

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de un aparejo estructural para la instalación de  
revestimientos de una chancadora giratoria de 60" X  
113" en la Unidad Minera Las Bambas**

Wilson Juan De Dios Quispe Yupanqui

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Roberto Belarmino Quispe Cabana

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que estuvieron a mi lado, acompañándome durante el tiempo que dedicaba a los estudios y sobre todo durante la elaboración del presente trabajo de investigación, ya que más allá de estar plasmado en letras, son el resultado de mucho esfuerzo, ganas de salir adelante y querer ser mejor profesional cada día. Entre ellos a mi esposa e hijo, así como a mis familiares, a quienes nunca dejaré de estar agradecido infinitamente.

También agradecer a la Universidad Continental, por el apoyo a las personas como yo, que pese a las dificultades de tiempo y distancia queremos crecer profesionalmente, brindándonos la oportunidad de poder interactuar con excelentes profesionales de la Ingeniería Mecánica quienes hacen su mejor esfuerzo para convertirnos en profesionales exitosos. Al docente, Ingeniero Roberto Quispe Cabana por impartirnos un conocimiento de calidad.

Finalmente, quiero dar las gracias a mis compañeros de clase en los distintos cursos que, a lo largo de los años, no solo compartimos aulas sino también conocimientos, experiencias y sus logros que me permitieron llegar a esta etapa de mi formación profesional.



## **DEDICATORIA**

El afecto y cariño que me das, hacen infinita mi felicidad, motivan mi esfuerzo y las ganas de afrontar dificultades para ofrecerte lo mejor. A tu tan corta edad, cada día me enseñas a ser mejor persona.

Te doy gracias por permitirme encontrar este lado hermoso, apacible en mi vida. Eres tú quien me motivo de sobremanera a finalizar este trabajo de investigación.

Gracias Trevor, mi hermoso bebé.

# ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| ASESOR.....   | ii   |
| AGRADECIMIENTOS.....                                | iii  |
| DEDICATORIA.....                                    | iv   |
| ÍNDICE .....  | v    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                             | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                              | xi   |
| RESUMEN.....  | xii  |
| ABSTRACT .....                                      | xiii |
| INTRODUCCIÓN.....                                   | xiv  |
| CAPÍTULO I.....                                     | 1    |
| 1.1. Planteamiento y formulación del problema ..... | 1    |
| 1.1.1. Planteamiento del problema .....             | 1    |
| 1.1.2. Formulación del problema .....               | 3    |
| 1.2. Objetivos .....                                | 4    |
| 1.2.1. Objetivo general .....                       | 4    |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                   | 4    |
| 1.3. Justificación e importancia.....               | 4    |
| 1.3.1. Justificación teórica .....                  | 4    |
| 1.3.2. Justificación práctica.....                  | 5    |
| 1.3.3. Justificación metodológica.....              | 5    |
| 1.3.4. Justificación ergonómica .....               | 5    |
| 1.3.5. Seguridad.....                               | 5    |
| 1.3.6. Productividad.....                           | 6    |
| CAPÍTULO II.....                                    | 7    |
| 2.1. Antecedentes del problema .....                | 7    |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....            | 7    |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| 2.1.2.            | Antecedentes nacionales.....   | 8  |
| 2.2.              | Bases teóricas .....   | 9  |
| 2.2.1.            | Aparejo estructural.....   | 9  |
| 2.2.2.            | Chancadora giratoria 60" x 113" .....  | 10 |
| 2.2.3.            | Revestimiento cóncavo de una chancadora .....                                  | 11 |
| 2.2.4.            | Tornillo de potencia de rosca cuadrada .....                                   | 12 |
| 2.2.5.            | Columnas sometidas a una carga centrada .....                                  | 17 |
| 2.2.6.            | Deformación debido a la flexión pura en elementos simétricos.....              | 22 |
| 2.2.7.            | Criterio de máxima tensión de Von Mises .....                                  | 25 |
| 2.2.8.            | Recomendaciones para el valor del factor de seguridad.....                     | 26 |
| 2.2.9.            | Software de diseño SolidWorks .....  | 26 |
| 2.3.              | Definición de términos básicos .....   | 27 |
| CAPÍTULO III..... |  | 29 |
| 3.1.              | Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....                    | 29 |
| 3.1.1.            | Tipo de investigación .....  | 29 |
| 3.1.2.            | Nivel de investigación .....   | 29 |
| 3.1.3.            | Metodología aplicada.....  | 29 |
| CAPÍTULO IV ..... |  | 35 |
| 4.1.              | Estado del arte .....  | 35 |
| 4.1.1.            | Cambio de revestimientos cóncavos uno a uno.....                               | 35 |
| 4.1.2.            | Cambio de revestimientos cóncavos con aparejo tipo torre .....                 | 36 |
| 4.1.3.            | Cambio de revestimientos cóncavos con plataforma aparejo tipo plataforma ..... | 37 |
| 4.2.              | Identificación de requerimientos .....   | 37 |
| 4.2.1.            | Lista de exigencias .....  | 37 |
| 4.2.2.            | Estructura de funciones.....   | 39 |
| 4.2.3.            | Secuencias de operaciones.....   | 41 |
| 4.2.4.            | Determinar y representar la estructura de funciones (caja blanca) .....        | 41 |

|                                 |  |    |
|---------------------------------|--|----|
| 4.3.                            | Análisis de la solución .....              | 42 |
| 4.3.1.                          | Matriz morfológica .....                   | 42 |
| 4.3.2.                          | Análisis de los conceptos de solución..... | 43 |
| 4.3.3.                          | Concepto de la solución óptima .....       | 46 |
| 4.4.                            | Diseño .....                               | 49 |
| 4.4.1.                          | Diseño del aparejo estructural .....       | 49 |
| CAPÍTULO V .....                |  | 79 |
| 5.1.                            | Construcción.....                          | 79 |
| 5.2.                            | Pruebas y resultados .....                 | 83 |
| 5.3.                            | Costos y presupuestos .....                | 89 |
| CONCLUSIONES .....              |  | 91 |
| TRABAJOS FUTUROS.....           |  | 92 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... |  | 93 |
| ANEXOS.....                     |  | 95 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 01. Aparejo para cambio de poleas.....   | 10 |
| Figura 02. Chancadora giratoria 60" x 113".....   | 11 |
| Figura 03. Fila de cóncavos para chancadora giratoria.....  | 11 |
| Figura 04. Prensa de banco.....   | 12 |
| Figura 05. Gato de tornillo.....  | 12 |
| Figura 06. Tornillo de potencia.....  | 13 |
| Figura 07. Diagrama de fuerzas.....   | 13 |
| Figura 08. Collarín o cojinete de empuje.....   | 15 |
| Figura 09. Geometría usada para el cálculo de esfuerzo flexionante y cortante transversal en la raíz de la rosca.....   | 16 |
| Figura 10. Valores de K según las condiciones de extremo de la columna, para el cálculo de $L_e = K L$ . La columna está sometida a una fuerza central P..... | 18 |
| Figura 11. Radio de giro de una sección transversal esbelta.....  | 19 |
| Figura 12. Curva de esfuerzo crítico para el acero estructural.....   | 22 |
| Figura 13. Elemento prismático sometido a flexión pura.....   | 22 |
| Figura 14. Esfuerzos normal y cortante.....   | 23 |
| Figura 15. Elemento sometido a flexión.....   | 24 |
| Figura 16. Elemento sometido a esfuerzos de corte.....  | 25 |
| Figura 17. Proceso de diseño con SolidWorks.....  | 27 |
| Figura 18. Proceso de simulación con SolidWorks.....  | 27 |
| Figura 19. Representación de la caja negra.....   | 33 |
| Figura 20. Instalación de cóncavos, uno a la vez.....   | 36 |
| Figura 21. Instalación de revestimientos cóncavos con un aparejo tipo torre.....  | 36 |
| Figura 22. Instalación de revestimientos cóncavos con un aparejo plataforma.....  | 37 |
| Figura 23. Representación de la caja negra.....   | 39 |
| Figura 24. Estructura de funciones.....   | 42 |
| Figura 25. Representación de la propuesta A.....  | 43 |
| Figura 26. Representación de la propuesta B.....  | 44 |
| Figura 27. Representación de la propuesta C.....  | 44 |
| Figura 28. Gráfico de decisión del diseño conceptual.....   | 46 |
| Figura 29. Concepto de solución óptima.....   | 47 |
| Figura 30. Concepto de solución óptima completa.....  | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 31. Corte de una chancadora primaria 60" x 113" en el cual se aprecia a los revestimientos cóncavos dispuestos en tres filas donde cada fila tiene 16 revestimientos cóncavos, haciendo un total de 48 unidades..... | 48 |
| Figura 32. Disposición de las plataformas dentro de la chancadora.....  | 48 |
| Figura 33. Diseño definitivo del bastidor que soporta la plataforma circular.....   | 49 |
| Figura 34. Dimensiones y propiedades de un perfil rectangular A36 de medidas 6" x 3" x 3/8".....  | 50 |
| Figura 35. Diseño del bastidor que considera un perfil rectangular A36 de medidas 6" x 3" x 3/8".....   | 51 |
| Figura 36. Componente vertical del bastidor sometido a una carga vertical de 4 t.....   | 51 |
| Figura 37. Componente vertical sometido a 40 kN con los extremos fijos.....   | 52 |
| Figura 38. Sección transversal del perfil rectangular 6" x 3" x 3/8".....   | 52 |
| Figura 39. Análisis del esfuerzo en el componente columna.....  | 55 |
| Figura 40. Análisis del desplazamiento en el componente columna.....  | 55 |
| Figura 41. Análisis del factor de seguridad en el componente columna.....   | 56 |
| Figura 42. Análisis del componente viga del bastidor.....   | 57 |
| Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del componente horizontal sometido a una carga distribuida de 18.35 kN/m.....   | 57 |
| Figura 44. Diagrama de cuerpo libre del componente horizontal sometido a una carga concentrada de 40 Kn.....  | 58 |
| Figura 45. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la fuerza distribuida sobre el componente viga.....   | 59 |
| Figura 46. Perfil rectangular para el cálculo del primer momento de área.....   | 60 |
| Figura 47. Simulación de esfuerzos sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de $W = 18.35 \text{ kN/m}$ .....  | 61 |
| Figura 48. Simulación de deformación sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de $W = 18.35 \text{ kN/m}$ .....  | 62 |
| Figura 49. Simulación de factor de seguridad sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de $W = 18.35 \text{ kN/m}$ .....  | 62 |
| Figura 50. Análisis del bastidor como sistema mediante el software SolidWorks.....  | 63 |
| Figura 51. Análisis de esfuerzos mediante el software SolidWorks.....   | 64 |
| Figura 52. Análisis de flexión mediante el software SolidWorks.....   | 64 |
| Figura 53. Análisis del factor de seguridad mediante el software SolidWorks.....  | 65 |
| Figura 54. Plataforma circular sobre el bastidor.....   | 66 |
| Figura 55. Vista de planta de la plataforma circular.....   | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 56. Análisis de esfuerzos en la plataforma circular .....                        | 67 |
| Figura 57. Análisis de la flexión en la plataforma circular .....                       | 68 |
| Figura 58. Análisis del factor de seguridad en la plataforma circular .....             | 68 |
| Figura 59. Soporte del revestimiento cóncavo .....                                      | 69 |
| Figura 60. Análisis de esfuerzos del soporte del revestimiento cóncavo .....            | 70 |
| Figura 61. Análisis de flexión del soporte del revestimiento cóncavo .....              | 70 |
| Figura 62. Análisis del factor de seguridad del soporte del revestimiento cóncavo ..... | 71 |
| Figura 63. Tornillo vertical para movimiento del revestimiento cóncavo .....            | 71 |
| Figura 64. Rosca cuadrada .....   | 72 |
| Figura 65. Collarín o cojinete de empuje .....  | 72 |
| Figura 66. Geometría de rosca cuadrada .....  | 74 |
| Figura 67. Tornillo vertical para movimiento del revestimiento cóncavo .....            | 76 |
| Figura 68. Simulación de fuerzas sobre el aparejo estructural .....                     | 76 |
| Figura 69. Análisis de esfuerzos del soporte del aparejo estructural .....              | 77 |
| Figura 70. Análisis de deformación del soporte del aparejo estructural .....            | 77 |
| Figura 71. Análisis del factor de seguridad del aparejo estructural .....               | 78 |
| Figura 72. Trazo y corte .....  | 81 |
| Figura 73. Armado de soporte y plataforma circular .....                                | 81 |
| Figura 74. Soldeo de estructuras .....  | 82 |
| Figura 75. Tornillo de hilo cuadrado .....  | 82 |
| Figura 76. Entrega de aparejo estructural .....   | 83 |
| Figura 77. Etapa de pre armado .....  | 84 |
| Figura 78. Etapa de armado .....  | 84 |
| Figura 79. Prueba de mecanismo de sujeción .....  | 85 |
| Figura 80. Revisión final del aparejo estructural .....                                 | 85 |
| Figura 81. Vista frontal del aparejo estructural .....                                  | 86 |
| Figura 82. Vista frontal de la base soporte .....                                       | 87 |
| Figura 83. Vista frontal de la plataforma circular .....                                | 87 |
| Figura 84. Vista lateral del mecanismo de sujeción .....                                | 88 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 01. Tiempo de actividades.....                           | 3  |
| Tabla 02. Relación o lista de exigencias.....                  | 31 |
| Tabla 03. Programación para el desarrollo del proyecto.....    | 32 |
| Tabla 04. Matriz morfológica.....                              | 33 |
| Tabla 05. Lista de exigencias.....                             | 38 |
| Tabla 06. Matriz morfológica de la solución.....               | 42 |
| Tabla 07. Análisis técnico de los conceptos de solución.....   | 45 |
| Tabla 08. Análisis económico de los conceptos de solución..... | 45 |
| Tabla 09. Análisis económico de los conceptos de solución..... | 80 |
| Tabla 10. Control de medidas de la base soporte.....           | 87 |
| Tabla 11. Control de medidas de la plataforma circular.....    | 88 |
| Tabla 12. Control de medidas del mecanismo de sujeción.....    | 89 |
| Tabla 13. Costo de materiales.....                             | 89 |
| Tabla 14. Costo total del proyecto.....                        | 90 |



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo principal el diseño de un aparejo estructural para la instalación de los revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" en la unidad minera Las Bambas. La instalación de revestimientos en una chancadora giratoria 60" x 113" requiere seguir un procedimiento que garantice la calidad de ésta. Dentro del procedimiento se tiene que contemplar el uso un aparejo estructural que asegure firmemente la sujeción de los revestimientos cóncavos y facilite el movimiento en las direcciones horizontal y vertical de cada una de dichos revestimientos, de tal manera que se logre una correcta instalación. El aparejo estructural diseñado tiene la capacidad para alojar 16 revestimientos considerando que cada una pesa aproximadamente una tonelada, ello requiere de una base soporte, una plataforma que facilite la interacción del aparejo estructural con las personas que ejecutan el trabajo, además de un mecanismo que sujete y mueva al revestimiento. La metodología que se aplica en el presente trabajo de investigación es la que recomienda por la norma VDI 2 221, la cual muestra pasos a seguir durante el diseño en ingeniería mecánica. Seguidamente, se hace un análisis y diseño de la solución donde después de seguir la metodología citada y del diseño preliminar obtenido, se continua con la etapa del diseño de los componentes que conforman el aparejo estructural. Finalmente se obtuvo como resultado una estructura que optimiza el pre armado de revestimientos, la instalación y sujeción de éstos, así como el montaje final.

**Palabras clave:** chancadora giratoria de 60" x 113", aparejo estructural, cóncavas, revestimientos, montaje.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research work is the design of a structural rig for the installation of the linings of a 60" x 113" gyratory crusher at the Las Bambas mining unit. Installing liners on a 60" x 113" gyratory crusher requires following a quality assurance procedure. Within the procedure, the use of a structural rig should be considered that firmly ensures the holding of the concave coatings and facilitates movement in the horizontal and vertical directions of each of said coatings, in such a way that correct installation is achieved. The structural rig designed has the capacity to house 16 coatings considering that each one weighs approximately one ton, this requires a support base, a platform that facilitates the interaction of the structural rig with the people who perform the work, as well as a mechanism that holds and move to cladding. The methodology applied in this research work is the one recommended by the VDI 2 221 standard, which shows steps to be followed during mechanical engineering design. Next, an analysis and design of the solution is made where after following the aforementioned methodology and the preliminary design obtained, the stage of the design of the components that make up the structural rig continues. Finally, a structure was obtained that optimizes the pre-assembly of cladding, their installation and fastening, as well as the final assembly.

**Keywords:** 60" x 113" gyratory crusher, structural rigging, concaves, liners, mounting.

# INTRODUCCIÓN

Desde sus primeros pobladores, el Perú es un país minero por excelencia. Hoy en día nos ubicamos entre los primeros productores de diversos metales y principalmente en el cobre y molibdeno (1). Ello implica que no solo destacamos por ser buenos productores, sino también por ser excelentes técnicos mantenedores de la maquinaria inmersa en el proceso.

Ser capaces de procesar un promedio de 140 000 toneladas de mineral por día en el circuito de chancado primario de una planta concentradora, implica una gran demanda de personal calificado que atienda a la maquinaria inmersa (2), ofreciendo así niveles de disponibilidades de clase mundial. Niveles que exigen a los profesionales, a innovar con ideas ingeniosas para reducir al mínimo los tiempos de parada de los equipos, pero sobre todo realizar trabajos de calidad.

Ofrecer una disponibilidad del 100 % es una tarea imposible pues para que el activo continúe con sus funciones operacionales es necesario brindarle un mantenimiento que involucre principalmente: el cambio de piezas de desgaste, lubricación, limpieza, etc. Todo ello conduce a laborar para asegurar la realización de trabajos de calidad que impliquen constancia en el proceso.

Para lograr trabajos de calidad es necesario contemplar mecanismos que faciliten lograrlo, es ahí donde el diseño de un aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria 60" x 113" cobra relevante importancia pues asegura que los revestimientos sean instalados de forma correcta.

Para comprender a detalle, el trabajo de investigación consta de cuatro capítulos, los cuales se mencionan a continuación.

El primer Capítulo: Planteamiento del estudio, expone al planteamiento del problema, donde se explica, resumidamente, el proceso de chancado primario de la planta concentradora de la unidad minera Las Bambas y como se plantea la oportunidad de mejora a través del diseño de un aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113". Además, se mencionan los problemas generales y específicos, así como el objetivo general y específicos. Finalmente se menciona la justificación e importancia de la investigación.

El segundo Capítulo: Marco teórico, expone los antecedentes que tuvo el trabajo de investigación, haciendo referencia a trabajos afines principalmente en la industria minera. También se mencionan las bases teóricas, que sirvieron para el diseño ingenieril. Finalmente se hace la definición de los términos básicos, necesarios para entender su significado al mencionarse durante el desarrollo del trabajo de investigación.

El tercer Capítulo: Metodología, muestra detalladamente las recomendaciones y conceptos de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI por sus siglas en alemán) para diseñar un mecanismo que satisfaga la lista de exigencias.

El cuarto Capítulo: Análisis y diseño de la solución, se detallan recomendaciones y conceptos de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI) para establecer varios diseños que cumplan con las exigencias del problema planteado. Entre todos los diseños, se eligió al que optimice el proceso de instalación de revestimientos a una chancadora giratoria 60" x 113".

Las actividades de mantenimiento en la industria minera a gran escala, obliga la manipulación de componentes de gran peso y grandes dimensiones, es por ello que trabajar en diseñar mecanismos que hagan que esta actividad sea realizada con seguridad, cobra una gran relevancia.

El presente trabajo de investigación se limita en la elaboración del diseño de la estructura mecánica, además de la simulación en software de diseño mecánico para comprobar o validar el análisis realizado previamente y la elaboración de planos mecánicos para la fabricación de la estructura.

El autor.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

Al elaborar las estrategias de mantenimiento que regirán tras la culminación de la construcción y puesta en marcha inicial de una planta concentradora de cobre, se hace necesario establecer las mejores prácticas y experiencias de las personas que lo llevarán a cabo.

La planta concentradora de minera Las Bambas produce 450 000 toneladas de concentrado de cobre fino al año y para ello el circuito de chancado primario procesa 140 000 toneladas por día de mineral proveniente de mina, con un tamaño de 6.5" como producto final. Seguidamente, este mineral será alimentado al proceso de molienda semiautógena (molienda SAG). Para lograr ello, el área de mantenimiento asume el compromiso de asegurar una disponibilidad del 90 % de los equipos involucrados en el circuito de chancado primario, valor que subirá a medida que se establezca la operación (3).

De lo mencionado, se concluye que el circuito de chancado primario y en específico, la chancadora giratoria de 60" x 113", adquiere un rol importante ya que este es uno de los equipos principales (4).

En la última etapa de la construcción de la planta concentradora existe una interacción entre el personal de construcción, personal de operaciones y personal de mantenimiento, ello para la realización del comisionamiento previo a la entrega de la planta. En dicha etapa y en específico en el circuito de chancado primario se observa en la instalación de los revestimientos de la chancadora giratoria 60" x 113" por primera vez, el uso de unos aparejos que vienen junto a la chancadora giratoria 60" x 113" y son entregadas por FLSmidth, quien es el fabricante del equipo. El uso de estos aparejos demanda esfuerzos para poder ser insertado dentro de la chancadora, asimismo un tiempo de espera de 6 horas después de haber instalado una de las filas de revestimientos pues el material epóxico que se añade tiene que curar, para continuar con la siguiente fila de revestimientos, haciendo un total de 40.5 horas invertidas solo en la instalación de las tres filas de revestimientos.

El cambio de revestimientos (usualmente llamados cóncavos) de la chancadora giratoria 60" x 113" demandan dos paradas programadas para mantenimiento preventivo al año, del circuito de chancado primario. Paradas de aproximadamente 72 horas en plantas similares al de la unidad minera Las Bambas, lo que hace inviable realizar el uso de los aparejos proporcionados por el fabricante de la chancadora FLSmidth (4).

En la tabla 01 se muestran los tiempos empleados en cada actividad que conforman la instalación de revestimientos de la chancadora giratoria 60" x 113" según el procedimiento actual, el cual implica 28 personas distribuidas en dos turnos las 24 horas del día, con una duración de 40.5 horas. Cabe resaltar que la instalación de revestimientos representa el 56 % de todo el trabajo que involucra el cambio de revestimientos de la chancadora giratoria 60" x 113".

Tabla 01. *Tiempo de actividades.*

| Ítem | Instalación de revestimientos cóncavos de chancadora primaria              | Tiempo (hora) |
|------|--|---------------|
| 1    | Limpieza y aplicación de aceite en zona inferior de carcasa de chancadora. | 0.5           |
| 2    | Instalación de cóncavos de primera fila.                                   | 4             |

|              |  |      |
|--------------|--|------|
| 3            | Sellado y aplicación de cemento epóxico de respaldo.                         | 2    |
| 4            | Curado de cemento epóxico.   | 6    |
| 5            | Limpieza y aplicación de aceite en zona intermedia de carcasa de chancadora. | 0.5  |
| 6            | Instalación de cóncavos de segunda fila.                                     | 4.5  |
| 7            | Sellado y aplicación de cemento epóxico de respaldo.                         | 2    |
| 8            | Curado de cemento epóxico.   | 6    |
| 9            | Limpieza y aplicación de aceite en zona superior de carcasa de chancadora.   | 0.5  |
| 10           | Instalación de cóncavos de tercera fila.                                     | 4.5  |
| 11           | Sellado y aplicación de cemento epóxico de respaldo.                         | 2    |
| 12           | Curado de cemento epóxico.   | 6    |
| 13           | Instalación de revestimientos de carcasa superior (top shell liner).         | 2    |
| Tiempo total |  | 40.5 |

Fuente: elaboración propia.

En sentido a lo expuesto en la tabla anterior, el diseño del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" en la unidad minera Las Bambas no va a requerir emplear el tiempo que se necesita para el curado del cemento epóxico que se aplica después al término de instalación de cada fila de cóncavos, con ello se optimiza los tiempos empleados en el mantenimiento, además se asegura la calidad del trabajo y la integridad del personal que ejecuta la actividad a través del nuevo diseño del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113".

#### 1.1.2. Formulación del problema

##### A) Problema general

¿Cómo diseñar un aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" en minera Las Bambas?

##### B) Problemas específicos:

- ¿Cómo diseñar la base soporte del aparejo estructural?
- ¿Cómo diseñar la plataforma circular que ira sobre la base soporte del aparejo estructural?
- ¿Cómo diseñar el mecanismo de sujeción del cóncavo que estará sobre la plataforma circular?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Diseñar un aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" en minera Las Bambas.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar la base soporte del aparejo estructural.
- Diseñar la plataforma circular que ira sobre la base soporte del aparejo estructural.
- Diseñar el mecanismo de sujeción del revestimiento cóncavo que estará sobre la plataforma circular.

## 1.3. Justificación e importancia

### 1.3.1. Justificación teórica

El presente trabajo de investigación utiliza como herramienta principal la teoría de mecánica de materiales para el diseño. Con ello se busca mostrar la aplicación de estos conceptos en la solución a problemas reales. Para ello, se realiza el planteamiento gráfico y se detallan los cálculos realizados; además los resultados se comparan con los obtenidos usando software de diseño mecánico.



