cliente, bajo el respaldo de la subsidiaria fabricante del producto.

SHERWIN WILLIAMS PERU S.R.L.

SEFUNDIO DE LA CRUZ BANCOS

Administración de Fondos de Inversión

AV.EL DERBY N°125 - URB. EL DERBY - SANTIAGO DE SURCO - LIMA
Central Telefónica 251 2929 - Fax 251 3938 - E-mail: clientes@sherwin.com.pe



SHERWIN-WILLIAMS.

Sherwin Williams Perú SRL Una subsidiaria de Sherwin Williams Company, Cleveland, Ohio, USA

| CERTIFICADO DE CALIDAD | | | | | | | |
|--|--|---------|-------|---------|-------------|-------|------------|
| PRODUCTO : DURAPLATE UHS TS | | | | | | | |
| PRODUCTO FORMULADO EN BASE A: | Resina Epóxica y curantes aminas | | | | | | |
| COLOR: | BLANCO | | | | | | |
| PIGMENTO: | Pigmentos Especiales y extendedores inertes | | | | | | |
| VEHÍCULO: | - No Volátil : 100+/-2% - Volátil : 0 +/-2% | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS: | | | | | | | |
| - Contenido Sólidos en Peso: | 98 +/-2% | | | | | | |
| - Contenido Sólidos en Volumen: | 98 +/-2% | | | | | | |
| - Peso Específico: | 1,30+/-0,1 | | | | | | |
| - Diluyente: | P215 | | | | | | |
| - Viscosidad de Entrega: | 138 +/- 10 ku | | | | | | |
| - Secado Tacto: (25°C) | 3 horas | | | | | | |
| - Secado Duro: | 7 días | | | | | | |
| - Tiempo de Repintado: (25°C) | 4 horas mín. – 14 días máx | | | | | | |
| -Estabilidad en Envase Sellado (20°C): | 2 años | | | | | | |
| - POT LIFE (20°C) : | 1 hora | | | | | | |
| - N° de componentes: | 2 | | | | | | |
| - Relación Mezcla: | 4A : 1B (vol) | | | | | | |
| | LOTES | PARTE A | 43795 | PARTE B | 43945-43775 | Fecha | 20/09/2019 |

El presente certificado se extiende por Sherwin Williams Perú S.R.L, quien asume la garantía con el cliente, bajo el respaldo de la subsidiaria fabricante del producto.

SHERWIN-WILLIAMS PERU S.R.L.
[Signature]
SEGUNDO DE LA CRUZ HAMBES
Laboratorio de Control de Calidad

AV.EL DERBY N°125 - URB. EL DERBY - SANTIAGO DE SURCO - LIMA
Central Telefónica 251 2929 - Fax 251 3938 - E-mail: clientes@sherwin.com.pe

Anexo 7. Especificaciones de materiales y pesos.



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Canales - Válvulas - Fittings

PLANCHAS DE ACERO ESTRUCTURAL LAMINADAS EN CALIENTE ASTM A 36/A 36M

Descripción

Productos planos, que se obtienen por laminación en caliente, a partir de planchones de acero estructural.

Usos

Estructuras metálicas, equipos para la minería, tolvas, puentes, vigas, silos, tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, etc.

Normas Suministradas y Composición Química

| NORMA TECNICA | C % | Mn % | Si % | P % | S % | TIPO DE ACERO |
|-----------------|----------|----------|---------|----------|----------|-------------------|
| ASTM A 36/A 36M | 0.25 máx | 1.20 máx | 0.4 máx | 0.04 máx | 0.05 máx | RESISTENCIA MEDIA |

Propiedades Mecánicas

| NORMA TECNICA | Límite de Fluencia | | | Resistencia a la Tracción | | | Elongación | |
|-----------------|--------------------|--------|---------|---------------------------|---------|-----------|------------|------------|
| | Kg/mm ² | ksi | Mpa | Kg/mm ² | ksi | Mpa | Probeta 2" | Probeta 8" |
| ASTM A 36/A 36M | 25.3 min | 36 min | 250 min | 41 - 56 | 58 - 80 | 400 - 550 | 23 % min | 20% min |

Dimensiones y Pesos Teóricos

| SISTEMA METRICO | | | SISTEMA INGLES, REFERENCIAL | | | PESOS TEORICOS | | | AREA DE PLANCHA | |
|-----------------|----------|----------|-----------------------------|-----------|-----------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Espesor mm | Ancho mm | Largo mm | Espesor | Ancho pie | Largo pie | kg/plancha | kg/m ² | kg/pie ² | m ² | pie ² |
| 2.9* | 1500 | 6000 | 1/8" | 5 | 20 | 204.89 | 22.77 | 2.11 | 9.00 | 96.88 |
| 3.0* | 1500 | 6000 | 1/8" | 5 | 20 | 211.95 | 23.55 | 2.19 | 9.00 | 96.88 |
| 4.0* | 1500 | 6000 | 5/32" | 5 | 20 | 282.60 | 31.40 | 2.92 | 9.00 | 96.88 |
| 4.4* | 1500 | 6000 | 3/16" | 5 | 20 | 310.86 | 34.54 | 3.21 | 9.00 | 96.88 |
| 4.5* | 1500 | 6000 | 3/16" | 5 | 20 | 317.93 | 35.33 | 3.28 | 9.00 | 96.88 |
| 5.9 | 1500 | 6000 | 1/4" | 5 | 20 | 416.84 | 46.32 | 4.30 | 9.00 | 96.88 |
| 6.0 | 1500 | 6000 | 1/4" | 5 | 20 | 423.90 | 47.10 | 4.38 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 12000 | 1/4" | 8 | 40 | 1356.48 | 47.10 | 4.38 | 28.80 | 310.00 |
| 6.4 | 1500 | 6000 | 1/4" | 5 | 20 | 452.16 | 50.24 | 4.67 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 12000 | 1/4" | 8 | 40 | 1446.91 | 50.24 | 4.67 | 28.80 | 310.00 |
| 7.9 | 1500 | 6000 | 5/16" | 5 | 20 | 558.14 | 62.02 | 5.76 | 9.00 | 96.88 |
| 8.0 | 1500 | 6000 | 5/16" | 5 | 20 | 565.20 | 62.80 | 5.83 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 6000 | 5/16" | 8 | 20 | 904.32 | 62.80 | 5.83 | 14.40 | 155.00 |
| | 2400 | 12000 | 5/16" | 8 | 40 | 1808.64 | 62.80 | 5.83 | 28.80 | 310.00 |