### 1.3.2. Justificación práctica

En el presente trabajo de investigación se va a diseñar un mecanismo soporte con capacidad de mover un revestimiento cóncavo de 1 tonelada en dos ejes para una correcta instalación, una plataforma circular que alojará 16 mecanismos soportes y que facilita el tránsito de personas sobre dicha plataforma una vez que esta esté dentro de la chancadora giratoria 60" x 113", además de una base soporte con capacidad de 16 toneladas que soportará a los 16 mecanismos soportes y a la plataforma circular. Estos tres componentes forman parte del aparejo estructural que manipulara 16 cóncavos a la vez. Con ello se pretende disminuir a 36 horas de duración del trabajo, ganando así 36 horas de producción.

### 1.3.3. Justificación metodológica

El presente trabajo de investigación muestra el uso de las normas y recomendaciones que la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI por sus siglas en alemán) plasma en el documento que tiene por título: Metodología de diseño en Ingeniería, el cual sugiere un procedimiento sistemático en el que inicialmente se analiza el problema con la finalidad de entenderlo para luego descomponerlo en problemas secundarios, de tal manera que se encuentren soluciones secundarias que al combinarlas brinden una solución general.

### 1.3.4. Justificación ergonómica

La correcta iteración entre los revestimientos de la chancadora giratoria 60" x 113" y el aparejo diseñado, asegura que el trabajador no adopte posturas inadecuadas al ejecutar la tarea, mejorando con ello la salud laboral.

### 1.3.5. Seguridad

El negocio minero se rige por la actual legislación peruana la que involucra el cumplimiento de estándares de seguridad, que contemplan visitas inopinadas permanentes de distintos organismos estatales. El diseño del aparejo conlleva a que el trabajador no exponga las manos a puntos de atrapamiento, no estar expuesto a cargas suspendidas y sin necesidad de realizar sobreesfuerzos.

#### 1.3.6. Productividad

El diseño del aparejo para la instalación de revestimientos en una chancadora giratoria 60" x 113" optimizará su tiempo de empleo, reduciéndolo al 50 %, ganando con ello 36 horas de producción. Así también, se garantiza la confiabilidad del trabajo. Aquello se verá reflejado en el cumplimiento de la disponibilidad que se asumió como compromiso.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes del problema

En la bibliografía se encuentran múltiples trabajos donde se trata el diseño de diversos aparejos o herramientas que tienen la finalidad de optimizar o reducir los tiempos que se emplean en el mantenimiento de diversas maquinarias utilizadas en la producción de la industria minera, entre ellos destacan los de diferentes tipos de chancadoras, pero por diversos motivos, éstos no son publicados. A continuación, se mencionan algunos que guardan similitud con el presente trabajo de tesis.

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación titulada: “Reducción de tiempo de cambio de cóncavas de chancador giratorio”, se tuvo como objetivo mostrar el diseño de un aparejo para la instalación de cóncavas, aparejo que contempla soportes fijos para cada una de estas. Mediante la metodología planteada por M. J. French (1971) a través de cuatro etapas que son análisis del problema, diseño conceptual, diseño de materialización y diseño de detalle, se obtuvo como resultado un aparejo que a través de su uso se logra la reducción del tiempo empleado a 32 horas para el cambio de cóncavos, ganando con ello producción. Se concluye que, si bien se logró optimizar el tiempo empleado, aun se tiene que evaluar el diseño pues durante su uso se tuvieron algunas complicaciones (5).

En el trabajo titulado: “Montaje de cóncavas de la fila inferior”, tuvo por objetivo reducir el tiempo de mantenimiento de la chancadora primaria en 50 % proponiendo un procedimiento innovador para cambiar solamente las cóncavas de la fila inferior involucrando un aparejo circular con cadenas. Se obtiene como resultado la ganancia de 10 horas de producción, la reducción del 25 % de mano de obra y un 80 % menos de cemento epóxico empleado. Se concluye que, al optimizar los procedimientos con ideas innovadoras, se logran menores costos y mayor producción (3).

En el trabajo de investigación titulado: “Realizar un plan de mantención preventiva del chancador primario Fuller en división CODELCO Andina”, se tuvo por objetivo elaborar un plan de mantenimiento preventivo enfocado a la chancadora primaria 54” x 74” TC de la división Andina de CODELCO en Chile. Se siguió la metodología del análisis de Pareto para determinar el componente crítico de la chancadora primaria para establecer el modelo de falla crítica mediante la distribución estadística de Weibull para las fallas. Se obtuvo como resultado un plan de mantenimiento que optimiza los recursos asignados a la chancadora para su mantenimiento. Se concluye que, al establecer el plan de mantenimiento de la chancadora, se alcanza disminuir considerablemente los mantenimientos correctivos y pérdidas de producción (6).

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación titulado: “Diseño de un aparejo para revestir una chancadora giratoria de 60” x 113” para reducir el tiempo de mantenimiento en minera Cerro Verde”, se tuvo por objetivo reducir el tiempo que demanda la ejecución del trabajo. El diseño del aparejo sigue la metodología recomendada por la Asociación de Alemana de Ingenieros (VDI por sus siglas en alemán). Se obtuvo como resultado la reducción del 50 % del tiempo de ejecución. Como conclusión principal se menciona que, al usar el aparejo diseñado, se cumple con la reducción del tiempo de ejecución y también se salvaguarda la integridad del trabajador involucrado en el trabajo (7).

En el trabajo de investigación titulado: “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60” x 113” de minera Chinalco”, tuvo por objetivo implementar un plan o estrategia de mantenimiento enfocado en asegurar la confiabilidad de la chancadora 60” x 113”. La metodología aplicada fue el Análisis - Síntesis. Se obtuvo como resultado un plan de mantenimiento que aumenta la disponibilidad de la chancadora 60” x 113”. Como conclusión principal se menciona que implementando el mantenimiento centrado en confiabilidad a la chancadora 60” x 113” se logró una mejora de 3.17 % en la disponibilidad (8).

En el trabajo de investigación titulado: “Montaje de una chancadora primaria FLSmith Fuller Traylor Crusher 60” x 113” para la mina Toquepala”, tuvo por objetivo implementar un programa de montaje para una chancadora primaria siguiendo los lineamientos del PMBOK. Como metodología se siguió la guía de fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK (Guide to the Project Management Body of Knowledge por sus siglas en inglés) donde se establece la duración de actividades de montaje, entre ellas la instalación de revestimientos de la chancadora primaria. Se obtuvo como resultado el término del montaje de la chancadora en el tiempo óptimo y con la utilización eficiente de recursos. Como conclusión se menciona que el plan de gestión del proyecto alineado a la guía de PMBOK permitirá tener claro las líneas base de los alcances, el tiempo, el costo y calidad, así como el control del proyecto (9).

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aparejo estructural

Conjunto de elementos metálicos de diversas formas, unidos de tal manera que en su conjunto forman un mecanismo que cumpla alguna función definida como mover o sostener objetos que podrían ser muy grandes o pesados, facilitando con ello su interacción con el hombre (2).

En la figura 01 se muestra el uso de un aparejo estructural en forma de C, diseñada para realizar el cambio de una polea de cabeza de una faja transportadora.



*Figura 01.* Aparejo para cambio de poleas.

Fuente: propia.

### 2.2.2. Chancadora giratoria 60" x 113"

Es una máquina mecánica eléctrica tal como se muestra en la figura 02 y es empleada para reducir el tamaño del mineral extraído de la mina a través del giro excéntrico del eje principal, el cual tritura el mineral contra los cóncavos. Es utilizada para el procesamiento de mineral en la minería a gran escala (120 000 toneladas por día). Según su designación, 60" hace referencia al tamaño de la abertura por donde ingresa el material a ser triturado y 113" hace referencia al diámetro del eje principal cónico. Está provista de un motor eléctrico de 1000 hp (8).



*Figura 02.* Chancadora giratoria 60" x 113".

Fuente: FLSmidth & Co.

### 2.2.3. Revestimiento cóncavo de una chancadora

El revestimiento cóncavo es un elemento metálico cuya aleación tiene contenido de manganeso por lo general, aunque también podría ser de cromo y molibdeno en algunos casos. Es de forma cóncava pues al ser ensamblada junto con el resto de los cóncavos dentro de la chancadora forman un anillo como se muestra en la figura 03. El peso aproximado de cada cóncavo es de 700 kg. La chancadora giratoria cuenta con tres anillos y cada anillo está formado por 16 cóncavos (2).



*Figura 03.* Fila de cóncavos para chancadora giratoria.

Fuente: Fundición FERROSA.

#### 2.2.4. Tornillo de potencia de rosca cuadrada

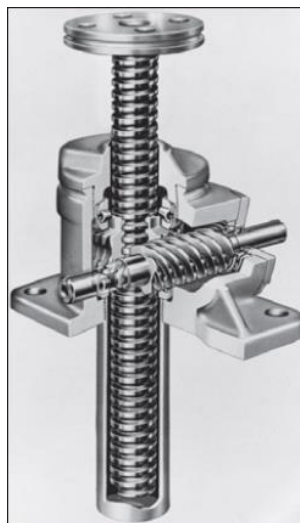
Es un dispositivo que sirve para cambiar el movimiento angular a un movimiento lineal, transmitiendo a la vez potencia. En la figura 04 se muestra una aplicación en el tornillo para prensa de banco. También se aplica en la fabricación de gatos mecánicos.



*Figura 04.* Prensa de banco.

Fuente: propia.

En la figura 05 se muestra una aplicación de este elemento de máquina, específicamente en un gato que es accionado de forma manual (10).



*Figura 05.* Gato de tornillo.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).



En la figura 06 se muestra un tornillo de potencia, éste tiene rosca cuadrada y simple, tiene un diámetro medio  $d_m$ , paso  $p$ , ángulo de avance  $\lambda$  y con ángulo de hélice  $\psi$ , el cual está siendo sometido a una fuerza de compresión axial  $F$ . Se analiza una rosca del tornillo, para ello se desarrolla una vuelta (10).

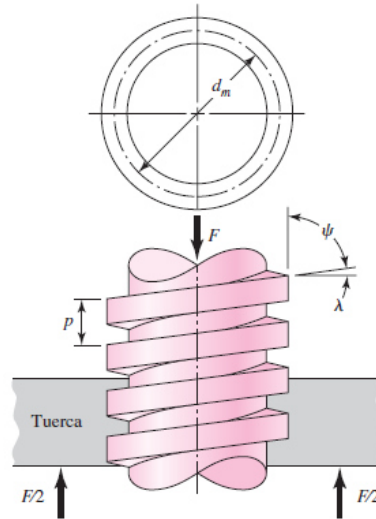


Figura 06. Tornillo de potencia.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

Teniendo una rosca del tornillo mostrado en la figura 06, se realiza el desarrollo de una vuelta, donde se observa que la rosca forma la hipotenusa de un triángulo recto tal como se muestra en la figura 07, donde la base está constituida por la longitud de circunferencia del círculo de diámetro medio de dicha rosca y la altura la forma el avance (10).

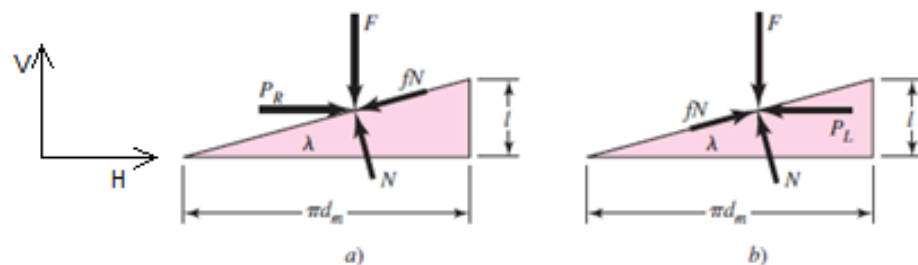


Figura 07. Diagrama de fuerzas\*.

\*Nota: a) subiendo la carga; b) bajando la carga.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

Se complementa lo mostrado en la figura 07, con la siguiente significancia:

- $P_R$ : fuerza necesaria para elevar una carga.
- $P_L$ : fuerza necesaria para bajar una carga.
- $f$ : fuerza de fricción.
- $N$ : fuerza normal.

Además, en la figura anterior se observa un sistema en equilibrio bajo la acción de las fuerzas que ahí se representan.

Se realiza el análisis para elevar la carga, tanto en el eje horizontal como en el eje vertical.

$$\sum F_H = P_R - N * \text{sen}\lambda - f * N * \text{cos}\lambda = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum F_V = F + f * N * \text{sen}\lambda - N * \text{cos}\lambda = 0 \quad (2.2)$$

De igual manera se realiza un análisis similar para bajar la carga.

$$\sum F_H = -P_L - N * \text{sen}\lambda + f * N * \text{cos}\lambda = 0 \quad (2.3)$$

$$\sum F_V = F - f * N * \text{sen}\lambda - N * \text{cos}\lambda = 0 \quad (2.4)$$

De las ecuaciones (2.1) y (2.2) despejamos  $P_R$  eliminando la fuerza normal  $N$ :

$$P_R = \frac{F * (\text{sen}\lambda + f \text{cos}\lambda)}{\text{cos}\lambda - f * \text{sen}\lambda} \quad (2.5)$$

De la misma forma, de las ecuaciones (2.3) y (2.4) despejamos  $P_L$ :

$$P_L = \frac{F * (f * \text{cos}\lambda - \text{sen}\lambda)}{\text{cos}\lambda + f * \text{sen}\lambda} \quad (2.6)$$

Para conseguir ecuaciones que dependan de los parámetros mostrados en la figura anterior y teniendo en cuenta que el ángulo de avance  $\lambda$  es pequeño, empleamos la relación  $\tan\lambda = \lambda = l/\pi d_m$  así mismo dividiendo tanto el numerador como el denominador entre  $\text{cos}\lambda$ , en las ecuaciones (2.5) y (2.6).

$$P_R = \frac{F[(l/\pi d_m) + f]}{1 - (f l/\pi d_m)} \quad (2.7)$$

$$P_L = \frac{F[f - (l/\pi d_m)]}{1 + (f l/\pi d_m)} \quad (2.8)$$

Para determinar el par de torsión se hace el producto de la fuerza  $P_R$  o  $P_L$  y el radio medio  $r_m = d_m/2$ .

Entonces para elevar la carga se tiene:

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (2.9)$$

Teniendo en consideración que  $T_R$  representa la torsión para los propósitos de superar la fricción existente en la rosca y para elevar la carga.

Por otro lado, para bajar la carga:

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (2.10)$$

Teniendo en consideración que  $T_L$  es requerido para superar una parte de fricción al descender la carga.

Para evaluar la eficiencia  $e$  de los tornillos de potencia de rosca cuadrada al elevar la carga, se hace uso de la siguiente ecuación (considerando  $f = 0$ , se obtiene  $T_0 = \frac{Fl}{2\pi}$ ):

$$e = \frac{T_0}{T_R} \quad (2.11)$$

Para soportar el efecto de la componente de  $P_R$  o  $P_L$  en dirección del eje del tornillo se usa un collarín o cojinete de empuje entre el elemento rotatorio y estacionario (por lo general tornillo y tuerca), tal como se muestra en la figura 08.

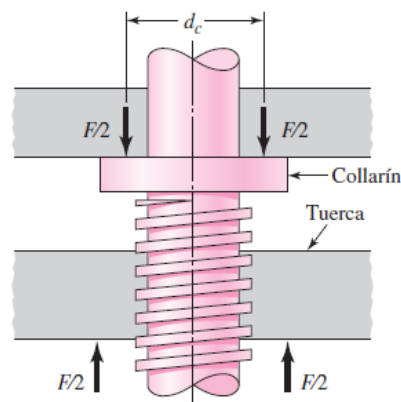


Figura 08. Collarín o cojinete de empuje.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

Considerando  $f_c$  como el coeficiente de fricción del collarín o cojinete de empuje, se requiere el siguiente par de torsión  $T_c$ :

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} \quad (2.12)$$

Las ecuaciones mostradas anteriormente se desarrollan para roscas cuadradas, donde se observa que la fuerza normal es paralela al eje axial del tornillo. Las roscas cuadradas serán consideradas en el presente trabajo de investigación.

Los esfuerzos presentes en un tornillo de potencia se determinan con ecuaciones que relacionan los parámetros mostrados en las imágenes anteriores, así como la que se muestra en la figura 09.

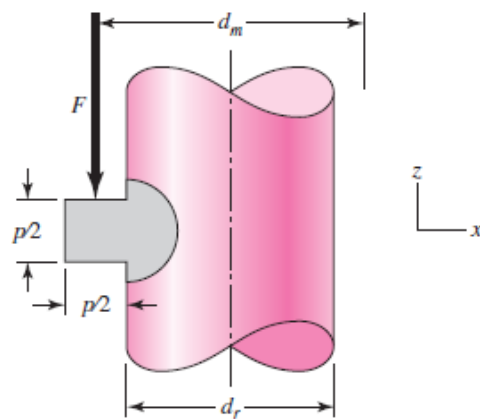


Figura 09. Geometría usada para el cálculo de esfuerzo flexionante y cortante transversal en la raíz de la rosca.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

Para el cuerpo del tornillo, el esfuerzo cortante  $\tau$  se expresa de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} \quad (2.13)$$

Para el cuerpo del tornillo, el esfuerzo axial  $\sigma$  que le ejerce la fuerza  $F$  es:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_r^2} \quad (2.14)$$

En un tornillo de potencia, la carga no puede ser compartida de forma homogénea. Experimentalmente se muestra que la primera rosca en contacto soporta 0.38 de la carga, la segunda rosca soporta 0.25 de la carga, la tercera rosca soporta 0.18 de la carga y la séptima rosca está libre de carga (10).

#### 2.2.5. Columnas sometidas a una carga centrada

En este punto se enfoca al estudio y diseño de elementos de forma prismáticos dispuestas en forma vertical, además están sometidas a cargas axiales que la comprimen (11).

Las columnas han sido definidas como un miembro relativamente largo y que están cargados con fuerza de compresión. Se define el término llamado Relación de Esbeltez de una columna que relaciona la sección transversal, dimensiones de la columna y las formas a las que están sujetos los extremos de la columna.

$$SR = \frac{KL}{r} = \frac{L_e}{r} \quad (2.15)$$

Donde:

- L: dimensión de la longitud de columna entre los puntos donde esta se apoya.
- K: factor determinado por la forma en la que están fijados los extremos.
- $L_e$ : llamado longitud efectiva por la forma de su cálculo, el cual consiste en  $L_e = KL$ , donde K es un valor numérico caracteriza por el apoyo en los extremos.
- r: es el radio de giro de valor mínimo que es determinado en base a la sección transversal que tiene la columna.

En la figura 10 se muestran los valores de K para distintas condiciones de sujeción e los extremos de la columna.

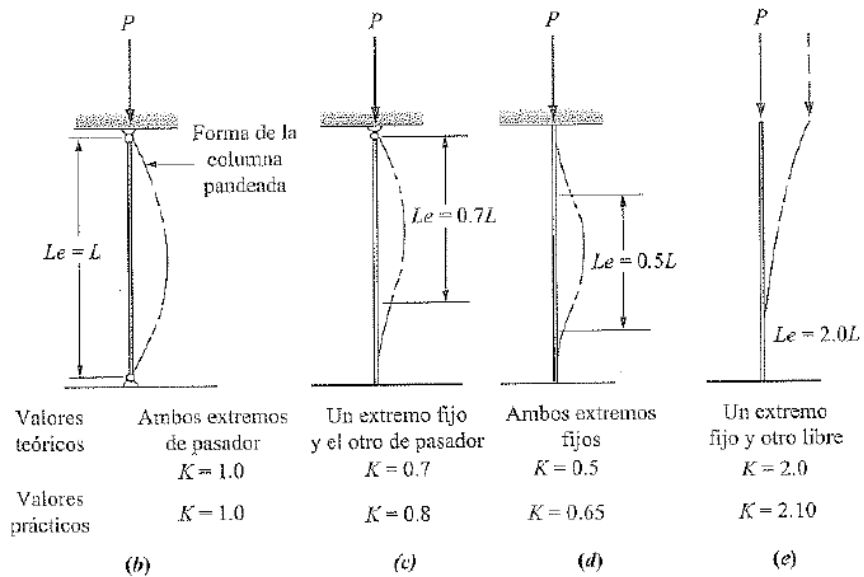


Figura 10. Valores de K según las condiciones de extremo de la columna, para el cálculo de  $L_e = KL$ . La columna está sometida a una fuerza central P.

Fuente: Mott (12).

Para entender el valor de K, al tomar el  $K = 0.5$  correspondiente a la condición de extremos del inciso “d” según la figura anterior, ésta indica que la columna actuará como si la columna estudiada es la mitad de la longitud de la que realmente es.

a) Radio de giro r: es la medida que expresa la medida de esbeltez que tiene la sección transversal de la columna estudiada y se define como:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.16)$$

Donde:

- I: es el momento de inercia de la sección transversal de la columna en estudio con respecto a los ejes principales.
- A: área de la sección transversal de la columna en estudio.

En la ecuación anterior se observa que el radio de giro  $r$ , es dependiente del valor del momento de inercia de la sección transversal y por ende dependiente del eje con respecto al cual se calcule. Casi

en todos los casos de análisis se deberá determinar el eje donde el valor de radio de giro mínimo, pues es en ese eje, la columna se pandeará.

Para ilustrar lo mencionado, en la figura 11, vamos a considerar una sección transversal esbelta y analizaremos el radio de giro.

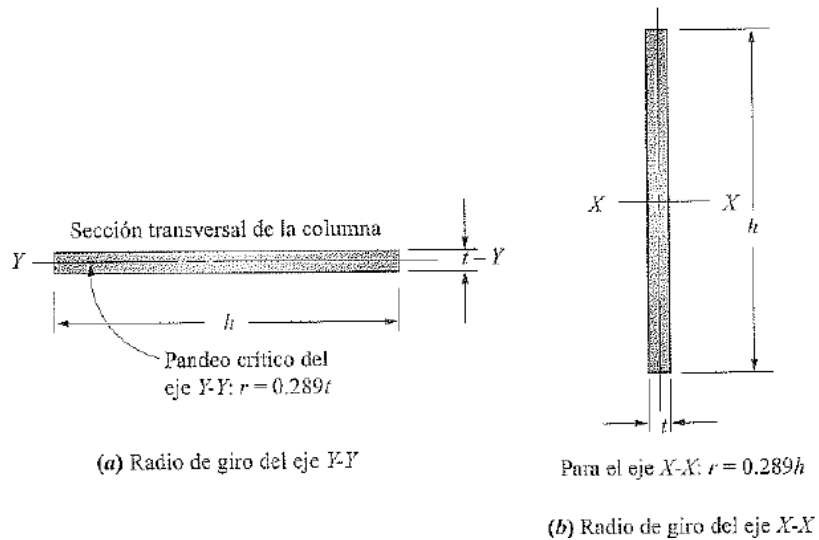


Figura 11. Radio de giro de una sección transversal esbelta.

Fuente: Mott (12).

Si el área de la sección transversal es  $A = th$ , el valor del radio de giro en el eje Y será:

$$r_Y = \sqrt{\frac{I_Y}{A}} = \sqrt{\frac{ht^3/12}{th}} = \sqrt{\frac{t^2}{12}} = \frac{t}{\sqrt{12}} = 0.289t \quad (2.17)$$

Si el área de la sección transversal es  $A = th$  y el momento de inercia con respecto al eje x es  $I_x = th^3/12$ , el valor del radio de giro en el eje X será:

$$r_X = \sqrt{\frac{I_X}{A}} = \sqrt{\frac{th^3/12}{th}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = 0.289h \quad (2.18)$$

Según las ecuaciones anteriores, se observa que  $h > t$ , entonces  $r_x > r_y$ , por lo tanto, se concluye que  $r_y$  es el radio de giro mínimo de la sección transversal en estudio y por ende el eje Y es donde ocurrirá el pandeo.

$$r_{min} = r_Y = \sqrt{\frac{I_Y}{A}} \quad (2.19)$$

De igual modo, se concluye que el valor de radio de giro para secciones transversales simétricas es la misma en ambos ejes principales, dichas secciones pueden ser perfiles circulares, cuadradas solidas o huecas.

b) Relación de esbeltez de transición o constante de columna  $C_C$ :

Esta relación se calculará con la ecuación:

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_Y}} \quad (2.20)$$

Donde:

- E: es el módulo elasticidad.
- $S_Y$ : es la resistencia a la cedencia.

La relación de esbeltez es comparada con la relación de esbeltez de transición para determinar si una columna es larga o corta, para ello se aplica las siguientes reglas.

- Si:  $\frac{L_e}{r} > C_C$ , la columna analizada se considera larga y por ende se aplicará la ecuación de Euler para su análisis.
- Si:  $\frac{L_e}{r} < C_C$ , la columna analizada se considera corta y por ende se aplicará la ecuación de J. B. Johnson para su análisis.

c) Formula de Euler para columnas:



Para columnas largas donde se cumple que la relación de esbeltez es mayor que la relación de esbeltez de transición, se utilizará la relación establecida por Euler para el cálculo de la carga crítica con la que la columna se pandee.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(L_e/r)^2} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (2.21)$$

d) Formula de J. B. Johnson para columnas:

Para columnas cortas donde se cumple que la relación de esbeltez es menor que la relación de esbeltez de transición, se utilizará la relación establecida por J. B. Johnson para el cálculo de la carga crítica con la que la columna se pandee. Si se utilizara la fórmula de Euler, los valores obtenidos para la carga crítica serian exorbitantes.

$$P_{cr} = AS_Y \left[ 1 - \frac{S_Y(L_e/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (2.22)$$

e) Factor de diseño para columnas:

Se calculará dividiendo la carga de pandeo crítica según la fórmula de Euler o J. B. Johnson entre un factor de diseño N.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad (2.23)$$

Donde:

- Pa: es la carga admisible o permisible segura.
- Pcr: es la carga crítica de pandeo
- N: es el factor de diseño para la columna.

f) Esfuerzo crítico  $\sigma_{cr}$ :

Dado por el valor del esfuerzo que corresponde a la carga crítica y está dado por la siguiente relación (11):

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r)^2} \quad (2.24)$$

La ecuación 2.24 muestra que el esfuerzo crítico es directamente proporcional al valor del módulo de elasticidad del material del que esta echo la columna, e inversamente proporcional a la relación de esbeltez. Entonces para el acero estructural se elabora el siguiente grafico que se muestra en la figura 12, considerando  $E = 200 \text{ GPa}$  y  $\sigma_y = 250 \text{ Mpa}$ .

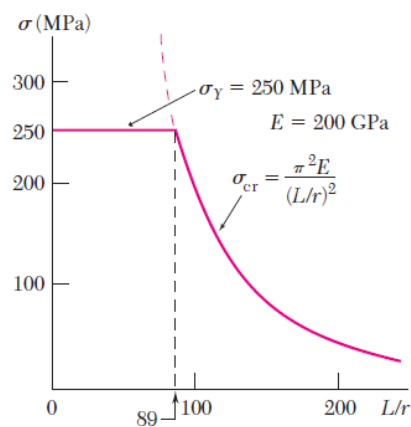


Figura 12. Curva de esfuerzo crítico para el acero estructural.

Fuente: Beer *et. al.* (11).

#### 2.2.6. Deformación debido a la flexión pura en elementos simétricos

Se realizará un análisis de los esfuerzos y deformaciones como consecuencia de aplicar fuerzas sobre un cuerpo prismático. Se considera un elemento prismático sometido a un par  $M$  y  $M'$  actuando en el mismo plano longitudinal.

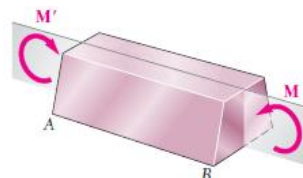


Figura 13. Elemento prismático sometido a flexión pura.

Fuente: Beer *et. al.* (11).

La figura 13 muestra un elemento prismático AB con un plano de simetría y además sometido a dos pares iguales pero opuestos, se observa que, si se le realiza un corte a través de AB en un punto arbitrario C, el estudio de equilibrio de la porción AC requiere que las fuerzas internas en la sección de corte sean equivalentes al par M, a quien se le conoce como momento flexionante.

En la figura 14 se denota con  $\sigma_x$  el esfuerzo normal en un punto de la sección transversal y con  $T_{xy}$  y  $T_{xz}$  las dos componentes debido al esfuerzo cortante. Estas fuerzas internas son equivalentes al par M.

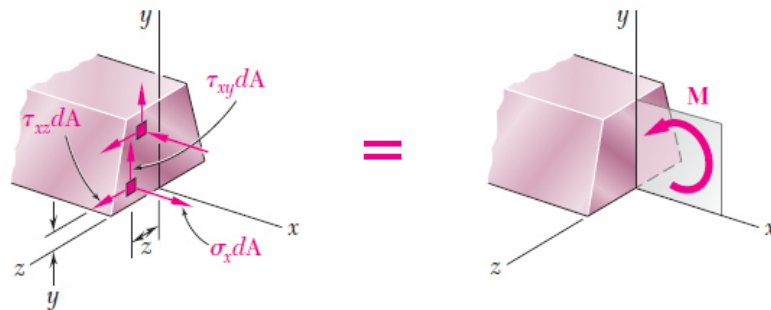


Figura 14. Esfuerzos normal y cortante.

Fuente: Beer *et. al.* (11).

Teniendo en cuenta la estática, el par M es en realidad dos fuerzas iguales y opuestas. Así también, la suma de los componentes de dichas fuerzas en cualquier dirección es cero. Por lo tanto, se desprenden las siguientes relaciones:

- Fuerzas en el eje x:  $\int \sigma_x dA = 0$
- Momento respecto al eje y:  $\int z \sigma_x dA = 0$
- Momento respecto al eje z:  $\int (-y \sigma_x dA) = 0$

En la presente tesis se considera el caso en que el momento flexionante M es tal que los esfuerzos normales que genera permanecen por debajo del esfuerzo de fluencia del material  $\sigma_y$ , implicando entonces que los esfuerzos generados estarán por debajo del límite elástico.

a) Esfuerzo normal debido a la flexión:

Los esfuerzos normales que son el producto del momento flexionante son llamados esfuerzos por flexión y su valor se expresa mediante la fórmula de flexión. De acuerdo a la figura 15, se tiene la expresión del esfuerzo normal.

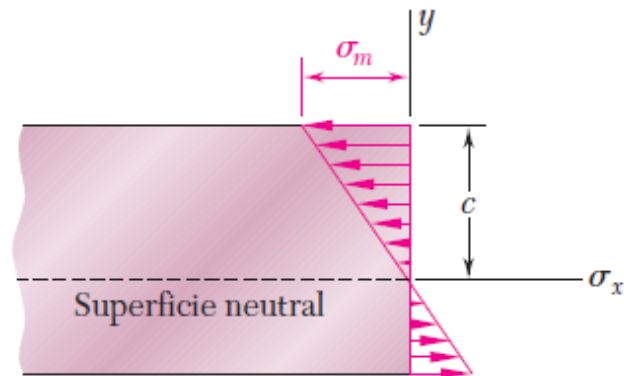


Figura 15. Elemento sometido a flexión:

Fuente: Beer *et. al.* (11).

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} \quad (2.25)$$

Donde:

- $\sigma_x$ : esfuerzo normal a una distancia  $y$  del eje neutro.
- $M$ : momento flector.
- $I$ : momento de inercia.
- $c$ : distancia del eje neutro al punto de análisis.

b) Esfuerzo de corte debido a la flexión:

Se considera una viga de sección prismática AB sometida a cargas concentradas o distribuidas como se muestra en la figura 16, el esfuerzo cortante promedio es como sigue.

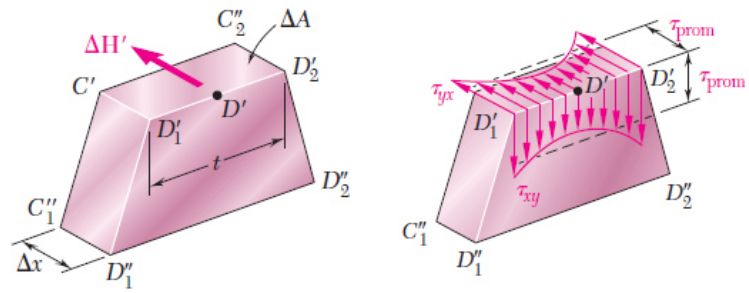


Figura 16. Elemento sometido a esfuerzos de corte.

Fuente: Beer *et. al.* (11).

$$\tau_{prom} = \frac{VQ}{It} \quad (2.26)$$

Donde:

- $T_{prom}$ : esfuerzo cortante promedio debido a la flexión.
- $V$ : fuerza cortante en la viga.
- $Q$ : primer momento de área.
- $I$ : momento de inercia.
- $t$ : espesor del elemento en el corte.

### 2.2.7. Criterio de máxima tensión de Von Mises

Este criterio se fundamenta en la teoría de Von Mises - Hencky, es conocida también como la teoría de la energía de distorsión máxima. Esta teoría se define como un esfuerzo de tensión uniaxial que es capaz de generar la misma energía de distorsión que la produciría la combinación real de los esfuerzos aplicados (10). Aplicado al esfuerzo plano se obtiene de:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.27)$$

El factor de seguridad, considerando el esfuerzo mínimo a la fluencia de  $S_Y$  del material en estudio es:

$$F.S. = N = \frac{S_Y}{\sigma'} \quad (2.28)$$

#### 2.2.8. Recomendaciones para el valor del factor de seguridad

El profesor Joseph Vidosic sugiere los siguientes valores de factor de seguridad de acuerdo a criterios basados en la resistencia a la cedencia de los materiales en estudio (13).

- F.S. = 1.25 a 1.5: para componentes fabricados con materiales altamente confiables y que se emplean en condiciones controladas que a su vez están sometidos a cargas y esfuerzos que se determinan con certeza.
- F.S. = 1.5 a 2: para los materiales que son conocidos y que están bajo condiciones razonables constantes. Además, están sometidos a cargas y esfuerzos que se determinan con certeza y facilidad.
- F.S. = 2.5 a 3: para los materiales que son frágiles o para materiales que fueron estudiadas en condiciones ambientales con promedio de carga y esfuerzo.

#### 2.2.9. Software de diseño SolidWorks

SolidWorks es una aplicación de diseño 3D que presenta una solución de principio a fin para procesos desde el diseño hasta la fabricación. Esto permite replantear el enfoque sobre cómo fabricar piezas y productos. Pertenece a la empresa SolidWorks Corp. que fue fundada en 1993 por Hirschtick, Jon con sede en Massachusetts, lanzando su primer producto en 1995. Dassault Systemes adquiere la compañía en 1997.

Dentro de las bondades que ofrece SolidWorks, se tiene la posibilidad de simulación que utiliza el análisis por elementos finitos para realizar un análisis estructural, esta herramienta permite reducir costos al simular pruebas en una computadora en lugar de realizar pruebas de campo costosas. El diseño inicia con la creación de un croquis 2D que, mediante operaciones como por ejemplo extrusión se lleva a un modelo 3D que sería una pieza de muchas otras con que se realizaría un ensamble usando relaciones geométricas para ello (14).

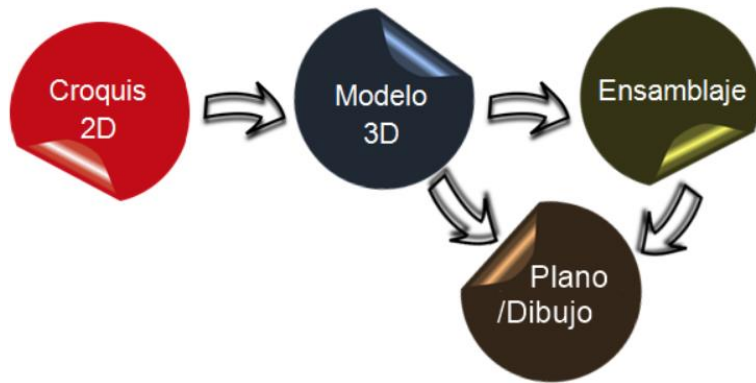


Figura 17. Proceso de diseño con SolidWorks.

Fuente: Gómez (14).

La herramienta de simulación con el que cuenta SolidWorks permite simular condiciones a la que estará sometida la pieza o ensamble, para ello se asigna un tipo de material del que estará fabricado la pieza y se elige un criterio de falla que se puede elegir es el de Von Mises. Se define restricciones que limitan movimientos y fijan componentes, se aplicarán fuerzas que se ejercen sobre la pieza para luego discretizar el modelo geométrico (crear malla) para ejecutar la simulación. El software da como resultado graficas de tensiones, desplazamientos y deformaciones que muestran el comportamiento que tendrá la pieza cuando es sometida a condiciones para las cuales se está diseñando.



Figura 18. Proceso de simulación con SolidWorks.

Fuente: Gómez (14).

### 2.3. Definición de términos básicos

- Acero estructural ASTM A36: es un acero al carbono también conocido como hierro negro y usada en la fabricación de estructuras de puentes, edificaciones empernadas o remachadas y soldadas. Las propiedades mecánicas principales son: esfuerzo a la fluencia mínima 250 MPa, esfuerzo a la tensión 400 - 500 MPa, módulo de elasticidad 200 GPa (10).
- Aparejo tipo plataforma: estructura metálica compuesta de 3 cuerpos. Cada cuerpo tiene una plataforma con 16 soportes fijos distribuidos en su periferia. Cada soporte sujeta fijamente una placa cóncava (5).
- Aparejo tipo torre: estructura metálica compuesta por 3 cuerpos que al ensamblarse forman una torre. Cada cuerpo contiene 16 cadenas colgadas que sirven para la sujeción de las placas cóncavas (5).
- AWS: American Welding Society, por sus siglas en inglés. Es la Sociedad Americana de Soldadura que norma y califica la aplicación de la soldadura (15).
- D.S. 024-2016-EM: Decreto Supremo 024 promulgado en el año 2016 por el Ministerio de Energía y Minas (9).
- Grúa telescópica: maquinaria pesada hidráulica que cuenta con un brazo extendible y sirve para izar cargas (5).
- Mantenibilidad: representa la facilidad para ejecutar las tareas de mantenimiento a un sistema, conservando todas sus funciones (16).
- Mantenimiento basado en confiabilidad: es una técnica que sirve para elaborar un plan de mantenimiento de una instalación industrial teniendo como objetivo conservar su funcionalidad (16).
- Revestimiento: elemento de sacrificio, generalmente metálico de una aleación con manganeso dentro de su composición (2).
- Tubo rectangular de acero ASTM A36: tubo de sección rectangular que normalmente es electrosoldado, estos son producidos partiendo de bobinas de acero estructural ASTM A36 (10).



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

##### 3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación tecnológica es el proceso de obtener conocimientos consientes, racionales y críticos a través del cual los seres humanos diseñan máquinas y herramientas (8). En el presente trabajo de investigación se da la aplicación de resultados de investigaciones y teorías científicas con la finalidad de llegar a un diseño final.

##### 3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es aplicado pues tiende a resolver problemas o desarrollar ideas a corto o mediano plazo, éstas están dirigidas a encontrar innovaciones, mejorar procesos o productos, incrementar la calidad y productividad, etc. (8). El diseño del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" busca minimizar los tiempos de parada de equipos.

##### 3.1.3. Metodología aplicada

Para el presente trabajo de investigación, los lineamientos y directrices que se siguieron como metodología, englobaron a las recomendaciones de la norma VDI 2 221 que lleva por título: Metodología de diseño en Ingeniería Mecánica, ello para determinar varias alternativas de solución y entre ellas, la de diseño óptimo y que cumpla con los objetivos planteados (17).

- Planeamiento:

Se intenta describir con cuidado, las características que deberá tener el sistema que se diseñará. Generalmente todo inicia o parte de una necesidad debiendo transformarla en una solicitud muy concreta. Para realizar dicha transformación es necesario realizar un análisis crítico de la solicitud en cuestión y al mismo tiempo se evalúa la posibilidad de su realización (18).

a) Detallar el problema:

- Inicio del diseño: esta fase describe al problema, expresando y reconociendo la situación actual respecto del problema estudiado.
- Asumir el problema en forma crítica: frecuentemente, la información que recibe el diseñador es: incompleta, falsa e incomprensible. Para hacer frente a esta situación y resolverlo, el diseñador asume el problema en forma crítica, pidiendo para ello las aclaraciones necesarias con la finalidad de evitar malentendidos, falsos diseños, incumplimiento de plazos de entrega.

b) Averiguar el estado del arte:

Después de haber definido el problema, se indaga sobre el estado de la tecnología (estado del arte), que engloba a la literatura asociada pero especializada que se empleará como sustento técnico para los diseños propuestos, además de considerar publicaciones de fabricantes como catálogos o revistas técnicas,

etc. La información reunida se estudia para comprender completamente el tema, teniendo en cuenta que muchas veces la mejor solución depende de cuan instruido o informado este el diseñador.

- c) Colocar prioridades, ordenarlas y cuantificarlas (lista de exigencias):

Con el objetivo de satisfacer el diseño proyectado, la información que se reciba del cliente sobre las exigencias se deberá completar, ordenar y listar en una hoja que será elaborada para tal fin. En la tabla 02 se muestra un formulario a modo de sugerencia donde el deseo o exigencia es acompañado de una descripción, así como de un responsable.

Tabla 02. *Relación o lista de exigencias.*

| LISTA DE EXIGENCIAS |                   | EDICION:    | Pág. __ de __ |
|---------------------|-------------------|-------------|---------------|
| PROYECTO            |                   | CLIENTES    | Fecha:        |
|                     |                   |             | Autor:        |
| Características     | Deseo o Exigencia | Descripción | Responsable   |
| -                   | -                 | -           | -             |
| -                   | -                 | -           | -             |
| -                   | -                 | -           | -             |

Fuente: Barriga (17).

- d) Planificar el desarrollo del proyecto:

Se elabora un plan de trabajo con la finalidad de una eficiente distribución del recurso involucrado, tanto humano como material que se usara en el desarrollo del proyecto. En forma general basta con un diagrama de barras como el que se muestra en la tabla 03, donde se considera plazos para cumplir con cada actividad (18).

Tabla 03. Programación para el desarrollo del proyecto.

| ACTIVIDAD                  | SEMANAS |   |   |   |   |   |    |     | TIEMPO |
|----------------------------|---------|---|---|---|---|---|----|-----|--------|
|                            | 1       | 2 | 3 | 4 | 5 | . | .. | ... |        |
| 1. Lista de exigencias     |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| 2. Estructura de funciones |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| 3. ....                    |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| .....                      |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| ....                       |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| ...                        |         |   |   |   |   |   |    |     |        |
| TOTAL                      |         |   |   |   |   |   |    |     |        |

Fuente: Serrano (18).

- Concepto de la solución:

Esta etapa llamada concepción de la solución es la fase donde se plasma la parte creativa del diseño con la finalidad de dar una solución cualitativa al problema y está dividido en dos partes que son las siguientes:

- a) Estructura de funciones:

Esta etapa se desarrolla partiendo con la lista de exigencias como datos de entrada. Es un proceso de abstracción que tiene el propósito de englobar todas las soluciones posibles al problema, evitando así las ideas prefijadas que darían solución al problema.

- Proceso de abstracción (caja negra): toda función es posible ser representada a través de una caja negra, denominándose así al elemento que es estudiado considerando las entradas que recibe y las salidas que produce sin considerar su funcionamiento interno, así mismo se tiene en cuenta solo tres magnitudes básicas en la entrada y la salida, las cuales son: energía, materia y señales. En la figura 19, se observa como ingresan dichas magnitudes a la caja negra, así como salen de ella después de haber pasado por un proceso de abstracción (18).

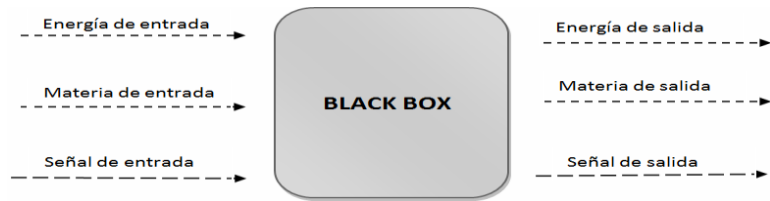


Figura 19. Representación de la caja negra.

Fuente: elaboración propia.

- Determinar la secuencia de operaciones: esta etapa es la base para estructurar procesos técnicos, procedimientos para los trabajos, así como su secuencia.
- Determinar y representar la estructura de funciones (caja blanca): se representan aspectos internos del sistema y sus relaciones causales que se establecen entre sus componentes, así como las entradas y salidas.

b) Elaboración del concepto:

En esta etapa, los datos de entrada las componen la estructura de funciones y lista de exigencias:

- Matriz morfológica: se realiza la subdivisión de la función total en otras funciones parciales. Por lo general estas funciones parciales se dividen en funciones parciales secundarias, los cuales se ordenan en una matriz donde se considera las funciones parciales con las alternativas o principios de solución para luego relacionarlas tal como se muestra en la tabla 04 (18).

Tabla 04. Matriz morfológica.

| Funciones parciales | Alternativas o principios de solución |                 |                 |      |      |                 |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|
|                     | 1                                     | 2               | 3               | .... | .... | n               |
| 1.- Posicionar      | S <sub>11</sub>                       | S <sub>12</sub> | S <sub>13</sub> |      |      | S <sub>1n</sub> |
| 2.- Medir           | S <sub>21</sub>                       | S <sub>22</sub> | S <sub>23</sub> |      |      | S <sub>2n</sub> |
| .....               | ...                                   | ...             | ...             |      |      | ...             |
| .....               | ...                                   | ...             | ...             |      |      | ...             |
| m.- Retirar         | S <sub>m1</sub>                       | S <sub>m2</sub> | S <sub>m3</sub> | .... | .... | S <sub>mn</sub> |

Solución 1                      Solución 2

Fuente: Serrano (18).

- Análisis técnico de los conceptos de la solución: en esta etapa se requiere una evaluación de las numerosas alternativas, entre ellas tenemos: la seguridad, fácil manejo, calidad de trabajo entre otras. Con lo mencionado debemos cumplir la lista de exigencias (18).
  - Análisis económico de los conceptos de la solución: el tema económico juega un rol muy importante ya que de ello depende la viabilidad del diseño. Es muy importante tener en cuenta algunos aspectos como: cantidad de componentes o piezas, facilidad de construcción o montaje, productibilidad, costos anexos a la operación, así como un mínimo de desperdicios (18).
- Elaboración del proyecto:
    - a) Proyecto preliminar: es el diseño plasmado en un bosquejo donde no es importante medidas ni detalles.
    - b) Proyecto definitivo: en esta etapa se considera los planos de ensamble a escala contemplando la lista de piezas que forman parte del diseño final.
  - Elaboración de detalles:
    - a) Planos de fabricación de las piezas de la máquina: es la documentación donde se plasma cada componente considerando medidas y detalles para su fabricación.
    - b) Diagramas de flujo detallando los procesos de fabricación de la máquina proyectada: representa la planificación para lograr la fabricación de cada componente que después formara el diseño final.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN**

Después de haber definido las bases que regirán la metodología del diseño en el presente trabajo de investigación, se inicia con su aplicación

#### 4.1. Estado del arte

A nivel nacional e internacional, la minería a gran escala está permanentemente en la búsqueda de nuevas formas de hacer las cosas que permitan optimizar sus procesos y hagan cada vez más seguras la interacción hombre máquina. En Perú, Chile y Argentina existen operaciones mineras que utilizan chancadoras giratorias en el proceso de chancado primario dentro de la planta concentradora.

Al investigar las formas de hacer los mantenimientos a estos equipos y en específico al cambio de revestimientos cóncavos, es posible mostrar tres de ellas.

##### 4.1.1. Cambio de revestimientos cóncavos uno a uno

En la figura 20 se muestra el procedimiento empleado en la mina de hierro de la minera Shougang ubicada en Marcona - Ica en Perú, donde cuentan con una chancadora giratoria dentro de circuito de chancado primario. Al realizar el cambio de revestimientos cóncavos, estas son instaladas uno a la vez dentro de la chancadora, para ello cada revestimiento es izado

mediante una eslinga y traslado por el puente grúa dentro de la chancadora. El posicionamiento final es realizado manualmente.

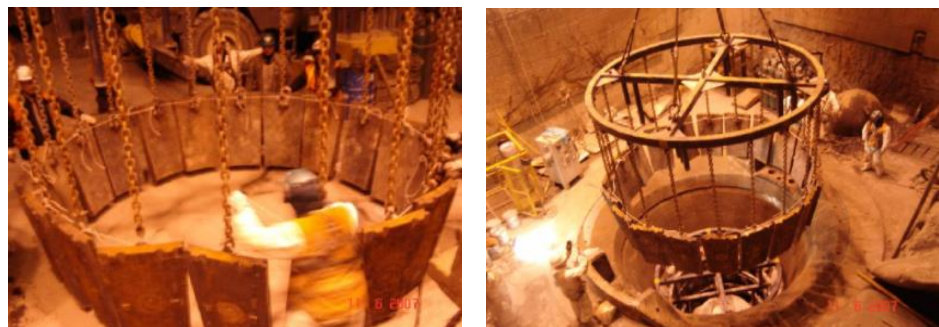


*Figura 20.* Instalación de cóncavos, uno a la vez.

Fuente: Minera Shougang.

#### 4.1.2. Cambio de revestimientos cóncavos con aparejo tipo torre

En la figura 21 se muestra el procedimiento empleado en la minera Antamina ubicada en Ancash en Perú, donde cuentan con una chancadora giratoria dentro del edificio de chancado primario. Al realizar el cambio de revestimientos cóncavos, estas son instaladas previamente a un aparejo tipo torre, el cual sujeta a todos los revestimientos cóncavos de una fila. El aparejo es izado y trasladado dentro de la chancadora mediante un puente grúa. El posicionamiento final se realiza con ayuda de unas barretas.



*Figura 21.* Instalación de revestimientos cóncavos con un aparejo tipo torre.

Fuente: Minera Antamina.



#### 4.1.3. Cambio de revestimientos cóncavos con plataforma aparejo tipo plataforma

En la figura 22 se muestra el procedimiento empleado en la unidad minera Los Pelambres situada en la región de Coquimbo en Chile, donde cuentan con una chancadora giratoria dentro del circuito de chancado primario. Al realizar el cambio de revestimientos cóncavos, estas son instaladas previamente a un aparejo tipo plataforma, el cual sujeta a todos los revestimientos cóncavos de una fila. El aparejo es izado y trasladado dentro de la chancadora mediante una grúa telescópica. El posicionamiento final se realiza con ayuda de unas barretas.