* Tolerancias de Acuerdo al JIS G 3193

Tolerancias de Acuerdo al ASTM A 6/A 6M

www.tubisa.com.pe



Vigas - Planchas - Tubos - Angulos - Canales - Válvulas - Fittings

PLANCHAS DE ACERO ESTRUCTURAL LAMINADAS EN CALIENTE ASTM A 36/A 36M

Dimensiones y Pesos Teóricos

| SISTEMA METRICO | | | SISTEMA INGLES, REFERENCIAL | | | PESOS TEORICOS | | | AREA DE PLANCHA | |
|-----------------|----------|----------|-----------------------------|-----------|-----------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| Espesor mm | Ancho mm | Largo mm | Espesor | Ancho pie | Largo pie | kg/plancha | kg/m ² | kg/pie ² | m ² | pie ² |
| 19.5 | 1500 | 6000 | 3/4" | 5 | 20 | 1377.68 | 153.08 | 14.22 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 6000 | 3/4" | 8 | 20 | 2204.28 | 153.08 | 14.22 | 14.40 | 155.00 |
| | 2400 | 12000 | 3/4" | 8 | 40 | 4408.56 | 153.08 | 14.22 | 28.80 | 310.00 |
| | 3000 | 6000 | 3/4" | 10 | 20 | 2755.35 | 153.08 | 14.22 | 18.00 | 193.75 |
| | 3000 | 12000 | 3/4" | 10 | 40 | 5510.70 | 153.08 | 14.22 | 36.00 | 387.50 |
| 22.0 | 1500 | 6000 | 7/8" | 5 | 20 | 1554.30 | 172.70 | 16.04 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 6000 | 7/8" | 8 | 20 | 2486.88 | 172.70 | 16.04 | 14.40 | 155.00 |
| | 2400 | 12000 | 7/8" | 8 | 40 | 4973.76 | 172.70 | 16.04 | 28.80 | 310.00 |
| | 3000 | 6000 | 7/8" | 10 | 20 | 3108.60 | 172.70 | 16.04 | 18.00 | 193.75 |
| | 3000 | 12000 | 7/8" | 10 | 40 | 6217.20 | 172.70 | 16.04 | 36.00 | 387.50 |
| 25.0 | 1500 | 6000 | 1" | 5 | 20 | 1766.25 | 196.25 | 18.23 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 6000 | 1" | 8 | 20 | 2826.00 | 196.25 | 18.23 | 14.40 | 155.00 |
| | 2400 | 12000 | 1" | 8 | 40 | 5652.00 | 196.25 | 18.23 | 28.80 | 310.00 |
| | 3000 | 6000 | 1" | 10 | 20 | 3532.50 | 196.25 | 18.23 | 18.00 | 193.75 |
| | 3000 | 12000 | 1" | 10 | 40 | 7065.00 | 196.25 | 18.23 | 36.00 | 387.50 |
| 32.0 | 1500 | 6000 | 1 1/4" | 5 | 20 | 2260.80 | 251.20 | 23.34 | 9.00 | 96.88 |
| | 2400 | 6000 | 1 1/4" | 8 | 20 | 3617.28 | 251.20 | 23.34 | 14.40 | 155.00 |
| | 2400 | 12000 | 1 1/4" | 8 | 40 | 7234.56 | 251.20 | 23.34 | 28.80 | 310.00 |
| | 3000 | 6000 | 1 1/4" | 10 | 20 | 4521.60 | 251.20 | 23.34 | 18.00 | 193.75 |
| | 3000 | 12000 | 1 1/4" | 10 | 40 | 9043.20 | 251.20 | 23.34 | 36.00 | 387.50 |

Tolerancias de Acuerdo al ASTM A 6/A 6M

Dimensiones y Peso Teóricos y Características

| Dimensiones | | Peso Teórico | | Área cm ² | EJE X - X y EJE Y - Y | | | |
|-----------------|----------------|--------------|---------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------|---------------|
| Sección (L) | Espesor (e) | Kg/m | Kg/6m | | I cm ⁴ | S cm ³ | r cm | X' = Y' cm |
| 2" x 2" | 1/8" | 2.455 | 14.733 | 3.120 | 7.200 | 1.920 | 1.530 | 1.320 |
| | 3/16" | 3.631 | 21.787 | 4.610 | 11.190 | 3.060 | 1.550 | 1.430 |
| | 1/4" | 4.747 | 28.483 | 6.050 | 14.040 | 3.900 | 1.530 | 1.480 |
| | 5/16" | 5.834 | 35.002 | 7.420 | 16.680 | 4.710 | 1.500 | 1.540 |
| | 3/8" | 6.994 | 41.966 | 8.770 | 19.460 | 5.580 | 1.480 | 1.590 |
| 2 1/2" x 2 1/2" | 3/16" | 4.569 | 27.412 | 5.810 | 22.520 | 4.890 | 1.960 | 1.750 |
| | 1/4" | 6.101 | 36.609 | 7.680 | 28.670 | 6.290 | 1.930 | 1.790 |
| | 5/16" | 7.441 | 44.645 | 9.420 | 35.090 | 7.830 | 1.920 | 1.870 |
| | 3/8" | 8.780 | 52.681 | 11.200 | 39.930 | 9.000 | 1.890 | 1.920 |
| 3" x 3" | 3/16" | 5.521 | 33.126 | 7.030 | 39.700 | 7.140 | 2.370 | 2.060 |
| | 1/4" | 7.292 | 43.752 | 9.290 | 51.460 | 9.370 | 2.350 | 2.130 |
| | 5/16" | 9.078 | 54.467 | 11.500 | 61.990 | 11.380 | 2.320 | 2.170 |
| | 3/8" | 10.715 | 64.289 | 13.600 | 72.920 | 13.570 | 2.310 | 2.250 |
| | 1/2" | 13.989 | 83.932 | 17.700 | 91.400 | 17.350 | 2.270 | 2.350 |
| 4" x 4" | 1/4" | 9.822 | 58.931 | 12.500 | 125.900 | 17.020 | 3.170 | 2.760 |
| | 5/16" | 12.203 | 73.218 | 15.500 | 154.000 | 20.990 | 3.150 | 2.820 |
| | 3/8" | 14.584 | 87.504 | 18.500 | 180.000 | 24.680 | 3.120 | 2.870 |
| | 1/2" | 19.048 | 114.291 | 24.200 | 230.900 | 32.240 | 3.090 | 3.000 |
| 6" x 6" | 5/16" | 18.453 | 110.719 | 23.600 | 540.000 | 48.420 | 4.780 | 4.090 |
| | 3/8" | 22.174 | 133.042 | 28.100 | 637.500 | 57.410 | 4.750 | 4.140 |
| | 1/2" | 29.168 | 175.008 | 37.100 | 825.300 | 75.180 | 4.710 | 4.260 |
| 8" x 8" | 1/2" | 39.287 | 235.725 | 50.000 | 2021.000 | 136.700 | 6.360 | 5.540 |
| | 5/8" | 48.663 | 291.977 | 62.000 | 2471.000 | 168.600 | 6.310 | 5.660 |

Tolerancias de acuerdo al ASTM A 6/A 6M

Pertiles U de alas inclinadas

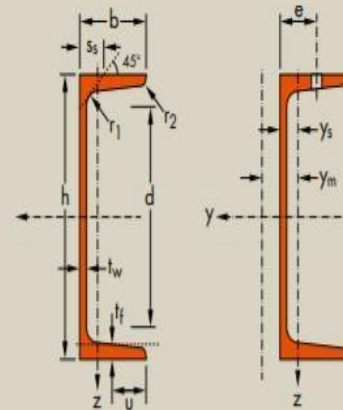
Dimensiones: DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986
 Tolerancias: EN 10279: 2000
 Estado de la superficie: conforme a EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

European standard channels

Dimensiones: DIN 1026-1: 2009, NF A 45-202: 1986
 Tolerancias: EN 10279: 2000
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Profili U ad ali inclinate

Dimensioni: DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986
 Tolleranze: EN 10279: 2000
 Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



| Denominación Designation Designazione | Dimensiones Dimensions Dimensioni | | | | | | | A mm ² x10 ² | Dimensiones de construcción Dimensions for detailing Dimensioni di dettaglio | | | | Superficie Surface Superficie | |
|---|---|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | G kg/m | h mm | b mm | t _w mm | t _f mm | r ₁ mm | r ₂ mm | | d mm | Ø | e _{min} mm | e _{max} mm | A _k m ² /m | A _G m ² /t |
| UPN 50* | 5,59 | 50 | 38 | 5,0 | 7,0 | 7,0 | 3,5 | 7,12 | 21 | - | - | - | 0,232 | 42,22 |
| UPN 65* | 7,09 | 65 | 42 | 5,5 | 7,5 | 7,5 | 4,0 | 9,03 | 34 | - | - | - | 0,273 | 39,57 |
| UPN 80* | 8,64 | 80 | 45 | 6,0 | 8,0 | 8,0 | 4,0 | 11,0 | 47 | - | - | - | 0,312 | 37,10 |
| UPN 100* | 10,6 | 100 | 50 | 6,0 | 8,5 | 8,5 | 4,5 | 13,5 | 64 | - | - | - | 0,372 | 35,10 |
| UPN 120 | 13,4 | 120 | 55 | 7,0 | 9,0 | 9,0 | 4,5 | 17,0 | 82 | - | - | - | 0,434 | 32,52 |
| UPN 140 | 16,0 | 140 | 60 | 7,0 | 10,0 | 10,0 | 5,0 | 20,4 | 98 | M 12 | 33 | 37 | 0,489 | 30,54 |
| UPN 160 | 18,8 | 160 | 65 | 7,5 | 10,5 | 10,5 | 5,5 | 24,0 | 115 | M 12 | 34 | 42 | 0,546 | 28,98 |
| UPN 180 | 22,0 | 180 | 70 | 8,0 | 11,0 | 11,0 | 5,5 | 28,0 | 133 | M 16 | 38 | 41 | 0,611 | 27,80 |
| UPN 200 | 25,3 | 200 | 75 | 8,5 | 11,5 | 11,5 | 6,0 | 32,2 | 151 | M 16 | 39 | 46 | 0,661 | 26,15 |
| UPN 220 | 29,4 | 220 | 80 | 9,0 | 12,5 | 12,5 | 6,5 | 37,4 | 167 | M 16 | 40 | 51 | 0,718 | 24,46 |
| UPN 240 | 33,2 | 240 | 85 | 9,5 | 13,0 | 13,0 | 6,5 | 42,3 | 184 | M 20 | 46 | 50 | 0,775 | 23,34 |
| UPN 260 | 37,9 | 260 | 90 | 10,0 | 14,0 | 14,0 | 7,0 | 48,3 | 200 | M 22 | 50 | 52 | 0,834 | 22,00 |
| UPN 280 | 41,8 | 280 | 95 | 10,0 | 15,0 | 15,0 | 7,5 | 53,3 | 216 | M 22 | 52 | 57 | 0,890 | 21,27 |
| UPN 300 | 46,2 | 300 | 100 | 10,0 | 16,0 | 16,0 | 8,0 | 58,8 | 232 | M 24 | 55 | 59 | 0,950 | 20,58 |
| UPN 320* | 59,5 | 320 | 100 | 14,0 | 17,5 | 17,5 | 8,8 | 75,8 | 246 | M 22 | 58 | 62 | 0,982 | 16,50 |



| | | |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Propiedades Mecánicas | Límite de Fluencia (fy) | 3,520 kg/cm ² |
| | Resistencia a la Tracción (R) | 6320 kg/cm ² mín. |
| | Alargamiento en 200 mm | 20.0% mínimo |
| | Soldabilidad | Buena |

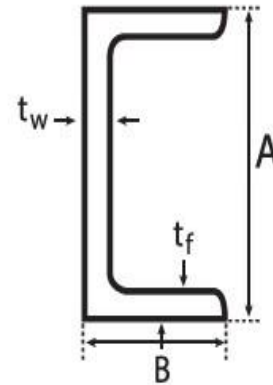
Canal U ASTM A36

Producto con sección en forma de U, obtenido mediante laminado en caliente (LAC).

Ideales para todas las aplicaciones estructurales, fabricación general y reparaciones.

Presentación: Barras de 6 metros de longitud.

Especificaciones: ASTM A36, AISI A36



| DESIGNACIÓN | ÁREA (in) | DIMENSIONES (in) | | | | PESO TEÓRICO | |
|--------------------|-----------|------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|
| | | (A) | (B) | (tw) | (tf) | Kg/m | Kg/6m |
| 2" x 2.58 lbs/pie | 0.76 | 2.00 | 1.000 | 0.187 | 0.187 | 3.82 | 22.92 |
| 3" x 4.10 lbs/pie | 1.21 | 3.00 | 1.410 | 0.273 | 0.273 | 6.12 | 36.72 |
| 3" x 5.0 lbs/pie | 1.47 | 3.00 | 1.498 | 0.273 | 0.273 | 7.43 | 44.58 |
| 4" x 2.34 lbs/pie | - | 4.00 | 1.000 | 0.187 | 0.187 | 3.33 | 20.00 |
| 4" x 5.4 lbs/pie | 1.59 | 4.00 | 1.584 | 0.296 | 0.296 | 8.03 | 48.18 |
| 4" x 6.25 lbs/pie | 1.82 | 4.00 | 1.647 | 0.247 | 0.296 | 9.30 | 55.8 |
| 4" x 7.25 lbs/pie | 2.13 | 4.00 | 1.721 | 0.296 | 0.296 | 10.8 | 64.8 |
| 5" x 6.7 lbs/pie | 1.95 | 5.00 | 1.750 | 0.190 | 0.320 | 10.00 | 60.00 |
| 5" x 9.0 lbs/pie | 2.63 | 5.00 | 1.885 | 0.325 | 0.320 | 13.40 | 80.4 |
| 5" x 5.07 lbs/pie | - | 5.00 | 2.000 | 0.187 | 0.187 | 7.55 | 45.30 |
| 6" x 8.2 lbs/pie | 2.39 | 6.00 | 1.920 | 0.200 | 0.343 | 12.20 | 73.2 |
| 6" x 10.5 lbs/pie | 3.07 | 6.00 | 2.034 | 0.314 | 0.343 | 15.63 | 93.78 |
| 7" x 9.8 lbs/pie | 2.85 | 7.00 | 2.090 | 0.210 | 0.366 | 14.60 | 87.6 |
| 8" x 11.5 lbs/pie | 3.36 | 8.00 | 2.260 | 0.220 | 0.390 | 17.10 | 102.6 |
| 8" x 13.75 lbs/pie | 4.02 | 8.00 | 2.343 | 0.303 | 0.390 | 20.50 | 123.0 |
| 9" x 13.4 lbs/pie | 3.89 | 9.00 | 2.430 | 0.230 | 0.413 | 19.90 | 119.4 |
| 10" x 15.3 lbs/pie | 4.47 | 10.00 | 2.600 | 0.240 | 0.436 | 22.80 | 136.8 |
| 10" x 20.0 lbs/pie | 5.86 | 10.00 | 2.739 | 0.379 | 0.436 | 29.80 | 178.8 |

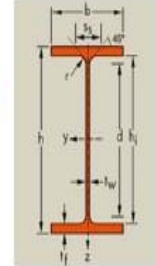
VIGA ESTRUCTURAL

Familia: 006 | Subfamilia: 000 / 001 / 002 / 005 / 006

Norma: ASTM A6/A 6M-07 / JIS G 3192: 2005 | JIS A 5526: 2005 / GB/T706: 1998



Viga W | Vigas de estándar norteamericano con alas largas.