*Figura 22.* Instalación de revestimientos cóncavos con un aparejo plataforma.


Fuente: Minera Los Pelambres.

## 4.2. Identificación de requerimientos

### 4.2.1. Lista de exigencias

La lista de exigencias que se muestra en la tabla 05, fue elaborada tomando como base lo mencionado en capítulos anteriores, así como también las necesidades registradas en la planta de chancado primario de minera Las Bambas, durante las labores de mantenimiento para reducir tiempos de detención del equipo y exposición del personal a diversos riesgos a su salud. La lista de exigencias permitirá plantear el diseño que conduzca a una solución óptima.

Tabla 05. *Lista de exigencias\**.

| LISTA DE EXIGENCIAS   |       | EDICIÓN:   | Pág.:1  | de:1 |
|---|-------|--|---|------|
| <b>PROYECTO:</b><br>Diseño e implementación de un aparejo para revestir una chancadora primaria de 60"x113" |       | <b>CLIENTE:</b><br>Minera Las Bambas.  | <b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b><br> <b>Universidad Continental</b> |      |
| <b>Redactado por:</b> Wilson Quispe Yupanqui.<br><b>Fecha:</b> 09 de setiembre del 2020                     |       |  |   |      |
| Categoría   | E / D | Exigencias   | Responsable   |      |
| Función   | E     | El aparejo estructural debe Contener los 16 revestimientos cóncavos a la vez.  | WQY   |      |
| Función   | E     | El aparejo y los 16 revestimientos cóncavos deben ser izados al mismo tiempo con un solo equipo.   | WQY   |      |
| Función   | E     | El aparejo estructural debe tener un mecanismo de soporte para cada revestimiento cóncavo.   | WQY   |      |
| Dimensiones   | E     | Cada fila de revestimientos cóncavos debe tener un aparejo similar pero diferente en dimensiones. Las dimensiones del aparejo deberán estar en función a las dimensiones internas de la chancadora giratoria 60" x 113".                     | WQY   |      |
| Fuerza  | E     | El mecanismo de sujeción de cada revestimiento cóncavo debe facilitar la instalación de este.  | WQY   |      |
| Material  | E     | El material usado para la fabricación del aparejo estructural debe ser acero estructural ASTM A36.   | WQY   |      |
| Fabricación y montaje   | E     | Todos los componentes utilizados deben ser de fabricación estándar y no compleja.  | WQY   |      |
| Fabricación y montaje   | E     | El aparejo debe ser pintado con una pintura anticorrosiva.   | SSEE  |      |
| Mantenimiento   | E     | El aparejo debe tener su manual de instrucciones de uso y mantenimiento.   | WQY   |      |
| Impacto Ambiental   | E     | No debe haber consumo de energía eléctrica ni un sistema fijo que demande lubricante.  | WQY   |      |
| Impacto Ambiental   | E     | El material para la fabricación debe ser tomado del almacén de estructuras sobrantes de la construcción de la planta concentradora. No se comprará material.   | WQY   |      |
| Seguridad y ergonomía   | E     | La operación de desplazamientos del revestimiento cóncavo no debe causar malas posturas a los trabajadores ni obligar a realizar sobre esfuerzos. La plataforma de trabajo no involucrará riesgo de caída o atrapamiento para el trabajador. | WQY   |      |
| Fuerzas   | Da    | El aparejo estructural debe estar rotulado con la capacidad máxima de carga.   | SSEE  |      |
| Costes  | Da    | La fabricación debe tener costos accesibles.   | Planeamiento  |      |
| Plazos  | Dm    | La duración del proyecto debe durar máximo 2 meses.  | Planeamiento  |      |
| Fabricación y montaje   | Di    | El aparejo estructural debe contener el logo de la empresa.  | SSEE  |      |

\*Nota (significancia): E: exigencia; D: deseo; Da: deseo alto; Dm: deseo medio; Di: deseo insignificante; SSEE: Socio estratégico o Empresa contratista; WQY: Wilson Quispe Yupanqui.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Estructura de funciones

En la figura 23, se desarrolla la etapa de abstracción desarrollando la caja negra donde se refleja la función total del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria 60" x 113" en ella se especifican las entradas que mediante procesos aun no conocidos se obtiene las salidas esperadas.

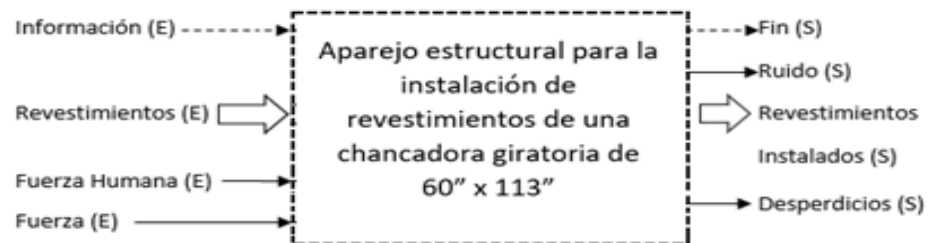


Figura 23. Representación de la caja negra.

Fuente: elaboración propia.

Del gráfico anterior se define lo siguiente:

##### a) Ingreso:

- Información: la información dimensional estándar para la preinstalación de los revestimientos cóncavos.
- Revestimientos: son los revestimientos cóncavos nuevos que se requieren instalar en la chancadora giratoria 60" x 113".
- Fuerza humana: fuerza que el trabajador aplica para lograr la ubicación final del revestimiento cóncavo.
- Fuerza: que el aparejo ejerce sobre cada revestimiento cóncavo y que es el resultado de multiplicar la fuerza humana ejercida.

##### b) Salida:

- Fin: se concluye la instalación de revestimientos cóncavos dando pase al siguiente paso del mantenimiento de la chancadora giratoria 60" x 113".
- Ruido: sonido emitido como consecuencia el uso del aparejo estructural por la interacción de componentes metálicos.

- Revestimiento instalado: los revestimientos deben quedar en su correcta posición y debidamente sujetadas entre sí.
  - Desperdicios: elementos de sujeción que solo sirven para sostenimiento de cada uno de los revestimientos cóncavos.
- c) Descripción de funciones:
- Sujeción: los revestimientos nuevos de forma cóncava se preparan (limpieza mecánica e inspección con ultrasonido y tintes penetrantes) para realizar el pre-montaje en el aparejo estructural, de tal manera que este contenga pre-armados a todos los revestimientos. En esta función, el aparejo estructural tiene la capacidad para lograr la horizontalidad de todos los revestimientos. Esta actividad se realiza en el taller mecánico.
  - Traslado: el aparejo estructural considera en su diseño, puntos de sujeción (orejas de anclaje) para ser izado por un puente grúa siendo sujetado por una eslinga de acero de cuatro lazos. El traslado se realiza desde el taller mecánico hasta el interior de la chancadora giratoria 60" x 113".
  - Instalación: en el interior de la chancadora giratoria 60" x 113", el aparejo estructural sosteniendo los revestimientos de forma cóncava es acercado lo más posible a su posición final. Este acercamiento es en su totalidad mediante el puente grúa.
  - Multiplicación de fuerza: el mecanismo que sujeta los revestimientos es accionado mediante una herramienta neumática (pistola de impacto) para generar desplazamientos pequeños en la dirección vertical y horizontal de tal manera que los revestimientos queden en su posición final. Esta posición final queda asegurada a su vez por el mecanismo de sujeción.
  - Fijación: los revestimientos de forma cóncava forman un anillo circular dentro de la chancadora giratoria 60" x 113", en esta posición se instalan los pines interiores en forma de estaca que las aseguran una con otra. En esta condición se inicia la aplicación del cemento epóxico que después de su curado es posible el retiro del aparejo estructural.

#### 4.2.3. Secuencias de operaciones

##### a) Pre-montaje:

- Instalación de revestimientos nuevos de forma cóncava en los mecanismos de sujeción del aparejo estructural.
- Pre-posicionamiento de los revestimientos nuevos de forma cóncava mediante el mecanismo de sujeción.
- Aseguramiento al mecanismo de sujeción de cada revestimiento nuevo de forma cóncava mediante pernos o pines.

##### b) Montaje:

- Instalación del aparejo con apoyo de un puente grúa. El peso aproximado de todo el conjunto (aparejo y revestimientos de forma cóncava) es 20 toneladas.
- Cada revestimiento tiene una posición definida dentro de la chancadora y considerando que, debido al peso, humanamente es imposible su manipulación. Cada mecanismo de sujeción tiene la capacidad de mover cada revestimiento cóncavo en la dirección vertical y horizontal. El mecanismo es accionado mediante una herramienta neumática.
- En su posición final los revestimientos cóncavos, se retiran los pernos o pines que sujetan cada revestimiento cóncavo al mecanismo de sujeción.
- Al retiro de los pernos o pines, el aparejo estructural queda sin ningún revestimiento cóncavo sobre esta. Se retira el aparejo estructural con apoyo del puente grúa.

#### 4.2.4. Determinar y representar la estructura de funciones (caja blanca)

En la figura 24 se muestra la estructura de funciones, se explica lo que sucede dentro de la caja negra, la cual en adelante se le considerará la caja blanca (18).

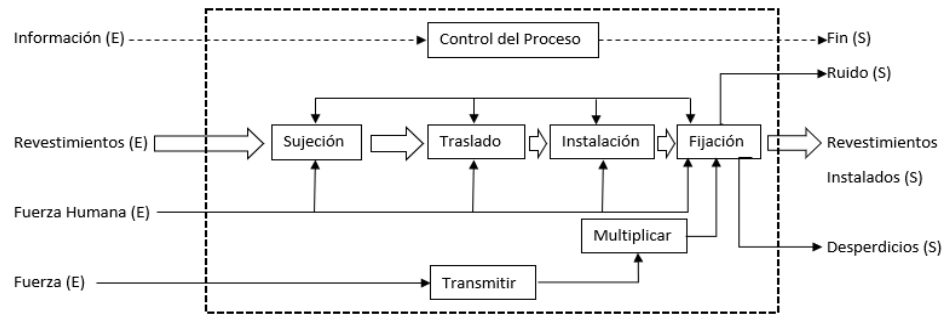



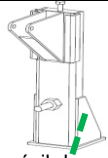





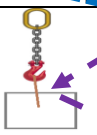

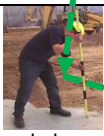
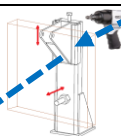




Figura 24. Estructura de funciones.

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Análisis de la solución

#### 4.3.1. Matriz morfológica

Tabla 06. Matriz morfológica de la solución.

| Ítem | Funciones Parciales      | Portadores de Funciones   |  |  |
|------|--------------------------|---|--|--|
|      |                          | 1   | 2  | 3  |
| 1    | Sujeción                 | <br>Punto fijo de sujeción.                      | <br>Punto móvil de sujeción.          | <br>Cadena de sujeción colgante.  |
| 2    | Traslado                 | <br>Puente grúa.                                 | <br>Grúa telescópica                  | <br>Camión grúa                   |
| 3    | Instalación              | <br>Brazo robótico.                              | <br>Instalación 1 por 1.              | <br>Instalación de todo a la vez. |
| 4    | Multiplicación de fuerza | <br>Uso de barreta.                              | <br>Mecanismo con tornillo.           | <br>Uso de comba.                 |
| 5    | Fijación                 | <br>Fijación con tornillo horizontal y vertical. | <br>Fijación con tornillo horizontal. | <br>Fijación con soldadura.       |
| 6    | Conceptos de solución    | A   | B  | C  |

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. Análisis de los conceptos de solución

En los siguientes gráficos se muestra las tres propuestas de solución cualitativa que se obtiene del análisis a través de la matriz morfológica. Estos tres conceptos de solución tienen la finalidad de ser acercarnos a la obtención de la solución óptima (19).

- Solución A: en la figura 25 se muestra la solución propuesta A, en el cual se muestra al mecanismo de sujeción móvil del revestimiento cóncavo considerando que los movimientos en el eje vertical y horizontal son realizados a través de los tornillos. Estos tornillos son sometidos a un par torsional mediante una herramienta neumática que multiplica la fuerza humana. El personal que manipula el aparejo estructural posicionado sobre una superficie plana.

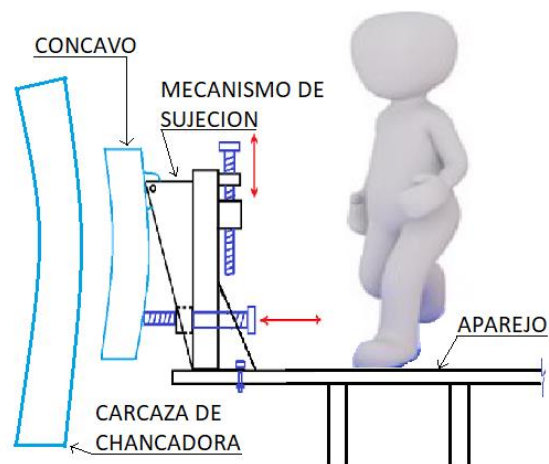


Figura 25. Representación de la propuesta A.

Fuente: elaboración propia.

- Solución B: en la figura 26 se muestra la solución propuesta B en el cual se considera un anillo circular de diámetro similar al del interior de la chancadora giratoria 60" x 113" de la cual se sujeta a los revestimientos cóncavos a través de una cadena para cada uno. Durante la instalación se espera a que por la gravedad y por el propio peso del revestimiento cóncavo, éste se acomode en su posición final, y usando unas barretas y combas se afina dicha instalación.

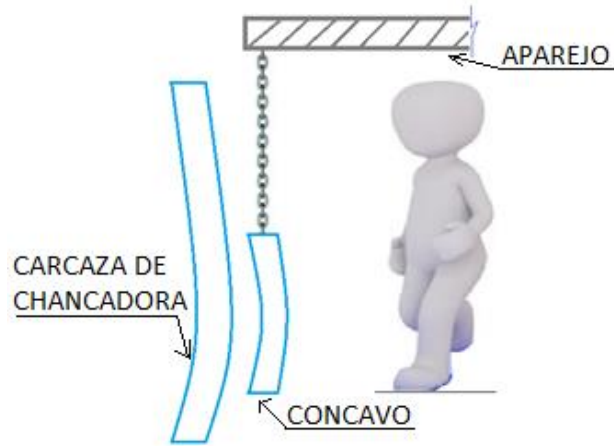


Figura 26. Representación de la propuesta B.

Fuente: elaboración propia.

- Solución C: en la figura 27 se muestra la solución propuesta C en el cual se considera un aparejo estructural circular con un sistema de sujeción fijo para cada revestimiento cóncavo dispuestos en toda su periferia. Se considera la instalación de todos los revestimientos cóncavos a la vez hasta acercarlos a su posición final para después afinar la instalación con el uso de barretas y combas.

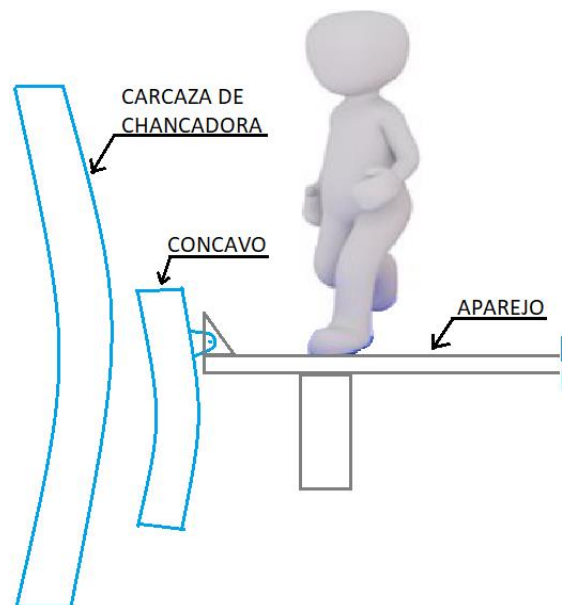


Figura 27. Representación de la propuesta C.

Fuente: elaboración propia.



En las siguientes tablas se presenta la evaluación de los proyectos preliminares, en una de ellas se evalúa la parte técnica y en la otra la parte económica teniendo en consideración el puntaje asignado según la escala de valores de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI por sus siglas en alemán):

0: no satisface.

1: casi aceptable.

2: suficiente.

3: bien.

4: muy bien.

Después del análisis técnico económico se da a conocer la alternativa que presenta mayor valor.

a) Análisis técnico de los conceptos de solución:

Tabla 07. *Análisis técnico de los conceptos de solución.*

| Ítem | Criterio Técnico           | Variantes |      |      |
|------|----------------------------|-----------|------|------|
|      |                            | A         | B    | C    |
| 1    | Sujeción                   | 4         | 4    | 3    |
| 2    | Traslado                   | 4         | 3    | 2    |
| 3    | Instalación                | 3         | 4    | 2    |
| 4    | Multiplificación de fuerza | 4         | 1    | 1    |
| 5    | Fijación                   | 4         | 2    | 2    |
| 6    | Ergonomía                  | 4         | 4    | 3    |
| 7    | Impacto ambiental          | 4         | 4    | 4    |
|      | Total                      | 27        | 22   | 17   |
|      | Valor técnico $X_i$        | 0.96      | 0.79 | 0.61 |

Fuente: elaboración propia.

b) Análisis económico de los conceptos de solución:

Tabla 08. *Análisis económico de los conceptos de solución.*

| Ítem | Criterio Técnico                    | Variantes |   |   |
|------|-------------------------------------|-----------|---|---|
|      |                                     | A         | B | C |
| 1    | Cumple con el rendimiento económico | 4         | 1 | 3 |

|                       |                                  |      |      |      |
|-----------------------|----------------------------------|------|------|------|
| 2                     | Bajo costo del material          | 4    | 1    | 3    |
| 3                     | Materiales accesibles            | 4    | 1    | 4    |
| 4                     | Proceso de fabricación accesible | 4    | 2    | 4    |
| 5                     | Fácil montaje                    | 3    | 1    | 2    |
| 6                     | Fácil transporte                 | 4    | 2    | 3    |
| 7                     | Fácil manipulación               | 4    | 2    | 3    |
| Total                 |                                  | 27   | 10   | 22   |
| Valor económico $Y_i$ |                                  | 0.96 | 0.36 | 0.79 |

Fuente: elaboración propia.

c) Gráfico de decisión del diseño conceptual:

Después de la evaluación técnica y económica de cada una de las tres posibles soluciones se realiza la curva de decisión. En la figura 28 se observa que la propuesta A se acerca a la solución ideal.

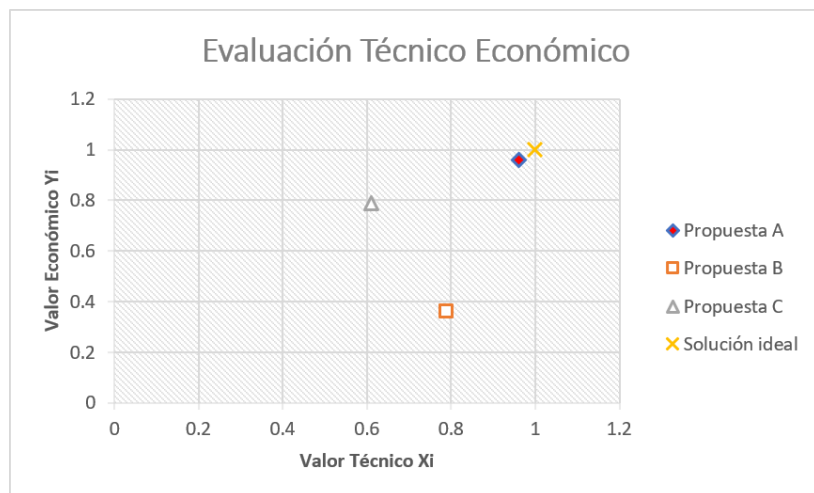


Figura 28. Gráfico de decisión del diseño conceptual.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.3. Concepto de la solución óptima

Después de haber realizado la evaluación técnica y económica de los tres conceptos de solución A, B y C, se obtiene como resultado óptimo, el concepto de solución A, la cual se muestra con más detalle en la figura 29.

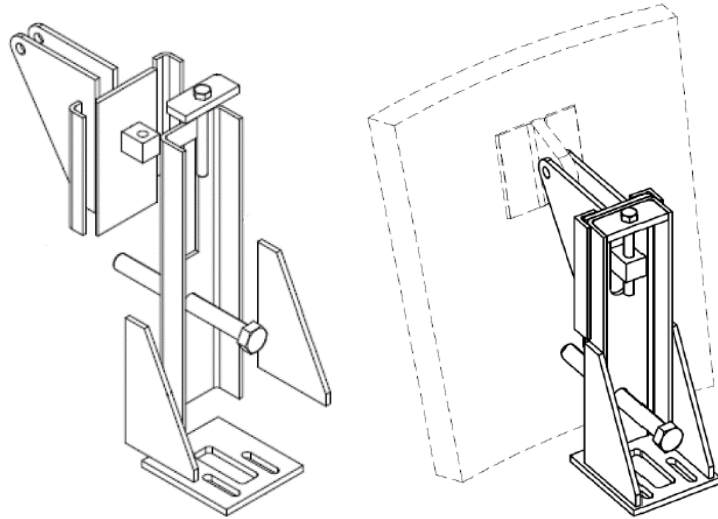


Figura 29. Concepto de solución óptima.

Fuente: elaboración propia.

Este concepto de solución en un panorama completo que implica la sujeción de los 16 revestimientos cóncavos se muestra en la figura 30.

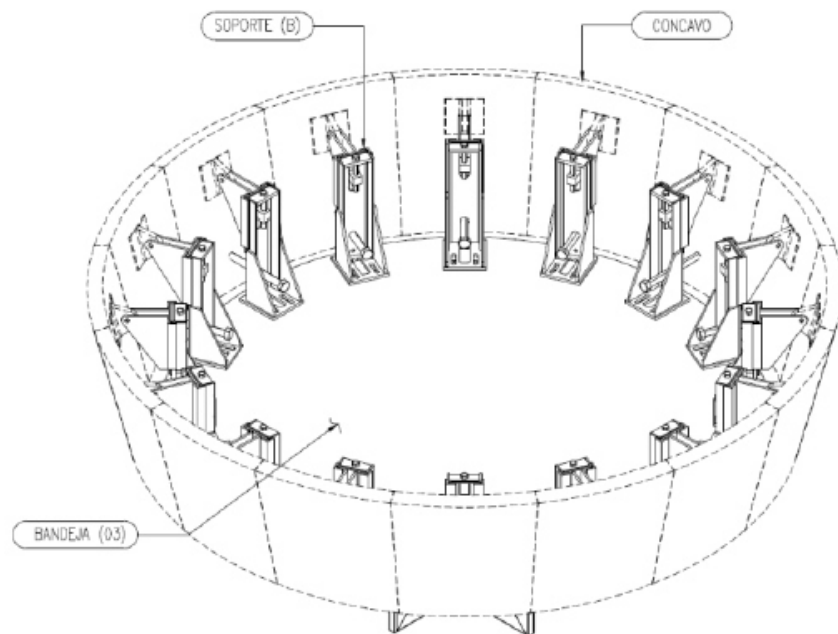


Figura 30. Concepto de solución óptima completa.

Fuente: elaboración propia.

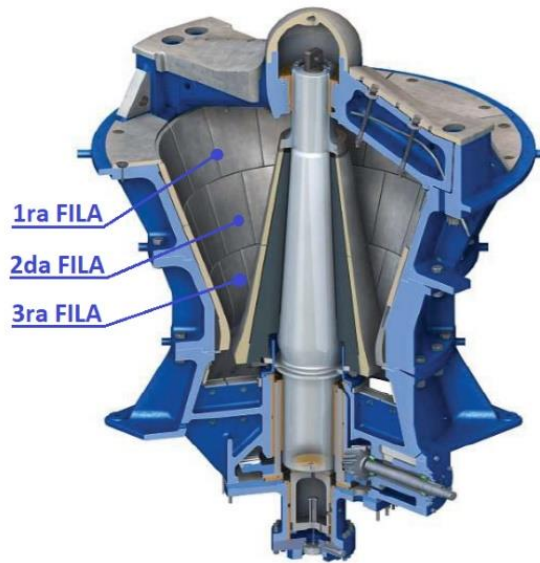


Figura 31. Corte de una chancadora primaria 60" x 113" en el cual se aprecia a los revestimientos cóncavos dispuestos en tres filas donde cada fila tiene 16 revestimientos cóncavos, haciendo un total de 48 unidades.

Fuente: FLSmith & Co.

Para la instalación de los revestimientos cóncavos en la chancadora giratoria 60" x 113" se realizará un pre armado de los estos sobre el aparejo estructural para después trasladarlo dentro, así como se muestra en la figura 32.