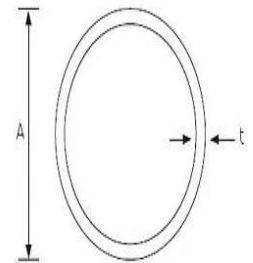


| Designación | Peso | | Dimensiones | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|-------------|-----|------|------|----|-------|-------|
| | | | h | b | tw | tf | r | hi | d |
| h x b x lb/pie | kg/m | lb/pie | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 4" x 4" x 13# | 19.3 | 13.0 | 106 | 103 | 7.1 | 8.8 | 6 | 88.4 | 76.4 |
| 6" x 4" x 9# | 13.5 | 9.0 | 150 | 100 | 4.3 | 5.5 | 6 | 139.0 | 127.0 |
| 6" x 4" x 12# | 18.0 | 12.0 | 153 | 102 | 5.8 | 7.1 | 6 | 138.4 | 126.4 |
| 6" x 6" x 15# | 22.5 | 15.0 | 152 | 152 | 5.8 | 6.6 | 6 | 138.8 | 126.8 |
| 6" x 6" x 20# | 29.8 | 20.0 | 157 | 153 | 6.6 | 9.3 | 6 | 138.4 | 126.4 |
| 6" x 6" x 25# | 37.1 | 25.0 | 162 | 154 | 8.1 | 11.6 | 6 | 138.8 | 126.8 |
| 8" x 4" x 13# | 19.3 | 13.0 | 203 | 102 | 5.8 | 6.5 | 8 | 190.0 | 174.0 |
| 8" x 5.25" x 18# | 26.6 | 18.0 | 207 | 133 | 5.8 | 8.4 | 8 | 190.2 | 174.2 |
| 8" x 5.25" x 21# | 31.3 | 21.0 | 210 | 134 | 6.4 | 10.2 | 8 | 189.6 | 173.6 |
| 8" x 6.5" x 24# | 35.9 | 24.0 | 201 | 165 | 6.2 | 10.2 | 10 | 180.6 | 160.6 |
| 8" x 6.5" x 28# | 41.7 | 28.0 | 205 | 166 | 7.2 | 11.8 | 10 | 181.4 | 161.4 |
| 8" x 8" x 31# | 46.1 | 31.0 | 203 | 203 | 7.2 | 11.0 | 10 | 181.0 | 161.0 |
| 8" x 8" x 35# | 52.0 | 35.0 | 206 | 204 | 7.9 | 12.6 | 10 | 180.8 | 160.8 |
| 8" x 8" x 40# | 59.0 | 40.0 | 210 | 205 | 9.1 | 14.2 | 10 | 181.6 | 161.6 |
| 8" x 8" x 48# | 71.0 | 48.0 | 216 | 206 | 10.2 | 17.4 | 10 | 181.2 | 161.2 |
| 8" x 8" x 58# | 86.0 | 58.0 | 222 | 209 | 13.0 | 20.6 | 10 | 180.8 | 160.8 |
| 8" x 8" x 67# | 100.0 | 67.0 | 229 | 210 | 14.5 | 23.7 | 10 | 181.6 | 161.6 |
| 10" x 4" x 12# | 17.9 | 12.0 | 251 | 101 | 4.8 | 5.3 | 8 | 240.4 | 224.4 |
| 10" x 4" x 15# | 22.3 | 15.0 | 254 | 102 | 5.8 | 6.9 | 8 | 240.2 | 224.2 |
| 10" X 5.75" x 16# | 24.0 | 16.0 | 253 | 145 | 5.0 | 6.4 | 8 | 240.2 | 224.2 |
| 10" X 5.75" x 22# | 32.7 | 22.0 | 258 | 146 | 6.1 | 9.1 | 8 | 239.8 | 223.8 |
| 10" X 5.75" x 26# | 38.5 | 26.0 | 262 | 147 | 6.6 | 11.2 | 8 | 239.6 | 223.6 |
| 10" X 5.75" x 30# | 44.8 | 30.0 | 266 | 148 | 7.6 | 13.0 | 8 | 240.0 | 224.0 |
| 10" x 8" x 33# | 49.1 | 33.0 | 247 | 202 | 7.4 | 11.0 | 13 | 225.0 | 199.0 |
| 10" x 8" x 45# | 67.0 | 45.0 | 257 | 204 | 8.9 | 15.7 | 13 | 225.6 | 199.6 |
| 10" x 10" x 49# | 73.0 | 49.0 | 253 | 254 | 8.6 | 14.2 | 13 | 224.6 | 198.6 |
| 10" x 10" x 60# | 89.0 | 60.0 | 260 | 256 | 10.7 | 17.3 | 13 | 225.4 | 199.4 |

| Productos | h | b | tw | tf | Peso |
|-----------|------|------|-------|-------|------|
| WT 4×24 | 4.25 | 8.11 | 0.4 | 0.685 | 24 |
| WT 4×29 | 4.38 | 8.22 | 0.51 | 0.81 | 29 |
| WT 4×33.5 | 4.5 | 8.28 | 0.57 | 0.935 | 33.5 |
| WT 5×16.5 | 4.87 | 7.96 | 0.29 | 0.435 | 16.5 |
| WT 5×6 | 4.93 | 3.96 | 0.19 | 0.21 | 6 |
| WT 5×19.5 | 4.96 | 7.99 | 0.315 | 0.53 | 19.5 |
| WT 5×24.5 | 4.99 | 10 | 0.34 | 0.56 | 24.5 |
| WT 5×8.5 | 5.05 | 4.01 | 0.24 | 0.33 | 8.5 |
| WT 5×22.5 | 5.05 | 8.02 | 0.35 | 0.62 | 22.5 |
| WT 5×27 | 5.05 | 10 | 0.37 | 0.615 | 27 |
| WT 5×11 | 5.09 | 5.75 | 0.24 | 0.36 | 11 |
| WT 5×15 | 5.24 | 5.81 | 0.3 | 0.51 | 15 |
| WT 5×38.5 | 5.3 | 10.2 | 0.53 | 0.87 | 38.5 |
| WT 5×44 | 5.42 | 10.3 | 0.605 | 0.99 | 44 |
| WT 5×50 | 5.55 | 10.3 | 0.68 | 1.12 | 50 |

Dimensiones y pesos nominales (kg/m)

| Diámetro nominal | Diámetro exterior | SCH-40 | | SCH-80 | | | |
|------------------|-------------------|--------|----|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | | pulg | mm | Espesor (mm) | Peso (kg/m) | Espesor (mm) | Peso (kg/m) |
| 1/4" | 13.70 | | | 2.24 | 0.63 | 3.02 | 0.80 |
| 3/8" | 17.10 | | | 2.31 | 0.84 | 3.20 | 1.10 |
| 1/2" | 21.30 | | | 2.77 | 1.27 | 3.73 | 1.62 |
| 3/4" | 26.70 | | | 2.87 | 1.69 | 3.91 | 2.20 |
| 1" | 33.40 | | | 3.38 | 2.50 | 4.55 | 3.24 |
| 1 1/4" | 42.20 | | | 3.56 | 3.39 | 4.85 | 4.47 |
| 1 1/2" | 48.30 | | | 3.68 | 4.05 | 5.08 | 5.41 |
| 2" | 60.30 | | | 3.91 | 5.44 | 5.54 | 7.48 |
| 2 1/2" | 73.00 | | | 5.16 | 8.63 | 7.01 | 11.41 |
| 3" | 88.90 | | | 5.49 | 11.29 | 7.62 | 15.27 |
| 3 1/2" | 101.60 | | | 5.74 | 13.57 | 8.08 | 18.63 |
| 4" | 114.30 | | | 6.02 | 16.08 | 8.56 | 22.32 |
| 5" | 141.30 | | | 6.55 | 21.77 | 9.53 | 30.97 |
| 6" | 168.30 | | | 7.11 | 28.26 | 10.97 | 42.56 |
| 8" | 219.10 | | | 8.18 | 42.55 | 12.70 | 64.64 |
| 10" | 273.00 | | | 9.27 | 60.29 | 15.09 | 95.98 |
| 12" | 323.80 | | | 10.31 | 79.71 | 17.48 | 132.05 |
| 14" | 355.60 | | | 11.13 | 94.55 | 19.05 | 158.11 |
| 16" | 406.40 | | | 12.70 | 123.31 | 19.05 | 181.98 |



Bridas 150 lb

Bridas (ANSI B16.5) de 150 libras desde 1/2" hasta 24"

Slip On

Lap Joint - Socket Welding - Blind - Welding Neck

Slip On

Tabla de bridas 150 lb - Slip On

| Ø Nom. | Slip On | | | | | | | | | |
|--------|---------|----------|--------------|------------|---------|--------|--------------|----------------|-------|------------|
| | O | B | tf | Y | R | X | W | Cant. Agujeros | H | Peso aprox |
| | Espesor | Interior | Espesor min. | Total min. | Resalte | Cubo | Entre centro | | Mecha | |
| pulg. | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | unidades | mm | kg |
| 1/2 | 88.90 | 22.20 | 11.10 | 15.90 | 35.00 | 30.20 | 60.30 | 4 | 16.00 | 0.50 |
| 3/4 | 98.40 | 28.00 | 12.70 | 15.90 | 43.00 | 38.10 | 69.80 | 4 | 16.00 | 0.70 |
| 1 | 108.00 | 34.50 | 14.30 | 17.50 | 50.80 | 49.20 | 79.40 | 4 | 16.00 | 0.90 |
| 1 1/4 | 118.00 | 43.20 | 15.90 | 20.60 | 63.50 | 58.80 | 88.90 | 4 | 16.00 | 1.20 |
| 1 1/2 | 127.00 | 49.50 | 17.50 | 22.20 | 73.00 | 65.10 | 98.40 | 4 | 16.00 | 1.40 |
| 2 | 152.40 | 62.00 | 19.00 | 25.40 | 92.10 | 77.80 | 120.60 | 4 | 19.00 | 2.30 |
| 2 1/2 | 178.00 | 75.00 | 22.20 | 28.60 | 104.80 | 90.50 | 139.70 | 4 | 19.00 | 3.60 |
| 3 | 190.00 | 91.00 | 23.80 | 30.20 | 127.00 | 107.90 | 152.40 | 4 | 19.00 | 4.00 |
| 3 1/2 | 216.00 | 103.00 | 23.80 | 31.70 | 139.70 | 122.20 | 177.80 | 8 | 19.00 | 5.10 |
| 4 | 229.00 | 116.00 | 23.80 | 33.30 | 157.20 | 135.00 | 190.50 | 8 | 19.00 | 5.90 |
| 5 | 254.00 | 144.00 | 23.80 | 36.50 | 185.70 | 163.50 | 215.90 | 8 | 22.00 | 6.80 |
| 6 | 280.00 | 171.00 | 25.40 | 39.70 | 215.90 | 192.10 | 241.30 | 8 | 22.00 | 8.10 |
| 8 | 343.00 | 221.00 | 28.60 | 44.40 | 269.90 | 246.10 | 298.40 | 8 | 22.00 | 12.80 |
| 10 | 406.00 | 276.00 | 30.20 | 49.20 | 323.80 | 304.80 | 361.90 | 12 | 25.40 | 18.00 |
| 12 | 483.00 | 327.00 | 31.70 | 55.60 | 381.00 | 365.00 | 431.80 | 12 | 25.40 | 28.00 |
| 14 | 533.00 | 359.00 | 34.90 | 57.10 | 412.70 | 400.00 | 476.20 | 12 | 28.60 | 37.00 |
| 16 | 597.00 | 410.00 | 36.50 | 63.50 | 470.00 | 457.00 | 539.70 | 16 | 28.60 | 48.00 |