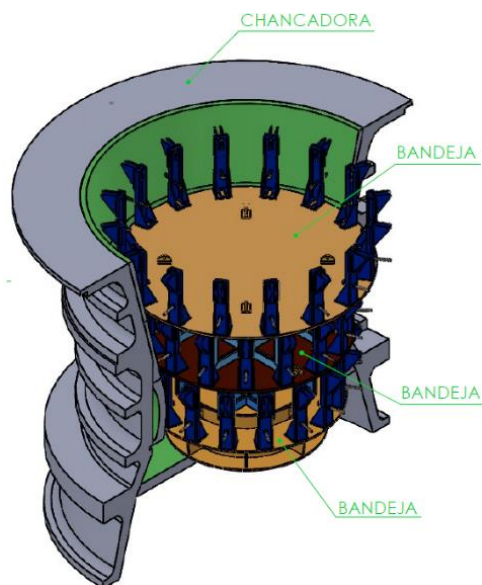
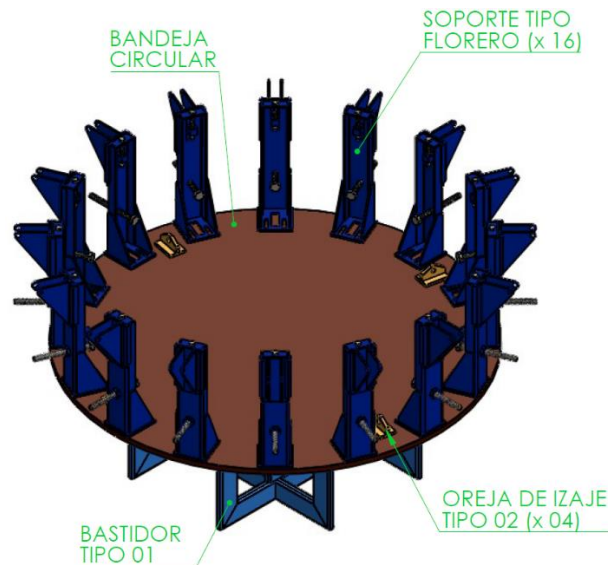


Figura 32. Disposición de las plataformas dentro de la chancadora.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Diseño

En la figura 33 se muestra el diseño final, donde se aprecia que esta cuenta con una plataforma circular con un bastidor soportante, así como 16 soportes para los revestimientos cóncavos.



Fuente 33. Diseño definitivo del bastidor que soporta la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.

##### 4.4.1. Diseño del aparejo estructural

###### a) Componente vertical del bastidor que soporta a la plataforma circular:

El diseño del bastidor se muestra en la figura 33, donde se observa que consta de doce elementos verticales a modo de columnas. Para efectos de cálculo, se asume que en cuatro de dichas columnas se concentran la carga total (revestimientos cóncavos, soportes y plataforma circular). El aparejo estructural tiene capacidad para 16 revestimientos cóncavos de 700 kg de peso cada uno (según especificaciones técnicas del fabricante FLSmith que se detallan en el Anexo 01). El aparejo estructural se fabricará utilizando materiales perfiles y planchas hechos a base del acero ASTM A36 y dado que

dicho acero estructural es excepcionalmente confiable y que las cargas que se aplicaran sobre la estructura generan esfuerzos que se pueden determinar con certeza, se va a asignar un factor de seguridad de  $F.S._{asignado} = 1.4$  (13); por ello el peso que se va a considerar por cada revestimiento cóncavo será de:

$$P = F.S._{asignado} * P_{c\acute{o}ncavo} = 1.4 * 700kg \cong 1000 kg$$

Como el aparejo estructural tendrá capacidad para 16 revestimientos cóncavos, el peso total con el que se iniciara el diseño es:

$$P_{Total} = P_{c\acute{o}ncavo} * N^{\circ}_{c\acute{o}ncavos} = 1000kg * 16 = 16000kg = 16 toneladas$$

Por lo tanto, el aparejo estructural soportara 16 toneladas.

En el almacén de la unidad minera se cuenta con diferentes perfiles estructurales nuevas a disposición que sobraron de la construcción de la planta concentradora. Para el componente vertical (columna) se eligió un perfil rectangular A36 donde la sección transversal tiene por medidas 6" x 3" x 3/8" y que además es la más liviana con la que se cuenta. Las especificaciones de dicho perfil se muestran en la figura 34.

| STRUCTURAL TUBING<br>Rectangular<br>Dimensions and properties |                   |                  |                  |                  |                  |                  |      |                  |                  |                  |      |                  |      |
|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------|
| Dimensions  |                   |                  |                  | Properties**     |                  |                  |      |                  |                  |                  |      |                  |      |
| Nominal*<br>Size  | Wall<br>Thickness | Weight<br>per ft | Area             | X-X Axis         |                  |                  |      | Y-Y Axis         |                  |                  |      | J                |      |
|   |                   |                  |                  | I                | S                | Z                | r    | I                | S                | Z                | r    |                  |      |
| in.   | in.               | lb               | in. <sup>2</sup> | in. <sup>4</sup> | in. <sup>3</sup> | in. <sup>3</sup> | in.  | in. <sup>4</sup> | in. <sup>3</sup> | in. <sup>3</sup> | in.  | in. <sup>4</sup> |      |
| 6x3   | 0.3750            | 3/8              | 19.82            | 5.83             | 23.8             | 7.92             | 10.4 | 2.02             | 7.78             | 5.19             | 6.34 | 1.16             | 20.3 |

Figura 34. Dimensiones y propiedades de un perfil rectangular A36 de medidas 6" x 3" x 3/8".

Fuente: American Institute of Steel Construction Inc. (20).

Al realizar los cálculos estructurales, de no ser el adecuado utilizaremos un perfil más robusto.

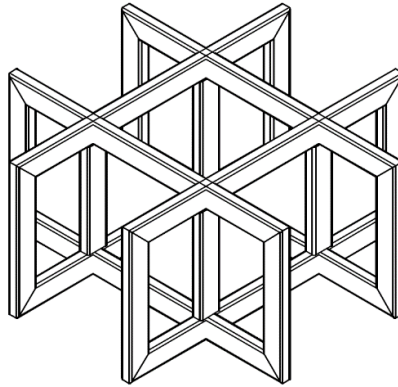


Figura 35. Diseño del bastidor que considera un perfil rectangular A36 de medidas 6" x 3" x 3/8".

Fuente: elaboración propia.

Según lo mencionado líneas arriba, el peso total que soportara el aparejo estructural es 16 toneladas, por ende, en cada uno de los cuatro soportes centrales en análisis se concentra una carga  $F_1 = 4000kg * 10 \frac{m}{s^2} = 40000N = 40kN$  que es producto de las 4 toneladas sobre dicho soporte. En la figura 36 se analiza el componente sombreado de gris.

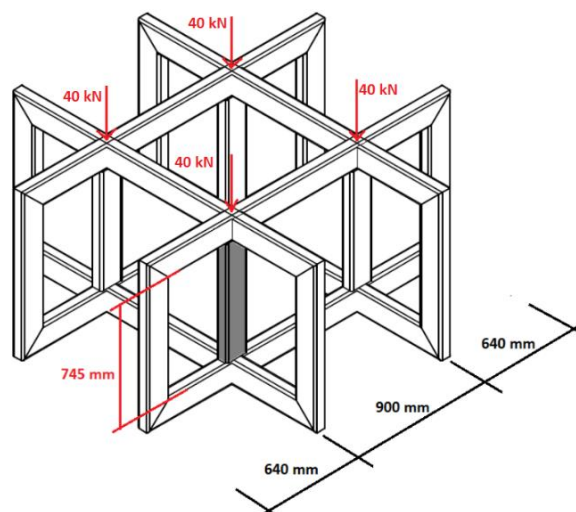


Figura 36. Componente vertical del bastidor sometido a una carga vertical de 4 t.

Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones de 640 mm, 900 mm y 745 mm que se muestra en la figura 36, la definen la geometría del interior de la chancadora, lo cual muestra que el aparejo estructural tiene que adaptarse. Realizando un análisis estático a una columna del bastidor que está sometida a una fuerza de 40 kN como se muestra en la figura 37, se tiene:

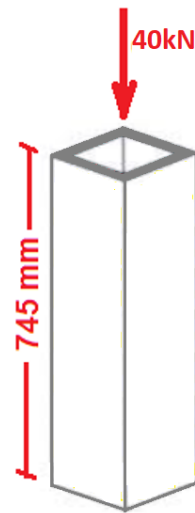


Figura 37. Componente vertical sometido a 40 kN con los extremos fijos.

Fuente: elaboración propia.

El área de la sección transversal del perfil rectangular de 6" x 3" x 3/8", se muestra en la figura 38. Entonces el área de dicha sección, considerando el espesor de 3/8" mm, es:

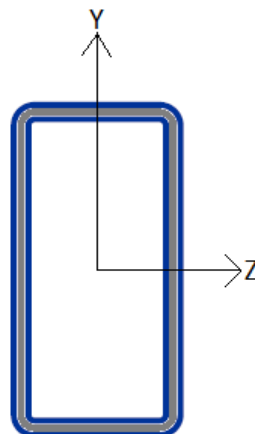


Figura 38. Sección transversal del perfil rectangular 6" x 3" x 3/8".

Fuente: elaboración propia.



$$A = 5.83 \text{ plg}^2 = 3.76 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

De la figura 34 se extrae los momentos de inercia  $I_z$  y  $I_y$  del área de la sección transversal del perfil rectangular 6" x 3" x 3/8".

$$I_z = 23.8 \text{ plg}^4 = 9.91 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_y = 7.78 \text{ plg}^4 = 3.24 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

También de la figura 34 se extrae los radios de giro  $r_z$  y  $r_y$  del área de la sección transversal del perfil rectangular 6" x 3" x 3/8":

$$r_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 2.02 \text{ plg} = 0.051 \text{ m}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.16 \text{ plg} = 0.03 \text{ m}$$

Para el cálculo del valor de la esbeltez de la columna, se considera el valor de radio de giro mínimo (12).

$$r = r_{min} = r_y = 0.03 \text{ m}$$

Las condiciones de extremo que se consideran en la columna, es que ambos extremos están fijos, por lo tanto  $k = 0.5$ . Entonces el valor de la esbeltez de la columna con  $L = 745 \text{ mm} = 0.745 \text{ m}$  es:

$$SR = \frac{KL}{r} = \frac{L_e}{r} = \frac{0.5 * 0.745 \text{ m}}{0.03 \text{ m}} = 12.42$$

Además, el valor de la constante de columna es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 (200 \text{ GPa})}{250 \text{ Mpa}}} = 125.6$$

Se observa que:  $SR < C_C$ .

Por lo tanto, se usa la fórmula de J. B. Johnson para el cálculo de la carga crítica sobre la columna (12).

$$P_{cr} = AS_Y \left[ 1 - \frac{S_Y(L_e/r)^2}{4\pi^2 E} \right] = 3.76 * 10^{-3} m^2 * 250 MPa \left[ 1 - \frac{250 MPa (12.42)^2}{4\pi^2 (200 GPa)} \right]$$
$$P_{cr} = 932.92 kN$$

Como  $P = 40 kN < P_{cr} = 932.92 kN$ , la columna no fallara por pandeo.

Calculo del esfuerzo normal debido a la única fuerza  $P = 40 kN$  en dirección axial de la columna.

$$\sigma_y = \frac{P}{A} = \frac{40 kN}{3.76 * 10^{-3} m^2} = 12 MPa$$

Como solo hay una fuerza en el eje vertical, el esfuerzo cortante  $\tau_{yz} \cong 0$ , el esfuerzo de Von Mises considerando  $\sigma_z = 0$  es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z^2 + 3\tau_{yz}^2} = \sqrt{\sigma_y^2 + 3\tau_{xz}^2}$$
$$\sigma' = \sqrt{12^2} = 12 MPa$$

El factor de seguridad, considerando que el acero ASTM A36 tiene un esfuerzo mínimo a la fluencia de  $S_Y = 250 MPa$ :

$$F.S. = \frac{S_Y}{\sigma'} = \frac{250 MPa}{12 kN} = 21$$

- Simulación: a modo de contrastar los valores obtenidos analíticamente, se realiza la simulación usando un software de diseño mecánico llamado SolidWorks.

- Esfuerzos: en la figura 39 se muestra los resultados de la simulación donde se observa que debido la fuerza  $P = 40kN$  se genera un esfuerzo máximo (Von Mises) de  $\sigma = 13.5 MPa$  situado en la base de la columna.

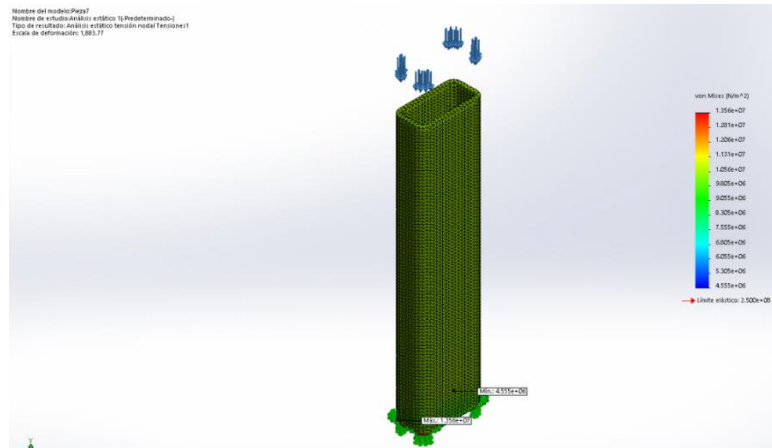


Figura 39. Análisis del esfuerzo en el componente columna.

Fuente: elaboración propia.

- Desplazamiento: en la figura 40 se muestra los resultados de la simulación donde debido a la fuerza  $P = 40kN$  se genera un desplazamiento máximo de  $0.0395 mm$  situado en la parte superior de la columna.

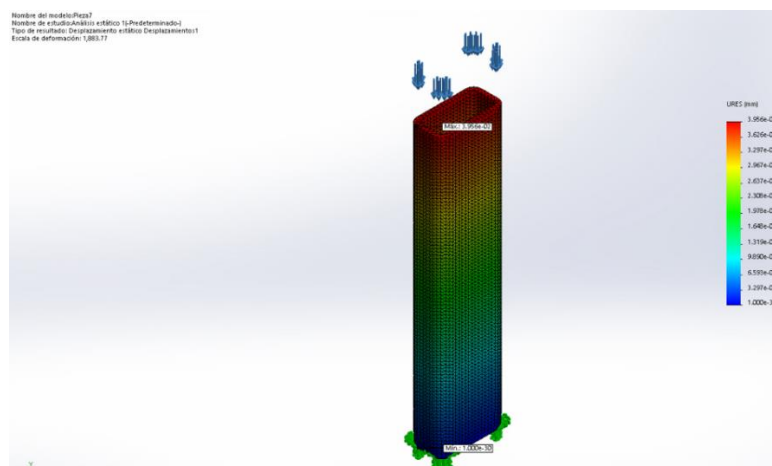


Figura 40. Análisis del desplazamiento en el componente columna.

Fuente: elaboración propia.

- Factor de seguridad: en la figura 41 se muestra los resultados de la simulación, observándose que, cuando se aplica una fuerza  $P = 40kN$ , la columna muestra un factor de seguridad mínimo de  $F.S. = 18.44$ .

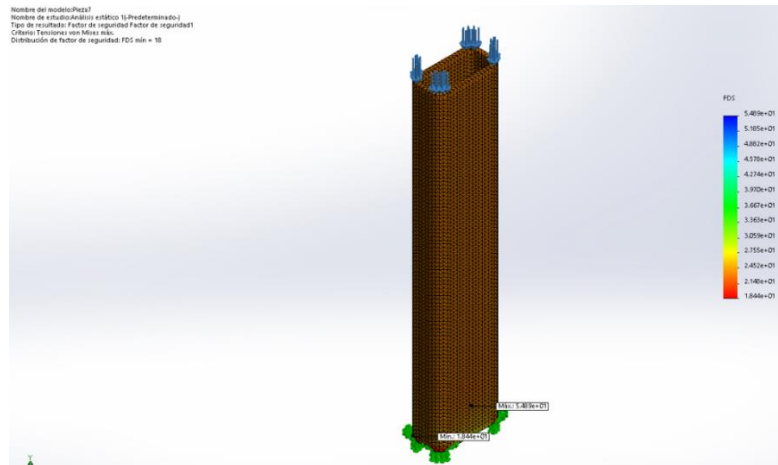


Figura 41. Análisis del factor de seguridad en el componente columna.

Fuente: elaboración propia.

- Conclusión: se observa que el componente de la columna que está sometido a  $P = 40 kN$  muestra un factor de seguridad de  $F.S. = 21$  calculado analíticamente, mientras que el software SolidWorks calcula un factor de seguridad  $F.S. = 18.44$  (valores muy cercanos). Por tanto, se asegura que el componente no fallará.
- b) Componente horizontal del bastidor:

Este componente viga también es de perfil rectangular A36 de 6" x 3" x 3/8" y soporta a la plataforma circular. Para el análisis se considera a una de las cuatro vigas que tiene el bastidor soporte. En la figura 42, de color gris se muestra la viga que se va a analizar y que está sometida a una carga distribuida que se genera debido a las 4 toneladas en toda su longitud.

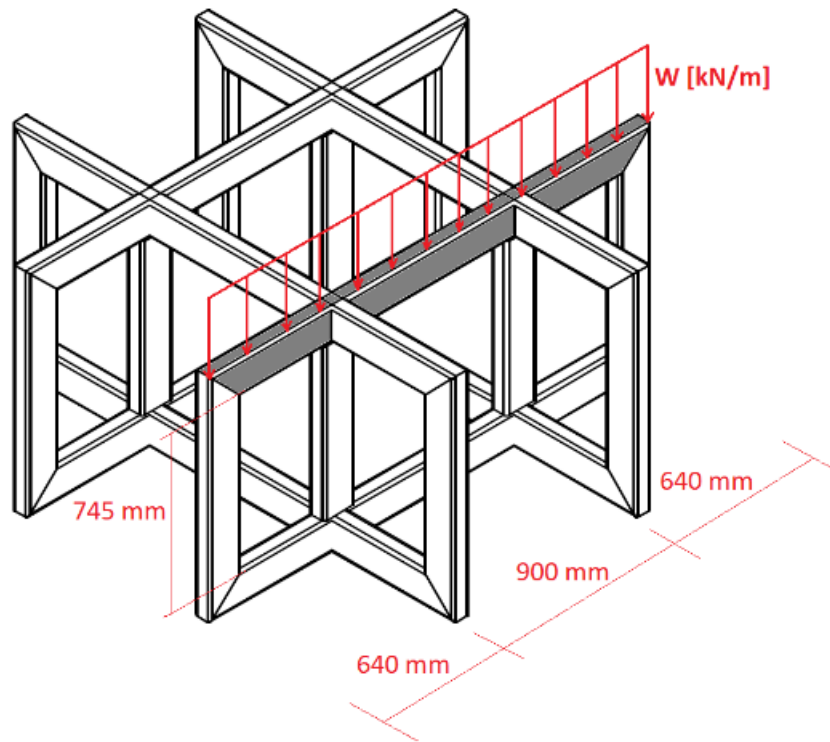


Figura 42. Análisis del componente viga del bastidor.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 43, se muestra la carga de 4 toneladas distribuida en toda la longitud de 2 180 mm del componente viga y se representa con  $W$ . Su valor es:

$$W = \frac{F}{L} = \frac{40kN}{2.18 m} = 18.35kN/m$$

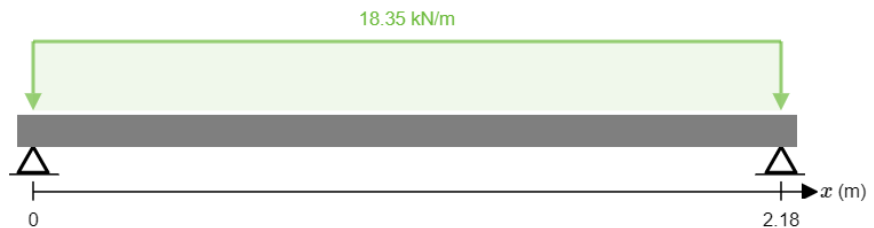


Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del componente horizontal sometido a una carga distribuida de 18.35 kN/m.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 44 se muestra el diagrama de cuerpo libre del componente viga donde se reemplaza la carga distribuida por una fuerza concentrada en el centro de la viga. Se realiza el cálculo de las reacciones en los extremos.

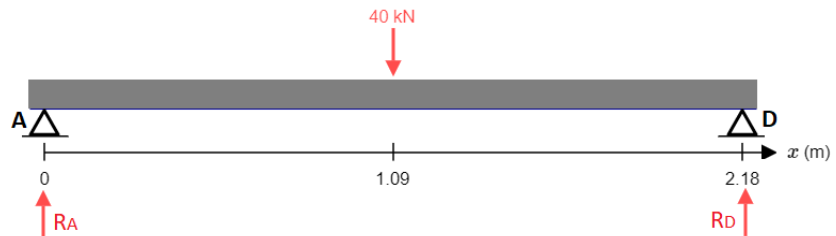


Figura 44. Diagrama de cuerpo libre del componente horizontal sometido a una carga concentrada de 40 kN.

Fuente: elaboración propia.

Suma de fuerzas en el eje y:

$$\uparrow (+) \sum F_y = 0$$

$$R_A - 40kN + R_D = 0$$

$$R_A + R_D = 40kN \dots \dots \dots (1)$$

Suma de momentos con respecto al punto A:

$$\sum M_A = 0$$

$$-40 * 1.09 + R_D * 2.18 = 0$$

$$R_D = 20kN$$

Reemplazando este valor en la ecuación (1), se tiene:

$$R_A = 20kN$$

En la figura 45 se muestra las gráficas de fuerza cortante y momento flector de la viga en estudio.

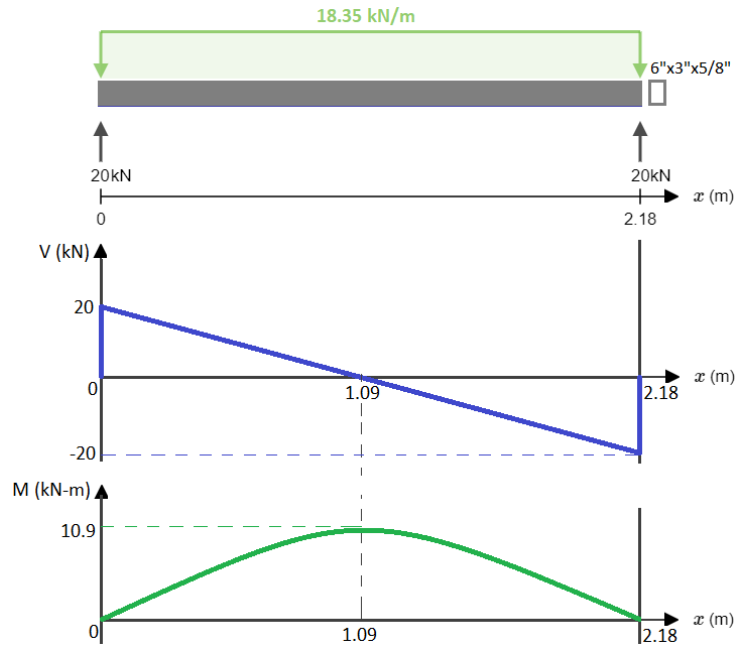


Figura 45. Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la fuerza distribuida sobre el componente viga.

Fuente: elaboración propia.

De la figura 45, se obtiene la fuerza cortante máxima y el momento flector máximo, las cuales son:

$$V_{max} = 20 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 10.9 \text{ kN} - \text{m}$$

En la figura 38 se muestra la sección transversal donde la distancia al eje neutro es:

$$c = \frac{6''}{2} = \frac{0.1524 \text{ m}}{2} = 0.0762 \text{ m}$$

Con esos datos se realiza el cálculo de esfuerzo normal máximo en el componente viga.

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(10.9 \text{ kN} \cdot \text{m}) \times (0.0762 \text{ m})}{9.91 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 83.8 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del esfuerzo cortante  $\tau_{xy}$ , se realiza el análisis en el centro del perfil (eje neutro), lugar donde se presenta el esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$ .

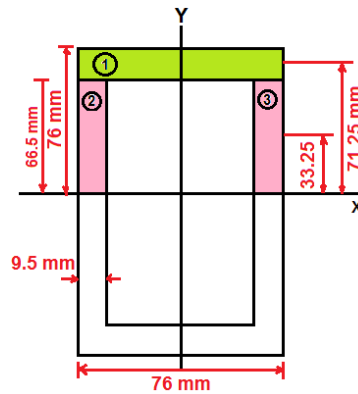


Figura 46. Perfil rectangular para el cálculo del primer momento de área.

Fuente: elaboración propia.

El valor el primer momento de área considerando las áreas sombreadas (1), (2) y (3) sobre el eje X de la figura 46, se tiene:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_1 + 2Q_2 = A_1 * \bar{Y}_1 + 2 * A_2 * \bar{Y}_2$$

$$Q = (0.076m \times 0.0095m) \times 0.07125m + 2(0.0665m \times 0.0095m) \times 0.0335m$$

$$Q = 9.4 \times 10^{-5} m^3$$

Para el valor del espesor  $t$  de la sección transversal del perfil rectangular, se considera los dos componentes verticales de dicha sección, es decir:

$$t = 2 * 3/8" = 2 \times 0.0095m = 0.019m$$

Además, el valor de la fuerza cortante máxima es:  $V = V_{max} = 20 \text{ kN}$ .