| Ø Nom. | Slip On | | | | | | | | | |
|---------------|---------|----------|--------------|------------|---------|--------|--------------|----------------|--------|------------|
| | O | B | tf | Y | R | X | W | Cant. Agujeros | H | Peso aprox |
| | Espesor | Interior | Espesor min. | Total min. | Resalte | Cubo | Entre centro | | Mecha | |
| pulg. | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | unidades | mm | kg |
| 18 | 635.00 | 462.00 | 39.70 | 68.30 | 533.40 | 504.80 | 577.80 | 16 | 31.70 | 54.00 |
| 20 | 698.00 | 513.00 | 42.90 | 73.00 | 584.20 | 558.80 | 635.00 | 20 | 31.70 | 66.00 |
| 24 | 813.00 | 616.00 | 47.60 | 82.50 | 692.00 | 663.60 | 749.30 | 20 | 350.00 | 95.00 |
| Tolerancia +- | 1.60 | 1.60 | 32-0.00 | 2.40 | 0.80 | 1.60 | 1.60 | | | |

Anexo 8. Tabla de esfuerzos permisibles para acero A36(API estándar 650).

| Plate Specification | Grade | Nominal Plate Thickness t mm | Minimum Yield Strength MPa | Minimum Tensile Strength MPa | Product Design Stress S_d MPa | Hydrostatic Test Stress S_t MPa |
|----------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| ASTM Specifications | | | | | | |
| A283M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A285M | C | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A131M | A, B | | 235 | 400 | 157 | 171 |
| A36M | — | | 250 | 400 | 160 | 171 |
| A131M | EH 36 | | 360 | 490 ^a | 196 | 210 |
| A573M | 400 | | 220 | 400 | 147 | 165 |
| A573M | 450 | | 240 | 450 | 160 | 180 |
| A573M | 485 | | 290 | 485 ^a | 193 | 208 |
| A516M | 380 | | 205 | 380 | 137 | 154 |
| A516M | 415 | | 220 | 415 | 147 | 165 |
| A516M | 450 | | 240 | 450 | 160 | 180 |
| A516M | 485 | | 260 | 485 | 173 | 195 |
| A662M | B | | 275 | 450 | 180 | 193 |
| A662M | C | | 295 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A537M | 1 | $t \leq 65$ | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 310 | 450 ^b | 180 | 193 |
| A537M | 2 | $t \leq 65$ | 415 | 550 ^a | 220 | 236 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 380 | 515 ^b | 206 | 221 |
| A633M | C, D | $t \leq 65$ | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| | | $65 < t \leq 100$ | 315 | 450 ^b | 180 | 193 |
| A678M | A | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A678M | B | | 415 | 550 ^a | 220 | 236 |
| A737M | B | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A841M | Class 1 | | 345 | 485 ^a | 194 | 208 |
| A841M | Class 2 | | 415 | 550 ^a | 220 | 236 |

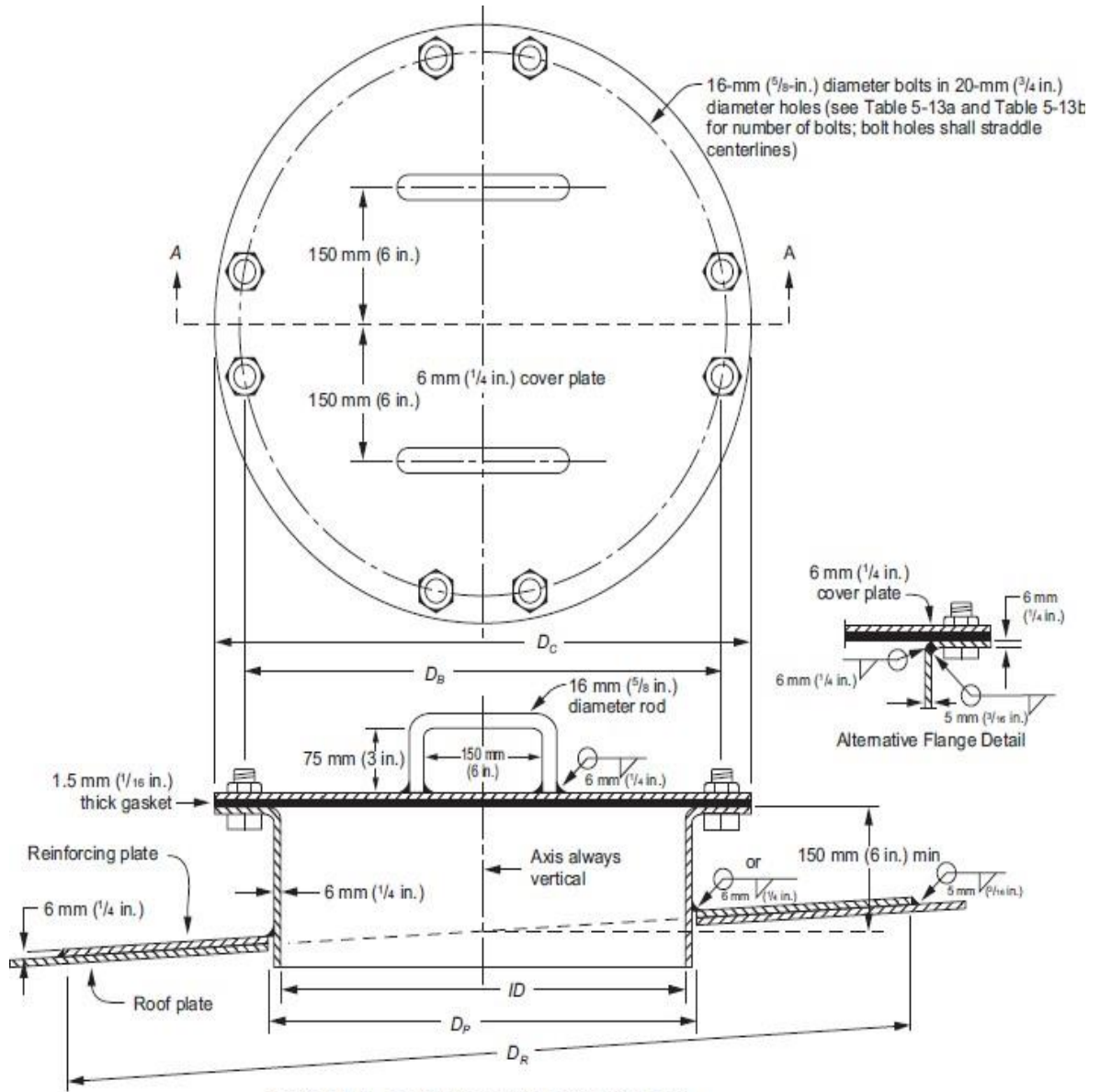
Anexo 9. Tabla de módulo de secciones para anillo rigidizador superior (API estándar 650).