Reemplazando todos los valores obtenidos anteriormente en la ecuación del esfuerzo cortante, se tiene:

$$\tau_{xy} = \frac{VQ}{It} = \frac{(20 \text{ kN}) \times (9.4 \times 10^{-5} m^3)}{(9.91 * 10^{-6} m^4) \times (0.019 m)} = 9.96 \text{ MPa}$$



Con los valores de esfuerzo normal  $\sigma_x$  y esfuerzo cortante  $\tau_{xy}$ , se determina el esfuerzo de Von Mises en el plano, teniendo en cuenta que  $\sigma_y = 0$ :

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{83.8^2 + 3 * 9.96^2} = 85.56 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad, considerando que el acero ASTM A36 tiene un esfuerzo mínimo a la fluencia de  $S_Y = 250 \text{ MPa}$ :

$$F.S. = N = \frac{S_Y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ MPa}}{85.56 \text{ MPa}} = 2.92$$

- Simulación: a modo de contrastar los valores obtenidos analíticamente, se realiza la simulación usando un software de diseño mecánico llamado SolidWorks.
- Esfuerzos: en la figura 47 se muestra los resultados de la simulación donde se observa que la fuerza distribuida  $W = 18.35 \text{ kN} - m$  producto de  $P = 40 \text{ kN}$  genera un esfuerzo máximo (Von Mises) de  $\sigma = 114.1 \text{ MPa}$  situado en los extremos del componente viga.

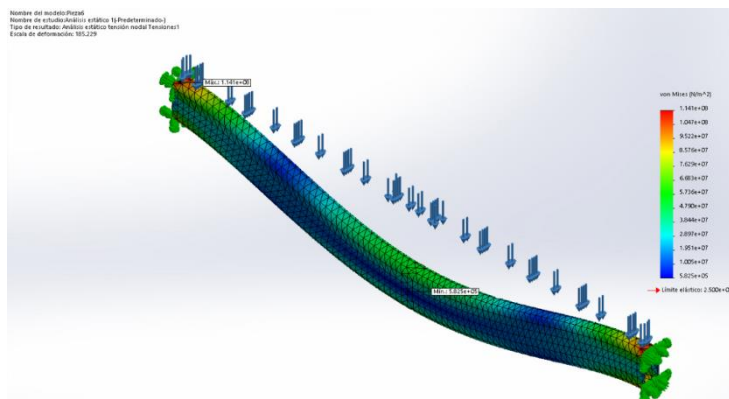


Figura 47. Simulación de esfuerzos sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de  $W = 18.35 \text{ kN/m}$ .

Fuente: elaboración propia.

- Desplazamiento: en la figura 48 se muestra los resultados de la simulación de deformaciones, donde se observa que la fuerza distribuida  $W = 18.35 \text{ kN} - m$  producto de  $P = 40 \text{ kN}$  genera un desplazamiento máximo de  $1 \text{ mm}$  ubicado en la parte central.

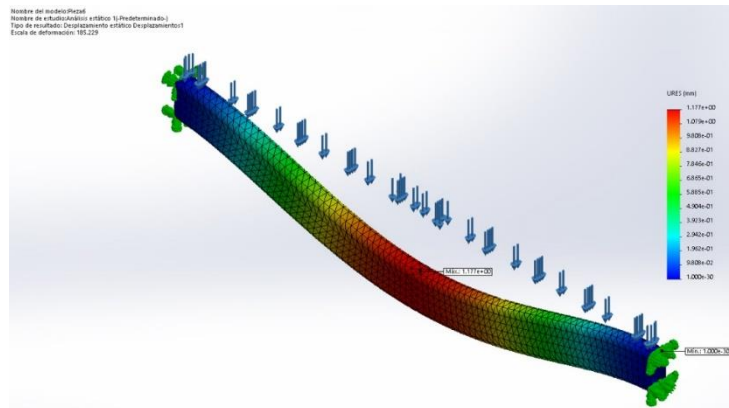


Figura 48. Simulación de deformación sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de  $W = 18.35 \text{ kN}/m$ .

Fuente: elaboración propia.

- Factor de seguridad: en la figura 49 se muestra los resultados de la simulación, observándose que la fuerza distribuida  $W = 18.35 \text{ kN} - m$  producto de  $P = 40 \text{ kN}$  genera un factor de seguridad mínimo de  $F.S. = 2.19$ .

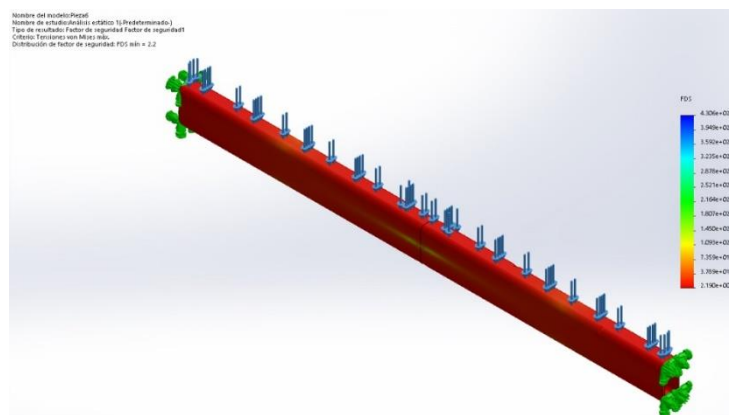


Figura 49. Simulación de factor de seguridad sobre el componente viga bajo la fuerza distribuida de  $W = 18.35 \text{ kN}/m$ .

Fuente: elaboración propia.

- Conclusión: se observa que el componente viga sometido a una fuerza distribuida  $W = 18.35 \text{ kN} - \text{m}$  producto de  $P = 40 \text{ kN}$  muestra un factor de seguridad de  $F.S. = 2.92$  calculado analíticamente, mientras que el software SolidWorks calcula un factor de seguridad  $F.S. = 2.19$  (valores muy cercanos); por tanto, se asegura que el componente no fallará.

c) Análisis del bastidor como sistema usando el software SolidWorks:

De acuerdo a la evaluación analítica, se concluye que el perfil seleccionado, así como la geometría del bastidor es la correcta. Seguidamente, se realiza el análisis usando el software SolidWorks, pero esta vez se estudia a todo el bastidor como sistema como se muestra en la figura 50. Se realiza el análisis de esfuerzos, flexión y factor de seguridad considerando una carga de 16 toneladas distribuidas en la cara plana superior del bastidor.

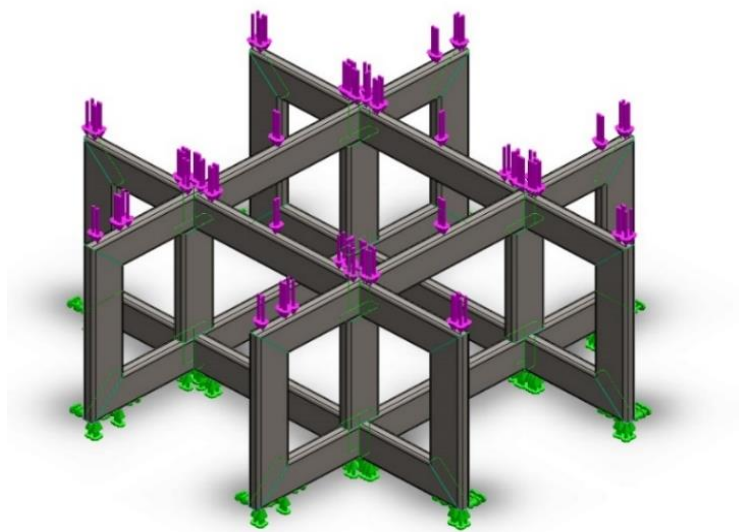


Figura 50. Análisis del bastidor como sistema mediante el software SolidWorks.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de esfuerzos en el bastidor: el análisis estático de esfuerzos del bastidor como sistema se muestra en la figura 51, donde se observa un esfuerzo máximo (Von Mises) de

503.364  $Mpa$ , que es mucho menor que el límite elástico del material 2549.291  $Mpa$ . Este valor nos indica que el perfil elegido es el correcto.

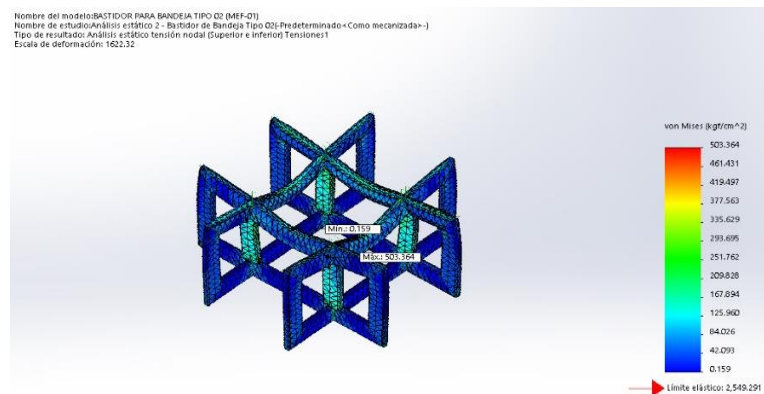


Figura 51. Análisis de esfuerzos mediante el software SolidWorks.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de flexión en el bastidor: el análisis estático del bastidor como sistema se muestra en la figura 52, donde se observa una flexión máxima de 0.113  $mm$  ubicado en la parte central superior de la estructura. El desplazamiento en mención no es relevante. Este valor nos indica que el perfil elegido es el correcto. Se puede cambiar a un perfil más robusto, pero no es necesario y si se hiciera así solo se conseguiría que la estructura sea mucho más pesada innecesariamente.

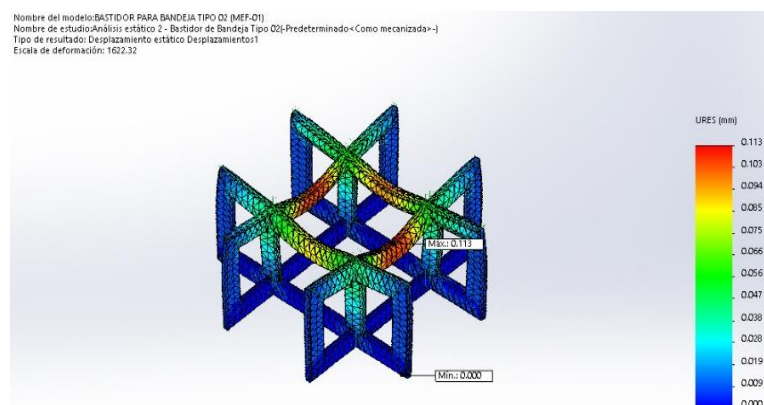


Figura 52. Análisis de flexión mediante el software SolidWorks.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis del factor de seguridad en el bastidor: en la figura 53, se observa que el análisis del factor de seguridad del bastidor en su conjunto arroja como resultado valores por encima de  $F.S. = 5.1$ , lo cual indica que el perfil elegido, así como el diseño es el correcto.

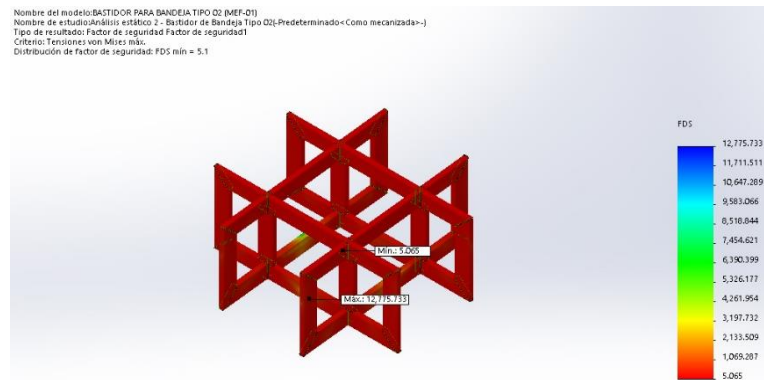


Figura 53. Análisis del factor de seguridad mediante el software SolidWorks.

Fuente: elaboración propia.

d) Plataforma circular:

Para la plataforma circular se elige una plancha de acero A36 de espesor 1-1/2" que es la más liviana con la que se cuenta en el almacén de estructuras nuevas sobrantes de la construcción de la planta concentradora. El diámetro y la forma circular es determinada por las características dimensionales y geométricas de la parte interna de la chancadora giratoria 6" x 113". Esta plataforma alojara a los 16 soportes en su periferia repartidos simétricamente, entonces sobre la plataforma se ejercen 16 fuerzas (cada una de  $P = 700\text{kg} * 10\text{ m/s}^2 = 7\text{ kN}$ ) con dirección vertical hacia abajo. Para efectos del diseño se considera que cada fuerza será de 1 tonelada verticalmente hacia abajo y 4 fuerzas (reacciones del bastidor soporte) de 40 kN hacia arriba distribuidos simétricamente, esto se muestra con puntos en la figura 54. Si el análisis demuestra que la plancha elegida no es la correcta, se evaluará una más robusta el cual también tendrá que ser analizada.

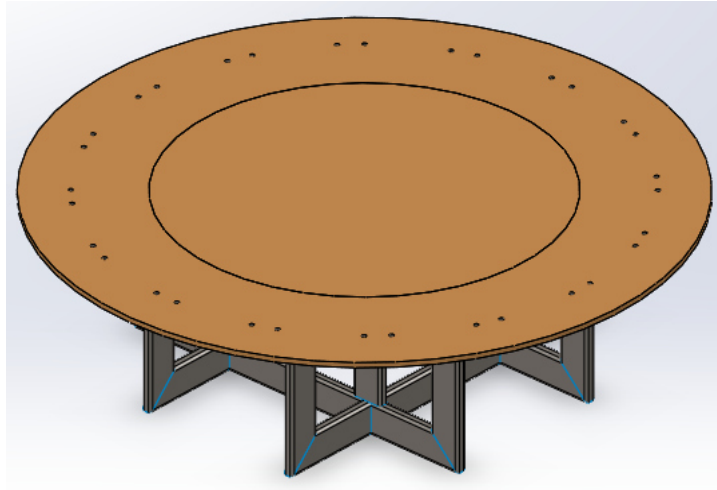


Figura 54. Plataforma circular sobre el bastidor.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 55 se muestra una vista de planta de la plataforma circular, en el cual se representa con una “x” a las fuerzas verticales hacia abajo y con un punto “.”, a las fuerzas verticales hacia arriba. Así también, las medidas de los radios que se indican, son el resultado de la geometría interior de la chancadora giratoria 60” x 113”.

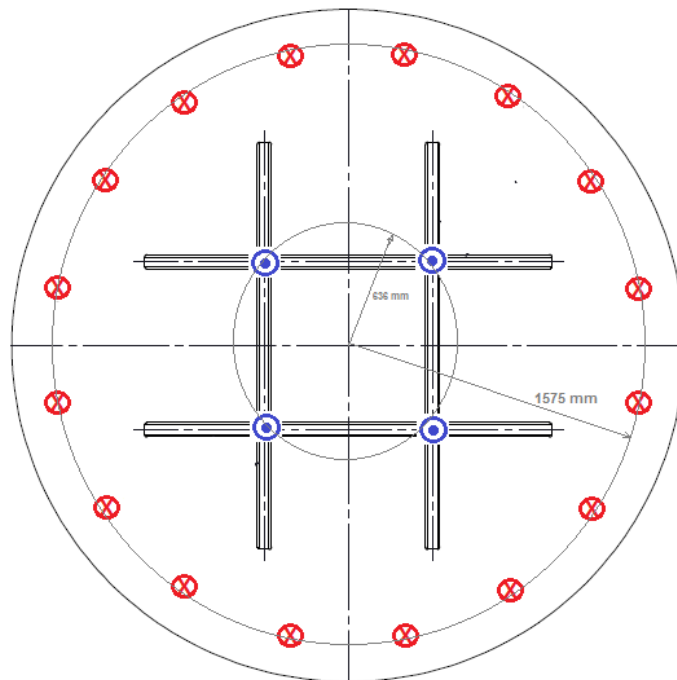


Figura 55. Vista de planta de la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.

e) Análisis de la plataforma circular usando software SolidWorks:

En el presente trabajo de investigación, la plataforma circular será analizada mediante el software de SolidWorks. El análisis comprende el estudio de los esfuerzos, la flexión y el factor de seguridad.

- Análisis de esfuerzos en la plataforma circular: en la figura 56 muestra el resultado de la simulación de la plataforma circular sometido a cargas debido a los 16 revestimientos cóncavos. Se observa un esfuerzo máximo de  $120.0996 \text{ MPa}$ , pero el material resiste hasta  $254.9291 \text{ MPa}$ .

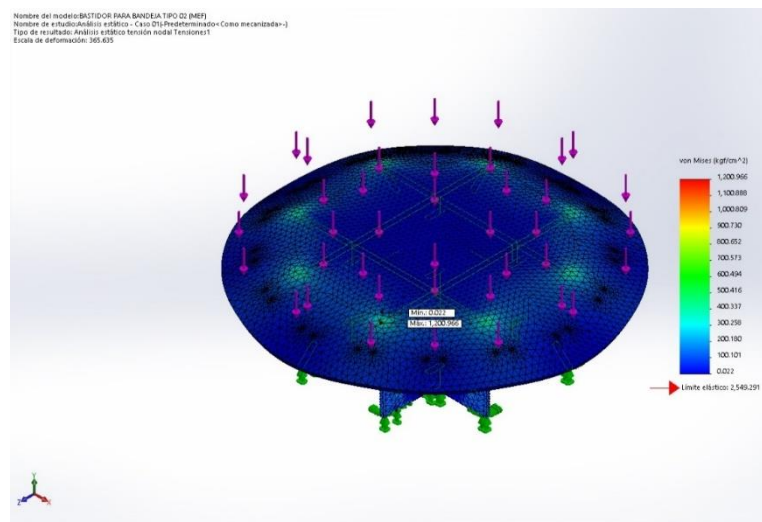


Figura 56. Análisis de esfuerzos en la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de flexión en la plataforma circular: en la figura 57 se muestra el análisis de la flexión debido a las cargas sobre la plataforma circular muestra un desplazamiento de  $0.794 \text{ mm}$  considerando una plancha de acero A36 de  $1\text{-}1/2\text{'}$ . Este desplazamiento es aceptable, pero se podría usar una plancha de acero A36 de  $2\text{'}$  obteniendo mejores resultados, sin embargo, la estructura sería muy pesada, lo cual no es práctico e innecesario.

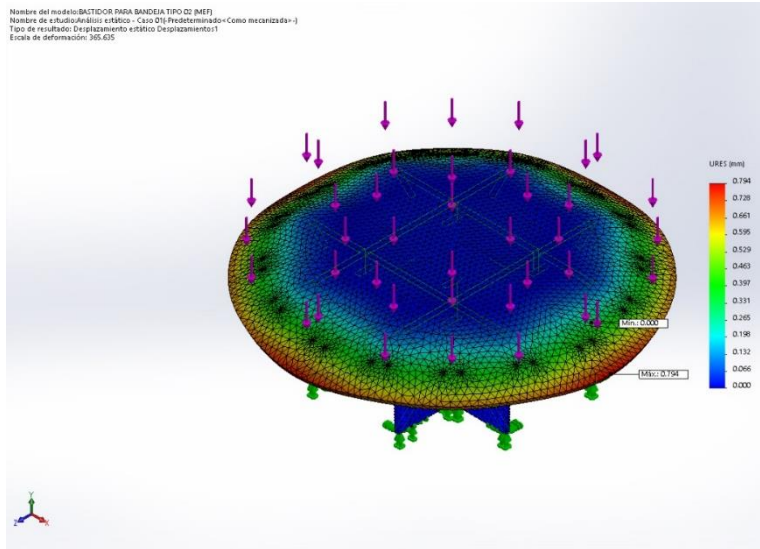


Figura 57. Análisis de la flexión en la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.

- Factor de seguridad: en la figura 58 se muestra los valores obtenidos para el factor de seguridad, observando que están por encima de  $F.S. = 1.776$  lo cual es aceptable considerando que se asumió el peso del revestimiento cóncavo como 1 000 kg cuando en realidad pesa 700 kg. Se podría realizar nuevamente la simulación con el peso real de dicho revestimiento y se obtendría factores de seguridad superiores.

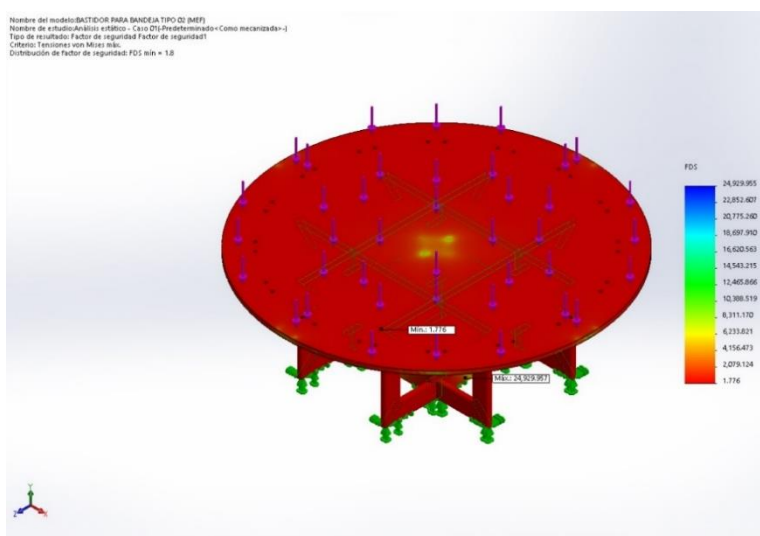


Figura 58. Análisis del factor de seguridad en la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.



f) Soporte de revestimiento cóncavo:

En la figura 59 se muestra el diseño del mecanismo que sujetará al revestimiento cóncavo considera dos tornillos de rosca cuadrada, uno vertical que sujeta todo el peso del revestimiento cóncavo y lo traslada hacia arriba o hacia abajo y otro horizontal de mayor diámetro (para aumentar el área de contacto contra el revestimiento cóncavo), el cual servirá para el movimiento y sujeción en el eje horizontal. Este mecanismo estará sujeto a la plataforma circular analizada líneas arriba, considerándose en total 16 soportes instaladas en toda la periferia de la plataforma.

El soporte será fabricado de plancha de ASTM A36 de espesores 3/8", 5/8", 3/4", 1/2" y 2" de espesor y ángulo de 2" x 2" x 3/8". El diseño de la forma obedece a una exigencia de poder desplazar al revestimiento cóncavo tanto en la vertical como en la horizontal. El diseño considera un mecanismo triangular unido a un tornillo vertical que sube y baja cuando se le ejerce un par torsional a dicho tornillo. El tornillo horizontal tiene que ser de una sección mayor y estar dispuesto horizontalmente con la finalidad de solo empujar al revestimiento cóncavo, la mayor área de la sección transversal es porque la cara del tornillo estará en contacto con la cara del revestimiento cóncavo y por estar girando el tornillo a medida que empuje al revestimiento cóncavo, se podría dañar.

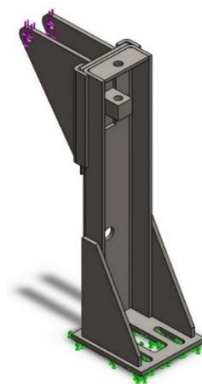


Figura 59. Soporte del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de esfuerzos en el soporte de revestimiento cóncavo: En la figura 60 se muestra el análisis de esfuerzos en el soporte donde se observa un esfuerzo máximo de  $99.3243 \text{ MPa}$  siendo el máximo permisible para el acero ASTM A36 de  $254.9291 \text{ MPa}$ .

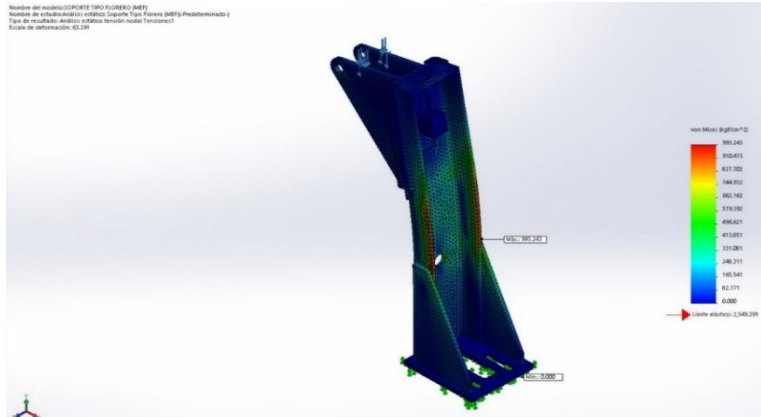


Figura 60. Análisis de esfuerzos del soporte del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de flexión en el soporte de revestimiento cóncavo: en la figura 61 se observa el análisis de desplazamientos debido a la flexión del soporte del revestimiento cóncavo. Obteniendo un desplazamiento máximo de  $1.5 \text{ mm}$ , lo cual es aceptable. Otra simulación que considera el peso verdadero del revestimiento cóncavo mostraría valores del orden de decimas de milímetro.

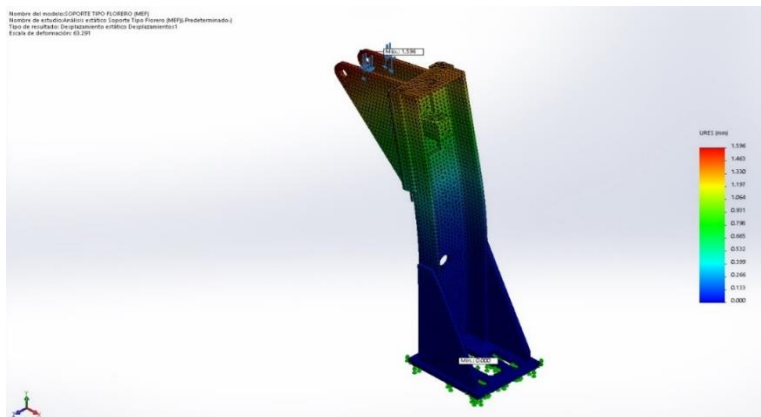


Figura 61. Análisis de flexión del soporte del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

- Factor de seguridad en el soporte del revestimiento cóncavo: en la figura 62 se muestra el factor de seguridad que resulta del análisis, observando valores por encima de  $F.S. = 2.567$ , lo cual es aceptable.

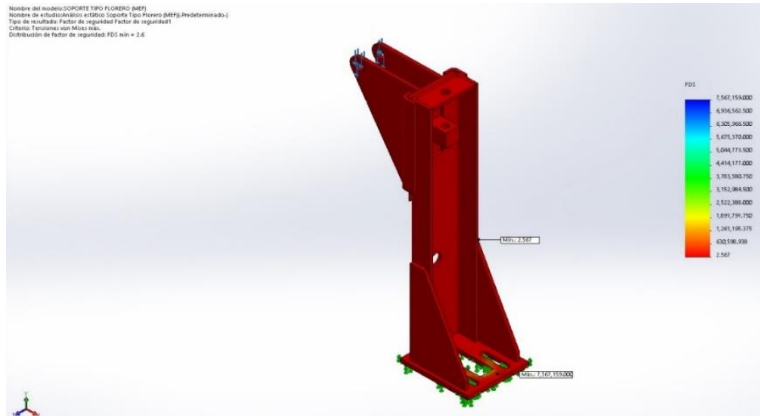


Figura 62. Análisis del factor de seguridad del soporte del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

g) Tornillo vertical:

Para el análisis del diseño del tornillo vertical que se muestra en la figura 63, se utilizó la teoría de tornillo de potencia para una rosca cuadrada. Este tornillo se encargará de subir y bajar al revestimiento cóncavo de peso 1 000 kg.

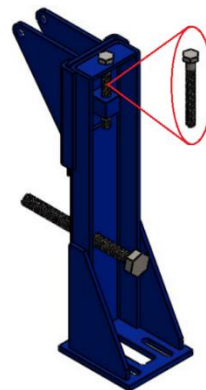
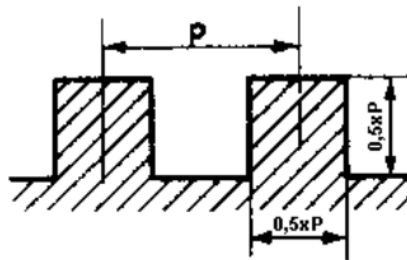


Figura 63. Tornillo vertical para movimiento del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

En el almacén de la unidad minera, se cuenta con ejes de  $\phi = 7/8'' = 0.022m$  fabricadas de acero SAE 1 045 el cual será torneado para la posición vertical. También se cuentan con tuercas de 1-1/4" que servirán para la fabricación del tornillo. Estas medidas se adaptan a las herramientas con que se cuentan en el área de mantenimiento como es una pistola neumática de impacto 1" y dado hexagonal de 1-1/4" con encastre de 1". Además, se tuvo en cuenta la consideración que muestra la figura 64.



**Rosca cuadrada**  
 $P = 0,2 \times \text{Diámetro del tornillo.}$

Figura 64. Rosca cuadrada.

Fuente: Casillas (21).

Para el diseño del tornillo de potencia de rosca cuadrada de  $\phi = 7/8''$  primero se calcula los parámetros de rosca utilizando la figura 65.

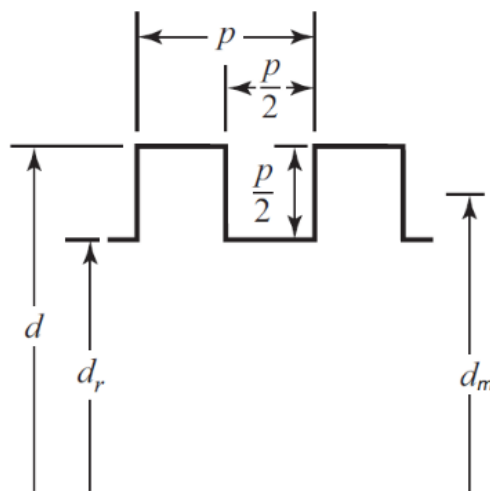


Figura 65. Collarín o cojinete de empuje.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

De la imagen anterior:

- Paso de tornillo:  $p = 0.2 * d = 0.2 * 7/8" = 0.2 * 0.022m = 0.0044 m$ .
- Diámetro medio:  $d_m = d - \frac{p}{2} = 0.022m - \frac{0.0044m}{2} = 0.0176 m$
- Avance de tornillo:  $l = n * p = 1 * 0.0044m = 0.0044 m$  (tornillo simple).
- Diámetro de raíz:  $d_r = d - p = 0.022 - 0.0044m = 0.0176 m$
- Coeficiente de fricción:  $f = 0.08$

El par de torsión para subir la carga  $F = 1\ 000kg * 10\ m/s^2 = 10\ kN$  se calcula como sigue:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right)$$
$$T_R = \frac{10000N \times 0.0176m}{2} \left( \frac{0.0044 + \pi \times 0.08 \times 0.0176}{\pi \times 0.0176 - 0.08 \times 0.0044} \right) = 14.133\ N - m$$

Esfuerzo nominal cortante  $\tau$  en torsión en el cuerpo del tornillo debido a la carga del peso del revestimiento cóncavo:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_r^3} = \frac{16 * 14.133N - m}{\pi \times 0.0176^3 m^3} = 13.39\ MPa$$

El esfuerzo nominal axial en el cuerpo del tornillo debido a la carga del peso del revestimiento cóncavo:

$$\sigma = -\frac{4F}{\pi d_r^2} = \frac{-4 \times 10000N}{\pi \times 0.0176^2 m^2} = -41.11\ MPa$$

Para el cálculo de los esfuerzos nominales en la rosca del tornillo se considera la figura 66.

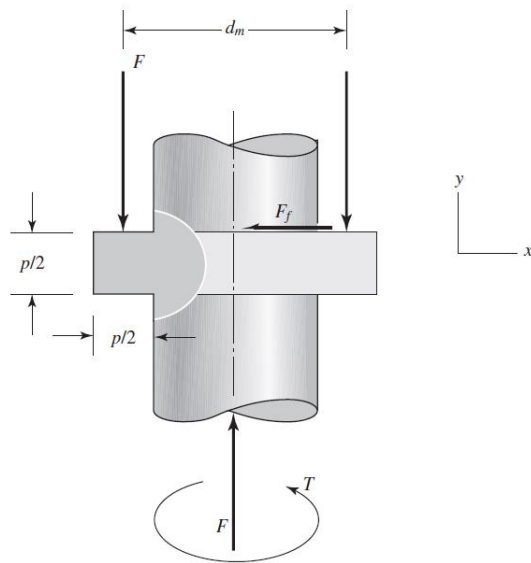


Figura 66. Geometría de rosca cuadrada.

Fuente: Budynas y Nisbett (10).

En un tornillo de potencia, experimentalmente se encontró que la primera rosca en contacto soporta 0.38 de la carga  $F$ , la segunda 0.25 de  $F$  y la tercera 0.18 de  $F$  y la séptima está libre de carga. Entonces al estimar para el cálculo de esfuerzos de las tuercas se usa las ecuaciones haciendo la sustitución de  $0.38F$  por  $F$  y  $n_t = 1$ . Con ello se obtiene el nivel máximo de esfuerzos en la interacción de la rosca con la tuerca (10).

El esfuerzo de apoyo  $\sigma_B$  con una rosca  $n_t = 1$  que soporta  $0.38F$  en la figura 66 es:

$$\sigma_B = -\frac{F}{\pi d_m n_t p/2} = \frac{-2 * 0.38 * 10000N}{\pi * 0.0176m * 1 * 0.0044m} = -31.24 MPa$$

El esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca  $\sigma_b$  con una rosca  $n_t = 1$  que soporta  $0.38F$  en la figura 66 es:

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi d_r n_t p} = \frac{6 * 0.38 * 10000N}{\pi * 0.0176m * 1 * 0.0044m} = 93.72 MPa$$

Del esfuerzo cortante transversal en el extremo de la sección transversal de la raíz a causa de la flexión es  $\sigma_z = 0$  y teniendo en cuenta los ejes coordenados de la figura 66, los esfuerzos tridimensionales son:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 97.72 \text{ MPa} & \tau_{xy} &= 0 \\ \sigma_y &= -41.11 \text{ MPa} & \tau_{yz} &= 13.39 \text{ MPa} \\ \sigma_z &= 0 & \tau_{zx} &= 0\end{aligned}$$

El esfuerzo de Von Mises  $\sigma'$  es:

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{1}{\sqrt{2}} \{(97.72 - 0)^2 + [0 - (-41.11)]^2 + (-41.11 - 97.72)^2 + 6(13.39)^2\}^{1/2} \\ \sigma' &= 125.68 \text{ MPa}\end{aligned}$$

El factor de seguridad, considerando que el acero SAE 1045 tiene un esfuerzo mínimo a la fluencia de  $S_Y = 413 \text{ MPa}$ :

$$F.S. = N = \frac{S_Y}{\sigma'} = \frac{413 \text{ MPa}}{125.68 \text{ MPa}} = 3.29$$

- Conclusión: se observa que el  $F.S. = 3.29$  asegura el tornillo de  $\varnothing = 7/8"$  no tendrá ningún problema al levantar el revestimiento cóncavo de 1 000 kg.

h) Tornillo horizontal:

En el almacén de la unidad minera se cuenta con ejes de 1-1/2" de acero SAE 1 045 el cual se usará para la fabricación del tornillo que empujará al revestimiento cóncavo en dirección horizontal. La sección transversal que tiene este tornillo es de mayor área que el tornillo vertical, ello sirve para que la cara del tornillo que tendrá contacto con la cara del revestimiento cóncavo sea la mayor posible y así evitar que la rosca se dañe al ser usado. Este tornillo estará sometido a menores esfuerzos en comparación al tornillo vertical, por ello no sufrirá ningún daño.



Figura 67. Tornillo vertical para movimiento del revestimiento cóncavo.

Fuente: elaboración propia.

- Conclusión: el tornillo horizontal de diámetro  $\varnothing = 1.5''$  sirve para empujar al revestimiento cóncavo, aplicándosele un par torsor mucho menor que el que se aplica al tornillo vertical, además este tornillo no soporta el peso del revestimiento cóncavo. Por lo tanto, el tornillo no tendrá problemas cuando sea usado.

i) Análisis del aparejo como sistema:

Después de haber analizado cada componente independientemente, ahora se realiza el análisis al aparejo en su conjunto, donde se considera el peso de cada revestimiento cóncavo (1 tonelada) concentrado en cada uno de los dieciséis soportes con dirección vertical hacia abajo.

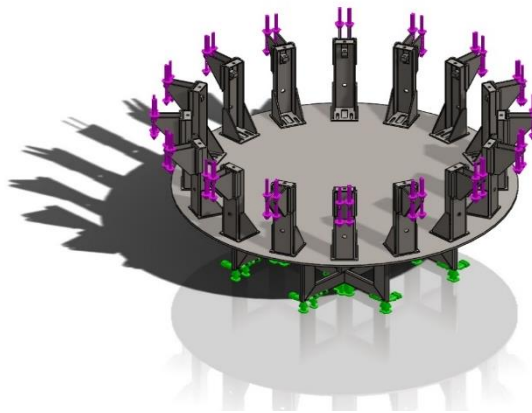


Figura 68. Simulación de fuerzas sobre el aparejo estructural.

Fuente: elaboración propia.





- Factor de seguridad en el aparejo estructural: en la figura 71 se muestra el factor de seguridad que resulta del análisis, observando valores por encima de  $F.S. = 3.121$ , lo cual es aceptable.

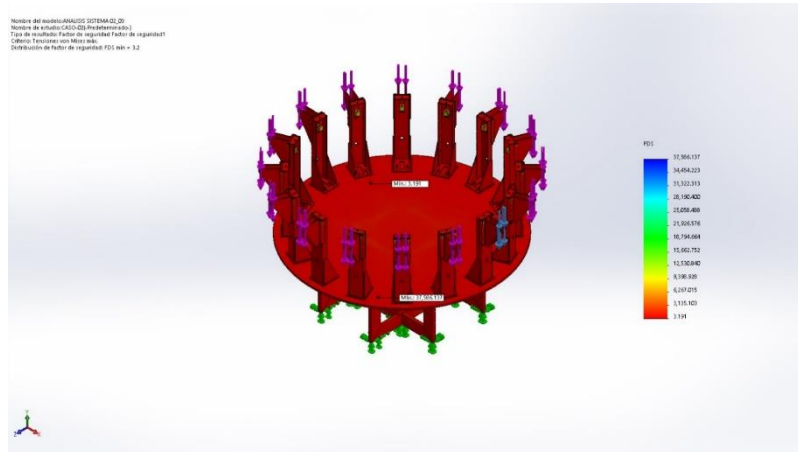


Figura 71. Análisis del factor de seguridad del aparejo estructural.

Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO V**

### **CONSTRUCCIÓN**

#### 5.1. Construcción

- Diagrama de análisis de proceso:

En la siguiente tabla se muestra el Diagrama de Análisis de Proceso donde se expone el detalle del proceso de fabricación que se propone; se observa la secuencia total de las operaciones, el transporte, las demoras, la inspección y el almacenamiento. Con esta información se realiza el análisis del tiempo necesario y la distancia recorrida principalmente, analizar los acontecimientos de manera sistemática y reducir las demoras.

Se realizó una evaluación optimizando el tiempo en varias horas durante el proceso de operación principalmente donde se establece la participación de cuatro soldadores homologados adicionales, también se va a optimizar la inspección del producto terminado, así como su almacenaje.

Tabla 09. Análisis económico de los conceptos de solución.

| Datos Generales |      |                                    |       |       |     | Resumen                    |                |  |    |            |           |    |        |           |
|-----------------|------|------------------------------------|-------|-------|-----|----------------------------|----------------|--|----|------------|-----------|----|--------|-----------|
| Empresa:        |      | Minera Las Bambas                  |       |       |     | Proceso Actual             |                | Proceso Propuesto  |    | Diferencia |           |    |        |           |
| Departamento:   |      | Mantenimiento                      |       |       |     | N°                         | Tiempo         | Distancia  | N° | Tiempo     | Distancia | N° | Tiempo | Distancia |
| Proceso:        |      | Fabricación de aparejo estructural |       |       |     | Operación                  | 10             | 272  | 10 | 250        | 100       | 10 | 22     | 0         |
| Inicia:         |      |                                    |       |       |     | Transporte                 | 2              |  | 2  |            | 100       | 2  |        |           |
| Finaliza:       |      |                                    |       |       |     | Inspección                 | 1              | 8  | 1  | 4          |           | 1  | 4      |           |
| Elabora:        |      | Wilson Quispe Yupanqui             |       |       |     | Demora                     | 1              | 16   | 1  | 16         |           | 1  | 0      |           |
| Fecha:          |      |                                    |       |       |     | Almacenaje                 | 1              | 4  | 1  | 2          |           | 1  | 2      |           |
| Actividad       |      |                                    |       |       |     | Diagrama de Proceso Actual |                | Observaciones  |    |            |           |    |        |           |
| N°              | Oper | Ins                                | Trans | Demor | Alm | Tiempo (hora)              | Distancia (km) |  |    |            |           |    |        |           |
| 1               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 4                          |                | Selección de las estructuras (planchas y perfiles) en el almacén de la planta. |    |            |           |    |        |           |
| 2               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 8                          |                | Acarreo del material en un camión de carga.                                    |    |            |           |    |        |           |
| 3               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   |                            | 50             | Traslado hacia taller de la empresa contratista.                               |    |            |           |    |        |           |
| 4               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 4                          |                | Descargue de material.   |    |            |           |    |        |           |
| 5               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 80                         |                | Trazo y corte de material según planos.  |    |            |           |    |        |           |
| 6               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 24                         |                | Armado de soportes y bastidor de soporte.                                      |    |            |           |    |        |           |
| 7               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 32                         |                | Soldeo de estructuras.   |    |            |           |    |        |           |
| 8               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 80                         |                | Torneo de tornillos.   |    |            |           |    |        |           |
| 9               | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 24                         |                | Pintado de estructuras y componentes.  |    |            |           |    |        |           |
| 10              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 16                         |                | Secado de pintura.   |    |            |           |    |        |           |
| 11              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 8                          |                | ensamble de componentes.   |    |            |           |    |        |           |
| 12              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 8                          |                | Cargue de estructura a camión de carga.  |    |            |           |    |        |           |
| 13              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   |                            | 50             | Traslado hacia a mina.   |    |            |           |    |        |           |
| 14              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 4                          |                | Entrega de aparejo estructural.  |    |            |           |    |        |           |
| 15              | ○    | □                                  | ⇒     | ⌋     | △   | 8                          |                | Inspección del producto  |    |            |           |    |        |           |

Fuente: elaboración propia.

- Proceso de construcción:

El material que se usará en la fabricación, tal como planchas, perfiles y ejes principalmente, serán seleccionados, acopiados y trasladados desde el almacén del centro minero hasta el taller de la empresa contratista que se encargará de la fabricación. Para este proceso, se hará entrega de los planos de fabricación al contratista quien seguirá al detalle la información que se indica.

a) Trazo y corte del material según planos:

Dentro de la información entregada al contratista se especifican medidas que se tendrán en cuenta para iniciar los trazos y posteriormente los cortes. Este proceso se realizará usando mecanismos de corte como equipo oxicorte y esmeril de 7" con disco de corte. La intervención de un personal experto en calderería, así como un soldador homologado será importante.



Figura 72. Trazo y corte.

Fuente: propia.

b) Armado de soportes y bastidor:

Tanto la planchas de  $\frac{1}{2}$ " , plancha de 1-1/2" y los perfiles rectangulares fueron cortados según lo indicado en los planos de fabricación. El siguiente proceso se centra en realizar el pre armado mediante apuntalamiento de soldadura.



Figura 73. Armado de soporte y plataforma circular.

Fuente: propia.

c) Soldeo de estructuras:

Al tener a las estructuras pre armadas con apuntalamiento de soldadura, se inicia el proceso de soldeo permanente a todas las estructuras. En este proceso se tiene la presencia de un inspector de calidad para asegurar que el proceso de soldeo sea el correcto.



Figura 74. Soldeo de estructuras.

Fuente: propia.

d) Torneado de tornillos:

Teniendo como materia prima a los ejes de 7/8" y 1-1/2" de acero SAE1045, se realiza el torneado del hilo cuadrado que se calculó anteriormente.

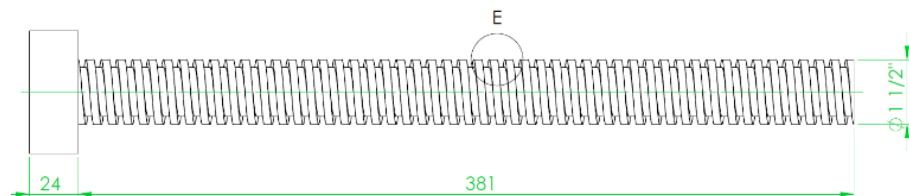


Figura 75. Tornillo de hilo cuadrado.

Fuente: propia.

e) Pintado de estructuras y componentes:

Al término de la fabricación, toda la estructura será pintado con una pintura anticorrosiva, se realizará el control de calidad para que el espesor de pintura cumpla con lo solicitado considerando que la estructura está permanentemente en la intemperie.

f) Entrega de aparejo estructural:

La estructura es trasladada y entregada en mina al área de mantenimiento de chancado primario. En esta etapa se realiza la inspección del producto terminado.



Figura 76. Entrega de aparejo estructural.

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Pruebas y resultados

- Pruebas:

- a) Etapa de pre armado: dentro del plan de construcción se consideró la etapa de pre armado como primera prueba del aparejo estructural, el cual consiste en instalar sobre éste, los revestimientos cóncavos uno a uno en forma cruzada con ayuda de un camión grúa e ir inspeccionando visualmente si se evidencia alguna anomalía pandeo o flexión en la estructura. Esta etapa es realizada en el taller de mantenimiento dejándolo lista para ser izado por el puente grúa a todo el conjunto.





Figura 77. Etapa de pre armado.

Fuente: propia.

- b) Etapa de armado dentro de la chancadora giratoria 60" x 113": esta es la segunda etapa y la llamada prueba de fuego pues se considera el izaje del aparejo estructural en conjunto con los 16 revestimientos cóncavos instalados en cada soporte. Para esta prueba se toma todas las precauciones del caso, tal como no exponer a las personas debajo de la carga suspendida, cuerdas para vientos de carga suspendida, un maniobrista para el traslado de la carga y un operador certificado de puente grúa.

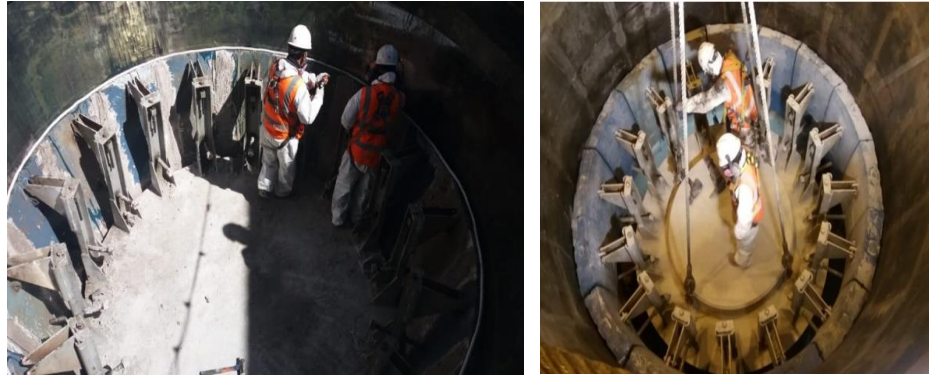


Figura 78. Etapa de armado.

Fuente: propia.



- c) Prueba del mecanismo de sujeción: en esta etapa se realiza la prueba del soporte de cada revestimiento cóncavo, se asegura que el mecanismo de traslación formado por los tornillos vertical y horizontal funciones correctamente.



*Figura 79.* Prueba de mecanismo de sujeción.

Fuente: propia.

- d) Etapa de revisión final: esta etapa es la última que se considera, es realizada al término del trabajo y está sujeta a que las dos etapas anteriores sean exitosas. Al término del trabajo, el aparejo estructural es trasladado al taller y se realiza una revisión de la integridad de la estructura, poniéndose énfasis en posibles deformación o fisuras en los cordones de soldadura.



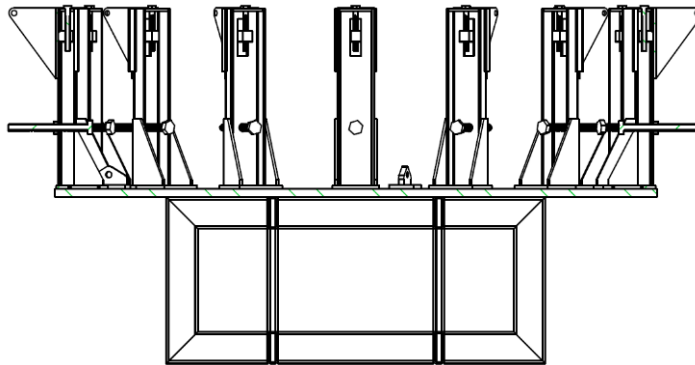
*Figura 80.* Revisión final del aparejo estructural.

Fuente: propia.

- Resultados:

Al culminar las pruebas del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria 60" x 113" en minera Las Bambas, se alcanzan los siguientes resultados:

- a) El diseño del aparejo estructural para la instalación de revestimientos de una chancadora giratoria de 60" x 113" en minera Las Bambas fue realizado correctamente pues no se evidenció ninguna observación de anomalía antes, durante ni después del uso. En la figura 81 se muestra una vista frontal del aparejo estructural que sirvió para el control dimensional durante la prueba.



*Figura 81.* Vista frontal del aparejo estructural.

Fuente: elaboración propia.

- b) El diseño de la base soporte del aparejo estructural fue realizado correctamente pues si bien tanto en el cálculo analítico como en la simulación con software, las cargas generan una deformación máxima de  $0.113mm$ , durante las pruebas se realizaron mediciones que no variaron después del pre-montaje de los 16 revestimientos cóncavos. En la figura 82 se muestra la vista frontal de la base soporte con las medidas y ángulo que se controlaron durante la prueba tanto con wincha milimétrica como con regla de nivel.