Dimensions in millimeters

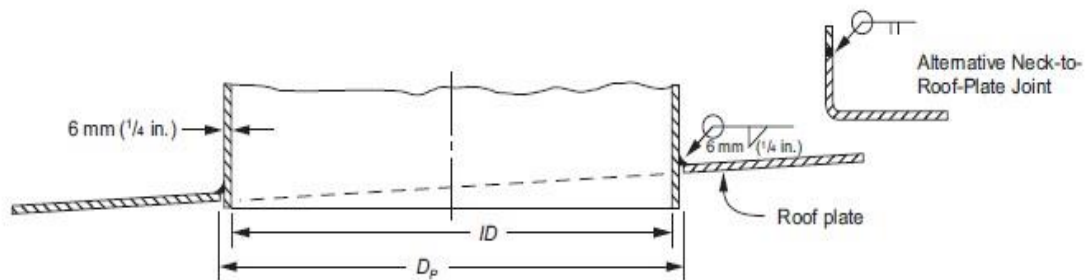
| Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 | Column 6 |
|---|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Member Size | As-Built Shell Thickness | | | | |
| | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 |
| Top Angle: Figure 5.24, Detail a | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 6.58 | 6.77 | — | — | — |
| 65 × 65 × 8 | 8.46 | 8.63 | — | — | — |
| 75 × 75 × 10 | 13.82 | 13.97 | — | — | — |
| Curb Angle: Figure 5.24, Detail b | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 27.03 | 28.16 | — | — | — |
| 65 × 65 × 8 | 33.05 | 34.67 | — | — | — |
| 75 × 75 × 6 | 35.98 | 37.49 | — | — | — |
| 75 × 75 × 10 | 47.24 | 53.84 | — | — | — |
| 100 × 100 × 7 | 63.80 | 74.68 | — | — | — |
| 100 × 100 × 10 | 71.09 | 87.69 | — | — | — |
| One Angle: Figure 5.24, Detail c (See Note) | | | | | |
| 65 × 65 × 6 | 28.09 | 29.15 | 30.73 | 32.04 | 32.69 |
| 65 × 65 × 8 | 34.63 | 36.20 | 38.51 | 40.32 | 41.17 |
| 100 × 75 × 7 | 60.59 | 63.21 | 66.88 | 69.48 | 70.59 |
| 102 × 75 × 8 | 66.97 | 70.08 | 74.49 | 77.60 | 78.90 |
| 125 × 75 × 8 | 89.41 | 93.71 | 99.86 | 104.08 | 105.78 |
| 125 × 75 × 10 | 105.20 | 110.77 | 118.97 | 124.68 | 126.97 |
| 150 × 75 × 10 | 134.14 | 141.38 | 152.24 | 159.79 | 162.78 |
| 150 × 100 × 10 | 155.91 | 171.17 | 184.11 | 193.08 | 196.62 |
| Two Angles: Figure 5.24, Detail d (See Note) | | | | | |
| 100 × 75 × 8 | 181.22 | 186.49 | 195.15 | 201.83 | 204.62 |
| 100 × 75 × 10 | 216.81 | 223.37 | 234.55 | 243.41 | 247.16 |
| 125 × 75 × 8 | 249.17 | 256.84 | 269.59 | 279.39 | 283.45 |
| 125 × 75 × 10 | 298.77 | 308.17 | 324.40 | 337.32 | 342.77 |
| 150 × 75 × 8 | 324.97 | 335.45 | 353.12 | 366.82 | 372.48 |
| 150 × 75 × 10 | 390.24 | 402.92 | 425.14 | 443.06 | 450.61 |
| 150 × 100 × 10 | 461.11 | 473.57 | 495.62 | 513.69 | 521.41 |
| Formed Plate: Figure 5.24, Detail e | | | | | |
| b = 250 | — | 341 | 375 | 392 | 399 |
| b = 300 | — | 427 | 473 | 496 | 505 |
| b = 350 | — | 519 | 577 | 606 | 618 |
| b = 400 | — | 615 | 687 | 723 | 737 |
| b = 450 | — | 717 | 802 | 846 | 864 |
| b = 500 | — | 824 | 923 | 976 | 996 |
| b = 550 | — | 937 | 1049 | 1111 | 1135 |
| b = 600 | — | 1054 | 1181 | 1252 | 1280 |
| b = 650 | — | 1176 | 1317 | 1399 | 1432 |
| b = 700 | — | 1304 | 1459 | 1551 | 1589 |
| b = 750 | — | 1436 | 1607 | 1709 | 1752 |
| b = 800 | — | 1573 | 1759 | 1873 | 1921 |
| b = 850 | — | 1716 | 1917 | 2043 | 2096 |
| b = 900 | — | 1864 | 2080 | 2218 | 2276 |
| b = 950 | — | 2016 | 2248 | 2398 | 2463 |
| b = 1000 | — | 2174 | 2421 | 2584 | 2654 |

NOTE The section moduli for Details c and d are based on the longer leg being located horizontally (perpendicular to the shell) when angles with uneven legs are used.

Anexo 10. Manhole del techo auto soportado (API estándar 650).



Section A-A—Roof Manhole With Reinforcing Plate



Base For Roof Manhole Without Reinforcing Plate

Anexo 11. Sección Sísmica (API estándar 650).

Annex E (normative)

Seismic Design of Storage Tanks

This annex provides a number of design options requiring decisions by the Purchaser; standard requirements; recommendations; and information that supplements the basic standard. This annex becomes a requirement only when the Purchaser specifies an option covered by this annex or specifies the entire annex.

Part I—Provisions

E.1 Scope

This Annex provides minimum requirements for the design of welded steel storage tanks that may be subject to seismic ground motion. These requirements represent accepted practice for application to welded steel flat-bottom tanks supported at grade.

The fundamental performance goal for seismic design in this Annex is the protection of life and prevention of catastrophic collapse of the tank. Application of this standard does not imply that damage to the tank and related components will not occur during seismic events.

This Annex is based on the allowable stress design (ASD) methods with the specific load combinations given herein. Application of load combinations from other design documents or codes is not recommended, and may require the design methods in this Annex be modified to produce practical, realistic solutions. The methods use an equivalent lateral force analysis that applies equivalent static lateral forces to a linear mathematical model of the tank based on a rigid wall, fixed based model.

The ground motion requirements in this Annex are derived from ASCE 7, which is based on a maximum considered earthquake ground motion defined as the motion due to an event with a 2 % probability of exceedance within a 50-year period (a recurrence interval of approximately 2500 years). Application of these provisions as written is deemed to meet the intent and requirements of ASCE 7. Accepted techniques for applying these provisions in regions or jurisdictions where the regulatory requirements differ from ASCE 7 are also included.

The pseudo-dynamic design procedures contained in this Annex are based on response spectra analysis methods and consider two response modes of the tank and its contents—impulsive and convective. Dynamic analysis is not required nor included within the scope of this Annex. The equivalent lateral seismic force and overturning moment applied to the shell as a result of the response of the masses to lateral ground motion are determined. Provisions are included to assure stability of the tank shell with respect to overturning and to resist buckling of the tank shell as a result of longitudinal compression.

The design procedures contained in this Annex are based on a 5 % damped response spectra for the impulsive mode and 0.5 % damped spectra for the convective mode supported at grade with adjustments for site-specific soil characteristics. Application to tanks supported on a framework elevated above grade is beyond the scope of this Annex. Seismic design of floating roofs is beyond the scope of this Annex.

Optional design procedures are included for the consideration of the increased damping and increase in natural period of vibration due to soil-structure interaction for mechanically-anchored tanks.

Tanks located in regions where S_1 is less than or equal to 0.04 and S_5 less than or equal to 0.15, or the peak ground acceleration for the ground motion defined by the regulatory requirements is less than or equal to 0.05g, need not be designed for seismic forces; however, in these regions, tanks in SUG III shall comply with the freeboard requirements of this Annex.

Anexo 12. Norma Técnica E.020, Cargas de diseño.

NORMA E.020

CARGAS

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

Artículo 1.- ALCANCE

Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su norma de diseño específica.

En ningún caso las cargas empleadas en el diseño serán menores que los valores mínimos establecidos en esta Norma.

Las cargas mínimas establecidas en esta Norma están dadas en condiciones de servicio.

Esta Norma se complementa con la NTE E.030 Diseño Sismorresistente y con las Normas propias de diseño de los diversos materiales estructurales.

Artículo 2.- DEFINICIONES

Carga: Fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos.

Carga Muerta.- Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que se propone sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo.

Carga Viva.- Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación.

CAPÍTULO 2 CARGA MUERTA

Artículo 3.- MATERIALES

Se considerará el peso real de los materiales que conforman y de los que deberán soportar la edificación calculados en base a los pesos unitarios que aparecen en el Anexo 1, pudiéndose usar pesos unitarios menores cuando se justifique debidamente.

El peso real se podrá determinar por medio de análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos de los fabricantes.

Artículo 4.- DISPOSITIVOS DE SERVICIO Y EQUIPOS

Se considerará el peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, inclusive las tuberías, ductos y equipos de calefacción y aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares. El peso de todo este material se incluirá en la carga muerta.

El peso de los equipos con el que se amueble una zona dada, será considerado como carga viva.

Anexo 13. Norma Técnica E.030, Mapa sísmico.



FIGURA N° 1

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N° 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

| Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z" | |
|------------------------------------|------|
| ZONA | Z |
| 4 | 0,45 |
| 3 | 0,35 |
| 2 | 0,25 |
| 1 | 0,10 |

Anexo 14. Norma Técnica E.090, Combinaciones de Cargas.

D : Carga muerta debida al peso propio de los elementos y los efectos permanentes sobre la estructura.

L : Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.

L_r : Carga viva en las azoteas.

W : Carga de viento.

S : Carga de nieve.

E : Carga de sismo de acuerdo a la Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

R : Carga por lluvia o granizo.

La resistencia requerida de la estructura y sus elementos debe ser determinada para la adecuada combinación crítica de cargas factorizadas. El efecto crítico puede ocurrir cuando una o más cargas no estén actuando. Para la aplicación del método LRFD, las siguientes combinaciones deben ser investigadas:

$1,4D$ [Cap. 1
, ,

$$1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (1.4 -2)$$

$$1,2D + 1,6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0,5L \text{ ó } 0,8W) \quad (1.4 -3)$$

$$1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (1.4 -4)$$

$$1,2D \pm 1,0E + 0,5L + 0,2S \quad (1.4 -5)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ ó } 1,0E) \quad (1.4 -6)$$

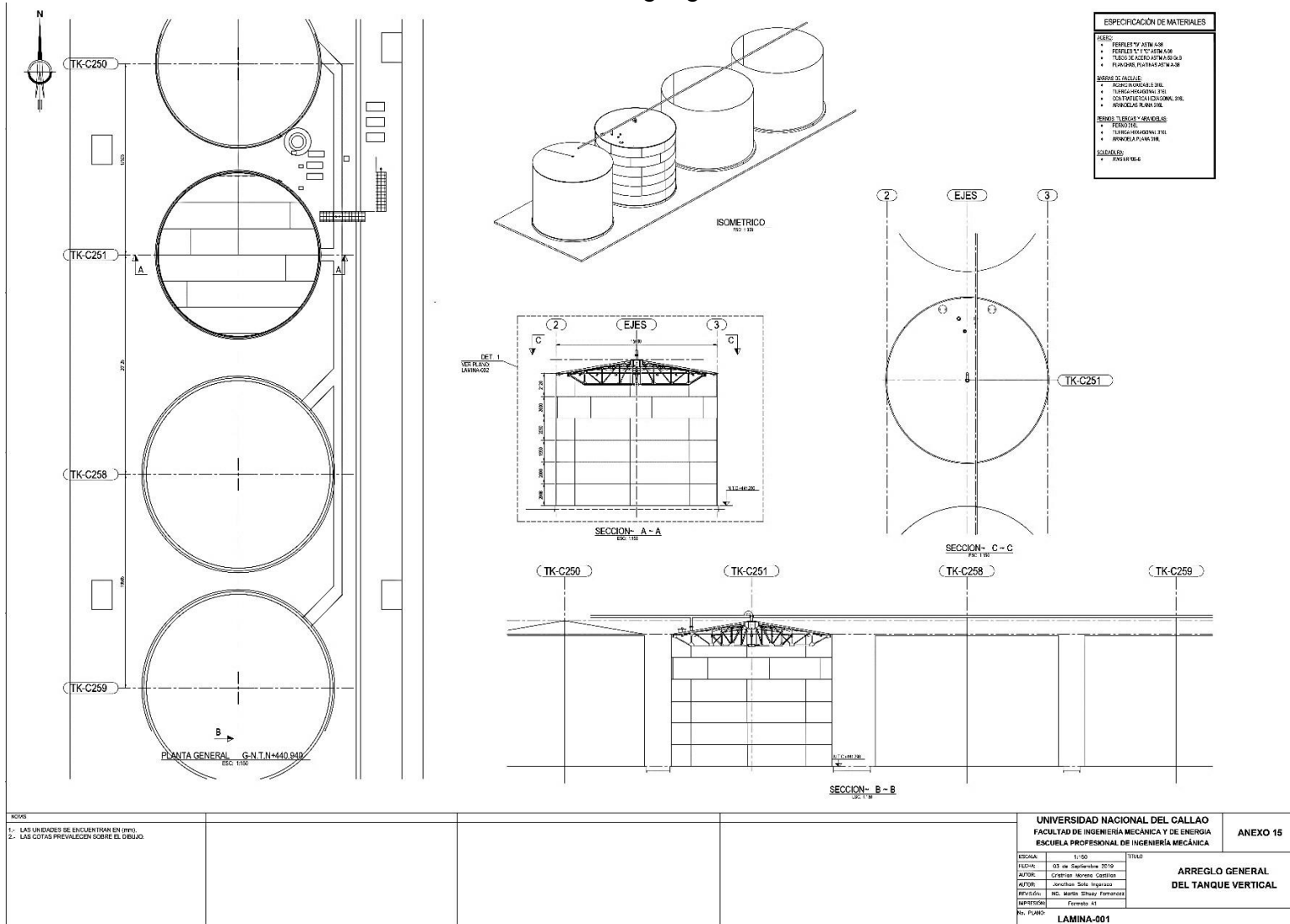
En las combinaciones 1.4-3, 1.4-4 y 1.4-5 el factor de cargas para L debe ser considerado como 1,0 en el caso de estacionamientos, auditorios y todo lugar donde la carga viva sea mayor a 4800 Pa.

Para la aplicación del método ASD las cargas se combinarán con factores iguales a 1,0, la sollicitación sísmica se debe considerar dividida entre 1,4 y no se considerará que el viento y sismo actúan simultáneamente.

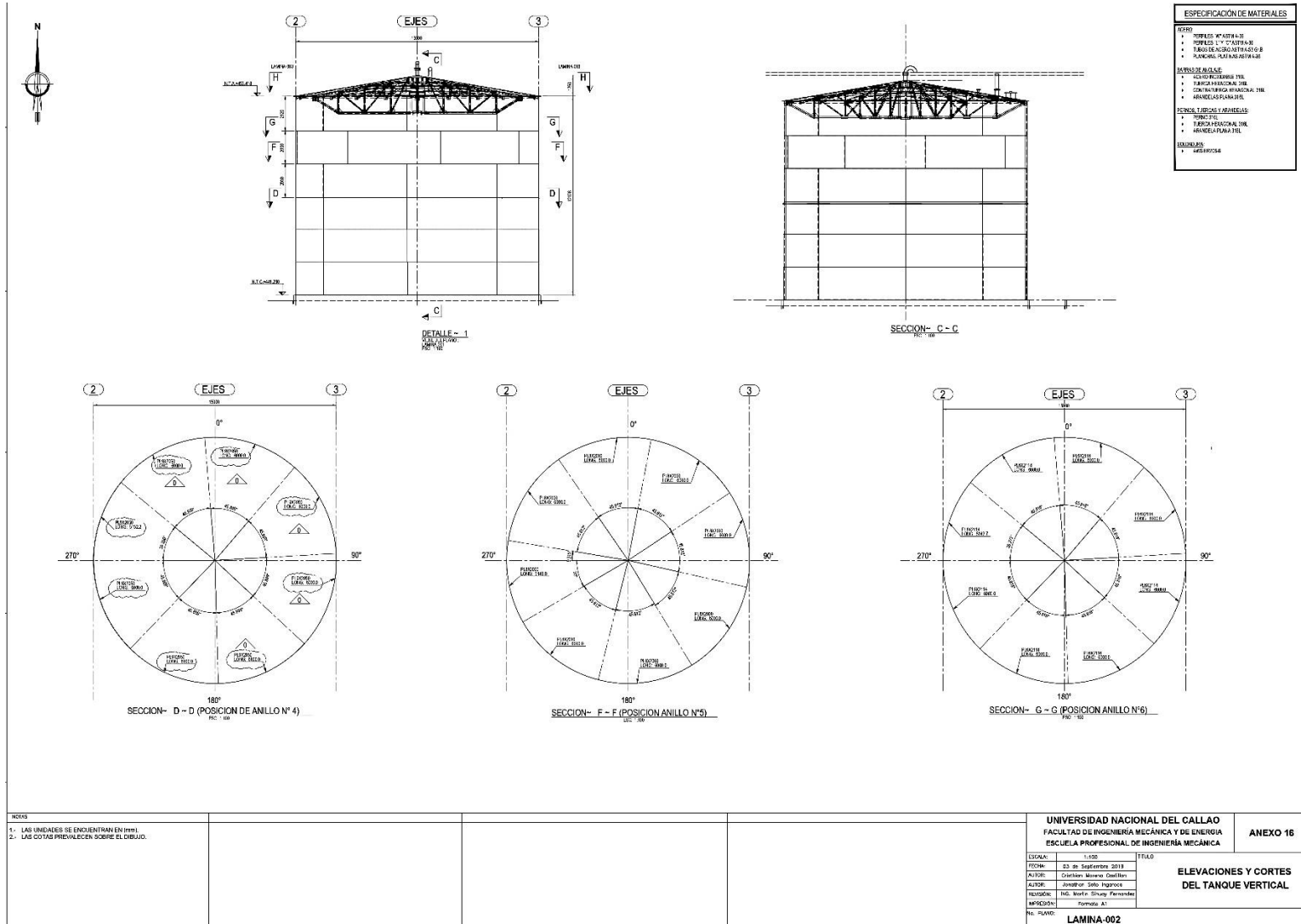
1.4.2 Impacto

En el caso de estructuras que soporten carga viva que produce impacto, deberá considerarse un incremento en la carga viva nominal debido a este efecto. En el caso del método LRFD, este incremento se aplica en las Combinaciones 1.4-2 y 1.4-3.

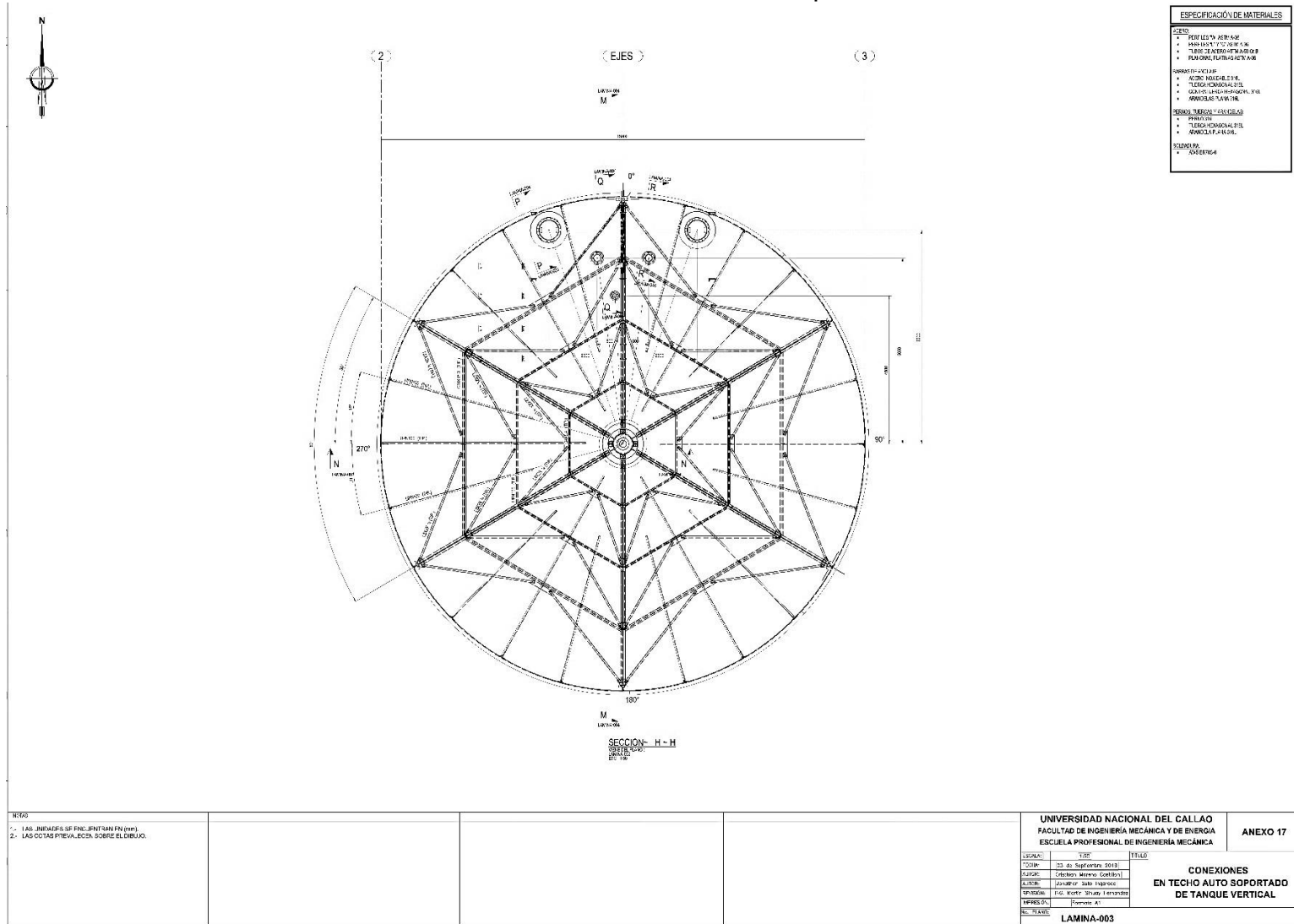
Anexo 15. Arreglo general.



Anexo 16. Elevaciones y cortes.



Anexo 17. Conexiones en techo auto soportado.



Anexo 19. Detalles de secciones en techo auto soportado.

ESPECIFICACION DE MATERIALES

BARRO:

- TUBERÍA AEREA
- TUBERÍA CONDENSADA
- PUNTO DE ENTRENAMIENTO
- SANGRIFIO AUTOMÁTICO

BARRO DE HERRAJE:

- CUBIERTA DE HERRAJE
- BARRA DE HERRAJE
- CANTONERA DE HERRAJE
- ANILLO DE HERRAJE

REJILLA DE HERRAJE:

- REJILLA DE HERRAJE
- REJILLA DE HERRAJE
- ANILLO DE HERRAJE

SOLUCIONES:

- HERRAJE

NOTAS:

- 1.- LAS UNIDADES SE ENCUENTRAN EN (mm).
- 2.- LAS COTAS SE EVALÚAN SOBRE EL DIBUJO.

| | |
|--|---|
| | <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> |
| | <p>ANEXO 19</p> |
| | <p>DETALLES DE SECCIONES EN TECHO AUTO SOPORTADO DE TANQUE VERTICAL</p> |
| | <p>ESCALA: 1:10 FECHA: 03 de Septiembre 2013 DISEÑO: Osmar Manuel Quilici REVISIÓN: Ing. Nery Silya Terzanos APROBACIÓN: FERRER A. N.º PLAN: LAMINA-005</p> |