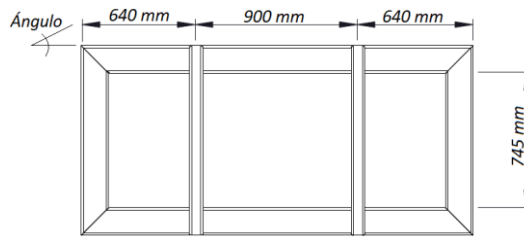


Figura 82. Vista frontal de la base soporte.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 10 se muestra el control dimensional que se hizo durante la prueba donde se considera medidas antes y después de la carga, así como la variación angular con respecto a la horizontal de la viga.

Tabla 10. Control de medidas de la base soporte.

| Componentes | Mediciones |              |                  |
|-------------|------------|--------------|------------------|
|             | Antes (mm) | Después (mm) | Deformación (mm) |
| Columna     | 745        | 745          | 0                |
| Viga        | D1         | 640          | 0                |
|             | D2         | 900          | 0                |
|             | D3         | 640          | 0                |
|             | Angulo     | 0°           | 0°               |

Fuente: elaboración propia.

- c) El diseño de la plataforma circular que irá sobre la base soporte del aparejo estructural fue realizado correctamente pues si bien en la simulación son software, las cargas generaron una deformación de  $0.794 \text{ mm}$  situado en la periferia de la plataforma circular, sin embargo, durante las pruebas no se evidencio flexiones en la plancha circular. En la figura 83 se muestra una vista frontal de la plataforma circular con las medidas y ángulo que se controlaron durante la prueba tanto con wincha como con regla de nivel.

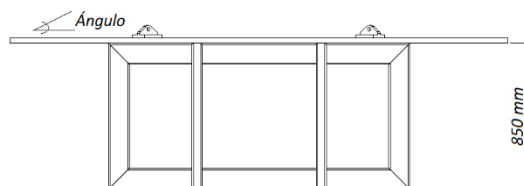


Figura 83. Vista frontal de la plataforma circular.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 11 se muestra el control dimensional que se hizo durante la prueba donde se considera la medida antes y después de la carga, así como la variación del ángulo con respecto a la horizontal de la de la plataforma circular.

Tabla 11. *Control de medidas de la plataforma circular.*

| Componentes         |        | Mediciones |              |                  |
|---------------------|--------|------------|--------------|------------------|
|                     |        | Antes (mm) | Después (mm) | Deformación (mm) |
| Plataforma circular | Altura | 850        | 850          | 0                |
|                     | Angulo | 0°         | 0°           | 0°               |

Fuente: elaboración propia.

- d) El diseño del mecanismo de sucesión del revestimiento cóncavo que estará sobre la plataforma circular fue realizado correctamente pues si bien en la simulación con software, la carga aplicada al mecanismo de sujeción genero una flexión máxima de 1.5 mm, durante la prueba del mecanismo de sujeción con la carga del revestimiento cóncavo, no se registro variaciones de las magnitudes que se controlaron ni solturas en el soporte del tornillo vertical. En la figura 84 se muestra la vista lateral del mecanismo de sujeción con las medidas de sus componentes.

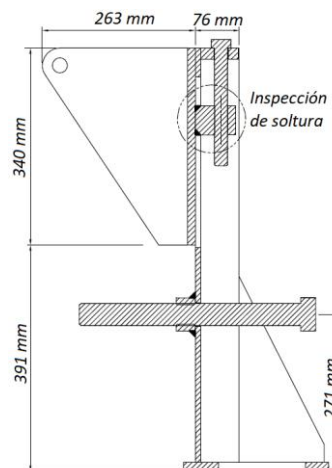


Figura 84. Vista lateral del mecanismo de sujeción.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 12 se muestra el control dimensión que se hizo a las magnitudes que se presentan en la vista lateral del mecanismo de sujeción.

Tabla 12. *Control de medidas del mecanismo de sujeción.*

| Componentes           | Mediciones |              |                  |
|-----------------------|------------|--------------|------------------|
|                       | Antes (mm) | Después (mm) | Deformación (mm) |
| D1                    | 391        | 391          | 0                |
| D2                    | 340        | 340          | 0                |
| Mecanismo de sujeción | D3         | 263          | 0                |
|                       | D4         | 76           | 0                |
|                       | D5         | 271          | 0                |
|                       | Soltura    | NO           | NO               |

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, el aparejo estructural es apto para ser usado en cada oportunidad que se tenga programado el cambio de revestimientos cóncavos de la chancadora giratoria 60" x 113".

### 5.3. Costos y presupuestos

Los costos que se incurrirá para la fabricación de aparejo estructural se basarán en los costos de materiales y los costos de fabricación solicitado por un contratista local (comunidad cercana a la unidad minera), para no considerar los costos por traslado a alguna ciudad como Lima o Arequipa por ser las más cercanas. Como se comentó anteriormente, el material necesario para la fabricación fue retirado del almacén de estructuras sobrantes de la construcción de la planta concentradora. Todo el material que se encuentra en este almacén ya fue costeado en la etapa del proyecto, además una de las exigencias era el uso de dicho material para no encarecer la construcción del aparejo estructural. Pero, de todas maneras, el costo se menciona para fines informativos. En la tabla 13 se muestran los costos asociados al material necesario para la fabricación.

Tabla 13. *Costo de materiales.*

| COSTOS DE MATERIALES |   |          |        |                  |            |
|----------------------|---|----------|--------|------------------|------------|
| Bastidor de soporte  |   |          |        |                  |            |
| Ítem                 | Descripción   | Cantidad | Unidad | P. unitario (S/) | Total (S/) |
| 1                    | Tubo rectangular de 6" x 3" x 3/8" en acero ASTM A36 por 6m | 10       | Und    | 550              | 5 500      |

|  |  |     |     |       |        |
|--|--|-----|-----|-------|--------|
| 2  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 1" de espesor por<br>1200 mm x 2400 mm   | 1   | Und | 1 235 | 1 235  |
| Plataforma circular                              |  |     |     |       |        |
| 1  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 1.5" de espesor<br>por 1200 mm x 2400 mm | 5   | Und | 1 520 | 7 600  |
| Mecanismo de sujeción de revestimientos cóncavos |  |     |     |       |        |
| 1  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 1/2" de espesor<br>por 1200 mm x 2400 m  | 2   | Und | 610   | 1220   |
| 2  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 3/8" de espesor<br>por 1200 mm x 2400 mm | 1   | Und | 505   | 505    |
| 3  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 5/8" de espesor<br>por 1200 mm x 2400 mm | 1   | Und | 710   | 710    |
| 4  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 3/4" de espesor<br>por 1200 mm x 2400 mm | 1   | Und | 880   | 880    |
| 5  | Plancha de acero estructural<br>ASTM A36 de 2" de espesor por<br>1200 mm x 2400 mm   | 0.5 | Und | 1 700 | 850    |
| 6  | Eje de 7/8" de diámetro de<br>acero SAE 1045 de 1 m                                  | 24  | Und | 400   | 9 600  |
| 7  | Eje de 1.5" de diámetro de<br>acero SAE 1045 de 1 m                                  | 24  | Und | 520   | 12 480 |
| Total (S/)                                       |  |     |     |       | 40 580 |

Fuente: elaboración propia.

El alcance de la empresa contratista es desde el trazo y corte del material, la fabricación y el pintado de toda la estructura, los planos de fabricación fueron elaborados con recurso de la unidad minera y se entregaron a la empresa contratista. En la tabla 14 se muestran los costos directos e indirectos, así como el costo total en que se incurrió para la fabricación del aparejo estructural.

Tabla 14. *Costo total del proyecto.*

| <b>COSTO DEL PROYECTO</b> |                   |              |
|---------------------------|-------------------|--------------|
|                           | COSTO TOTAL       | S/ 76 180.00 |
| A                         | Costo directo.    | S/ 72 580.00 |
| 1                         | Materiales.       | S/ 40 580.00 |
| 2                         | Mano de Obra.     | S/ 32 000.00 |
| B                         | Costos indirectos | S/ 3 600.00  |

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un aparejo estructural para revestir una chancadora giratoria 60" x 113" de minera Las Bambas.
2. Se diseñó el bastidor soporte del aparejo estructural, el cual a través de cálculos analíticos y simulaciones con software soporta la carga sometida con un factor de seguridad por encima de 5. El perfil escogido para el diseño es el correcto.
3. Se diseñó la plataforma circular que ira sobre la base soporte del aparejo estructural, el cual a través de simulaciones de software considera un factor de seguridad por encima de 1.8 con una plancha de acero A36 de 1.5". Se podría considerar una plancha de acero A36 de 2" para mayor seguridad.
4. Se diseñó el mecanismo de sujeción del revestimiento cóncavo que estará sobre la plataforma circular, el cual a través de simulaciones de software considera un factor de seguridad por encima de 2.6.

## TRABAJOS FUTUROS

1. Se recomienda continuar con el seguimiento dimensional a la fabricación después de su puesta en marcha del diseño de aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113".
2. Se recomienda continuar analizando el diseño con la finalidad de hallar oportunidades de mejora y a la vez cumplir con estándares de seguridad y salud minera.
3. Se recomienda continuar con la investigación sobre el cálculo analítico de esfuerzos en placas circulares de determinado espesor pues en la literatura actual no existe mucha información. Este aspecto es interesante por el uso de ecuaciones diferenciales en coordenadas polares para su análisis.
4. Se recomienda trabajar en la investigación y diseñar un brazo robótico hidráulico que realice el mismo trabajo que el aparejo para revestir una chancadora giratoria 60" x 113", pero que conserve la secuencia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Perú: País minero*. [En línea] [Citado el: 28 de febrero de 2019.] [http://www.minem.gob.pe/\\_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCategoría=159](http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCategoría=159).
2. MINERA CERRO VERDE. *POE Cambio de cóncavos de chancadora primaria*. [En línea] [Citado el: 13 de diciembre de 2018.] <https://www.scribd.com/doc/148158994/01-CMM-0023-POE-Cambio-de-Concavos-de-Chancadora-Primaria>.
3. MINERA BARRICK. *Montaje de cóncavas de la fila inferior*. [En línea] [Citado el: 13 de diciembre de 2018.] <https://www.scribd.com/document/102647949/cambio-de-concavas-chancador>.
4. PEÑATIÉL, E. *Diseño de una máquina herramienta de operación múltiple para trabajo artesanal en madera*. Tesis. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 1991.
5. MINERA CODELCO. *Innovaciones de proceso por mineros: Un caso de innovación de usuarios de la industria minera del cobre*. [En línea] [Citado el: 13 de diciembre de 2018.] <https://www.codelco.com/flipbook/innovacion/codelcodigital6/PDF/EXPOSICION/2/59p.pdf>.
6. FARFÁN, F. *Realizar un plan de mantención preventiva del chancador primario Fuller en división CODELCO Andina*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, 2014.
7. QUISPE, W. *Diseño de un aparejo para revestir una chancadora giratoria de 60" x 113*. 2019.
8. TORRES, Á. *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la chancadora 60" x 113" de minera Chinalco*. Tesis. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.
9. BUSTAMANTE, C. *Montaje de una chancadora primaria FLSmidth Fuller Traylor Crusher 60" x 113" para la mina Toquepala*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.
10. BUDYNAS, R. y NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw Hill, 2012. 978-607-15-0771-6.

11. BEER, F. y otros. *Mecánica de materiales*. México D.F.: McGraw Hill, 2013. 978-607-15-0263-6.
12. MOTT, R. *Resistencia de materiales*. México: Pearson Education, 2009. 978-607-442-047-0.
13. ROBERT, J. *Diseño de elementos de máquinas*. México: LIMUSA Wiley, 2013. 978-607-05-0436-5.
14. GÓMEZ, S. *El gran libro de SolidWorks*. Argentina: Marcombo, 2014. 978-842-67-2173-0.
15. MANCHEÑO, M. y FERNÁNDEZ, C. *Manual de prácticas de soldadura con electrodo revestido*. España: Paraninfo, 2012. 978-84-283-2573-8.
16. MOUBRAY, J. *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Estados Unidos: Edwards Brothers Lillington, 2004. 095-39-603-2-3.
17. BARRIGA, B. *Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica*. Lima: s.n., 1985.
18. SERRANO, A. *El diseño mecánico*. s.l.: Mira Edit., 1999.
19. BEJARANO, O. *Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión*. Tesis. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.
20. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC. *Manual of steel construction LRFD*. Estados Unidos: s.n., 1994. 156424-041-8.
21. CASILLAS, A. *Máquinas - Cálculos de taller*. España: Máquinas, 1958.

## **ANEXOS**

**Anexo 01.** Especificaciones técnicas de revestimientos cóncavos presentado por el fabricante de la chancadora giratoria 60" x 113" FLSmidth.



## CÓNCAVOS CROMO-MOLY - CHANCADORA PRIMARIA 60" x 113" -



**LAS BAMBAS**



One Source

SourcingLite

The information contained or referenced in this presentation is confidential and proprietary to FLSmidth and is protected by copyright or trade secret laws.

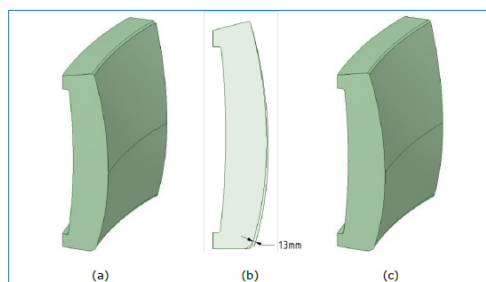
1



### UPGRADE CÓNCAVOS

#### SINCRONIZACIÓN CÓNCAVOS Y MANTOS – OSS = Alrededor 7.1"

- El perfil del cóncavo inferior es modificado para obtener un OSS alrededor de 7.1" con un manto 113", inicio de campaña.



(a) Diseño actual 7.5" OSS, (b) Superposición diseño actual vs propuesto, (c) Diseño propuesto para 7.1" de OSS y (d) 700kg de peso por cada cóncavo.

One Source

SourcingLite

The information contained or referenced in this presentation is confidential and proprietary to FLSmidth and is protected by copyright or trade secret laws.

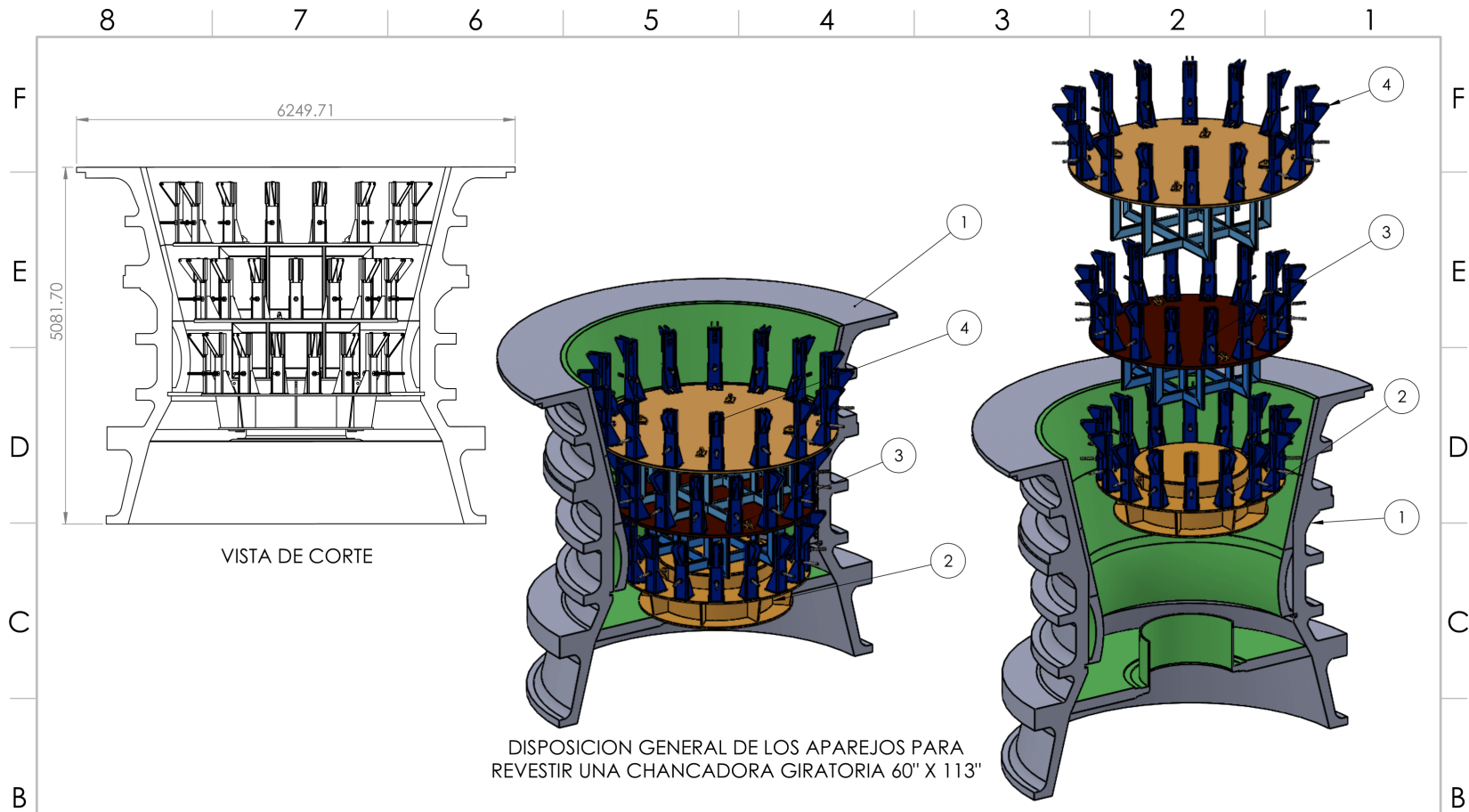
6

**Anexo 02.** Especificaciones de perfiles de acero de tubo rectangular.

| STRUCTURAL TUBING<br>Rectangular<br>Dimensions and properties |                   |      |                  |                  |                  |                  |      |                  |                  |                  |      |                  |      |
|---|-------------------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|------|------------------|------|
| Dimensions  |                   |      |                  | Properties**     |                  |                  |      |                  |                  |                  |      |                  |      |
| Nominal*<br>Size  | Wall<br>Thickness |      | Weight<br>per ft | Area             | X-X Axis         |                  |      |                  | Y-Y Axis         |                  |      |                  | J    |
|   | in.               | in.  |                  |                  | I                | S                | Z    | r                | I                | S                | Z    | r                |      |
| in.   | in.               | lb   | in. <sup>2</sup> | in. <sup>4</sup> | in. <sup>3</sup> | in. <sup>3</sup> | in.  | in. <sup>4</sup> | in. <sup>3</sup> | in. <sup>3</sup> | in.  | in. <sup>4</sup> |      |
| 7x3   | 0.3750            | 3/8  | 22.37            | 6.58             | 35.7             | 10.2             | 13.5 | 2.33             | 9.08             | 6.05             | 7.32 | 1.18             | 25.1 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 19.08            | 5.81             | 31.5             | 9.00             | 11.8 | 2.37             | 8.11             | 5.41             | 6.40 | 1.20             | 22.0 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 15.62            | 4.59             | 26.6             | 7.61             | 9.79 | 2.41             | 6.95             | 4.63             | 5.36 | 1.23             | 18.5 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 11.97            | 3.52             | 21.1             | 6.02             | 7.63 | 2.45             | 5.57             | 3.71             | 4.20 | 1.26             | 14.6 |
|   | 0.1250            | 1/8  | 8.16             | 2.40             | 14.8             | 4.22             | 5.29 | 2.48             | 3.96             | 2.64             | 2.93 | 1.29             | 10.2 |
| 6x4   | 0.5000            | 1/2  | 28.43            | 8.36             | 35.3             | 11.8             | 15.4 | 2.06             | 18.4             | 9.21             | 11.5 | 1.48             | 42.1 |
|   | 0.3750            | 3/8  | 22.37            | 6.58             | 29.7             | 9.90             | 12.5 | 2.13             | 15.6             | 7.82             | 9.44 | 1.54             | 34.6 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 19.08            | 5.81             | 26.2             | 8.72             | 10.9 | 2.16             | 13.8             | 6.92             | 8.21 | 1.57             | 30.1 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 15.62            | 4.59             | 22.1             | 7.36             | 9.06 | 2.19             | 11.7             | 5.87             | 6.84 | 1.60             | 25.0 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 11.97            | 3.52             | 17.4             | 5.81             | 7.06 | 2.23             | 9.32             | 4.66             | 5.34 | 1.63             | 19.5 |
| 0.1250  | 1/8               | 8.16 | 2.40             | 12.2             | 4.08             | 4.88             | 2.26 | 6.57             | 3.29             | 3.71             | 1.66 | 13.5             |      |
| 6x3   | 0.5000            | 1/2  | 25.03            | 7.36             | 27.7             | 9.25             | 12.6 | 1.94             | 8.91             | 5.94             | 7.59 | 1.10             | 23.9 |
|   | 0.3750            | 3/8  | 19.82            | 5.83             | 23.8             | 7.92             | 10.4 | 2.02             | 7.78             | 5.19             | 6.34 | 1.16             | 20.3 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 16.96            | 4.98             | 21.1             | 7.03             | 9.11 | 2.06             | 6.98             | 4.65             | 5.56 | 1.18             | 17.9 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 13.91            | 4.09             | 17.9             | 5.98             | 7.62 | 2.09             | 6.00             | 4.00             | 4.67 | 1.21             | 15.1 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 10.70            | 3.14             | 14.3             | 4.76             | 5.97 | 2.13             | 4.83             | 3.22             | 3.68 | 1.24             | 11.9 |
| 0.1250  | 1/8               | 7.31 | 2.15             | 10.1             | 3.36             | 4.15             | 2.17 | 3.45             | 2.30             | 2.57             | 1.27 | 8.27             |      |
| 6x2   | 0.3750            | 3/8  | 17.27            | 5.08             | 17.8             | 5.94             | 8.33 | 1.87             | 2.84             | 2.84             | 3.61 | 0.748            | 8.72 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 14.83            | 4.36             | 16.0             | 5.34             | 7.33 | 1.92             | 2.62             | 2.62             | 3.22 | 0.775            | 7.94 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 12.21            | 3.59             | 13.8             | 4.60             | 6.18 | 1.96             | 2.31             | 2.31             | 2.75 | 0.802            | 6.88 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 9.42             | 2.77             | 11.1             | 3.70             | 4.88 | 2.00             | 1.90             | 1.90             | 2.20 | 0.829            | 5.56 |
|   | 0.1250            | 1/8  | 6.46             | 1.90             | 7.92             | 2.64             | 3.42 | 2.04             | 1.39             | 1.39             | 1.56 | 0.857            | 3.98 |
| 5x4   | 0.3750            | 3/8  | 19.82            | 5.83             | 18.7             | 7.50             | 9.44 | 1.79             | 13.2             | 6.58             | 8.08 | 1.50             | 26.3 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 16.96            | 4.98             | 16.6             | 6.65             | 8.24 | 1.83             | 11.7             | 5.85             | 7.05 | 1.53             | 22.9 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 13.91            | 4.09             | 14.1             | 5.65             | 6.89 | 1.86             | 9.98             | 4.99             | 5.90 | 1.56             | 19.1 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 10.70            | 3.14             | 11.2             | 4.49             | 5.39 | 1.89             | 7.96             | 3.98             | 4.63 | 1.59             | 14.9 |
| 5x3   | 0.5000            | 1/2  | 21.63            | 6.36             | 16.9             | 6.75             | 9.20 | 1.63             | 7.33             | 4.88             | 6.34 | 1.07             | 18.2 |
|   | 0.3750            | 3/8  | 17.27            | 5.08             | 14.7             | 5.89             | 7.71 | 1.70             | 6.48             | 4.32             | 5.35 | 1.13             | 15.6 |
|   | 0.3125            | 5/16 | 14.83            | 4.36             | 13.2             | 5.27             | 6.77 | 1.74             | 5.85             | 3.90             | 4.72 | 1.16             | 13.8 |
|   | 0.2500            | 1/4  | 12.21            | 3.59             | 11.3             | 4.52             | 5.70 | 1.77             | 5.05             | 3.37             | 3.98 | 1.19             | 11.7 |
|   | 0.1875            | 3/16 | 9.42             | 2.77             | 9.06             | 3.62             | 4.49 | 1.81             | 4.08             | 2.72             | 3.15 | 1.21             | 9.21 |
| 0.1250  | 1/8               | 6.46 | 1.90             | 6.44             | 2.58             | 3.14             | 1.84 | 2.93             | 1.95             | 2.21             | 1.24 | 6.44             |      |

\*Outside dimensions across flatsides.  
\*\*Properties are based upon a nominal outside corner radius equal to two times the wall thickness.


**Anexo 03.** Planos de fabricación de aparejo estructural.




DISPOSICION GENERAL DE LOS APAREJOS PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"

**NOTA:** Todas las medidas estan en milímetros salvo indicacion contraria.

| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA                    | DESCRIPCIÓN                                    | CANTIDAD |
|-----------------|---------------------------------|--|----------|
| 1               | CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113" | VISTA DE CORTE DONDE SE OBSERVA LOS 3 APAREJOS | 1        |
| 2               | APAREJO TIPO 1                  |  | 1        |
| 3               | APAREJO TIPO 2                  |  | 1        |
| 4               | APAREJO TIPO 3                  |  | 1        |



**Universidad Continental**

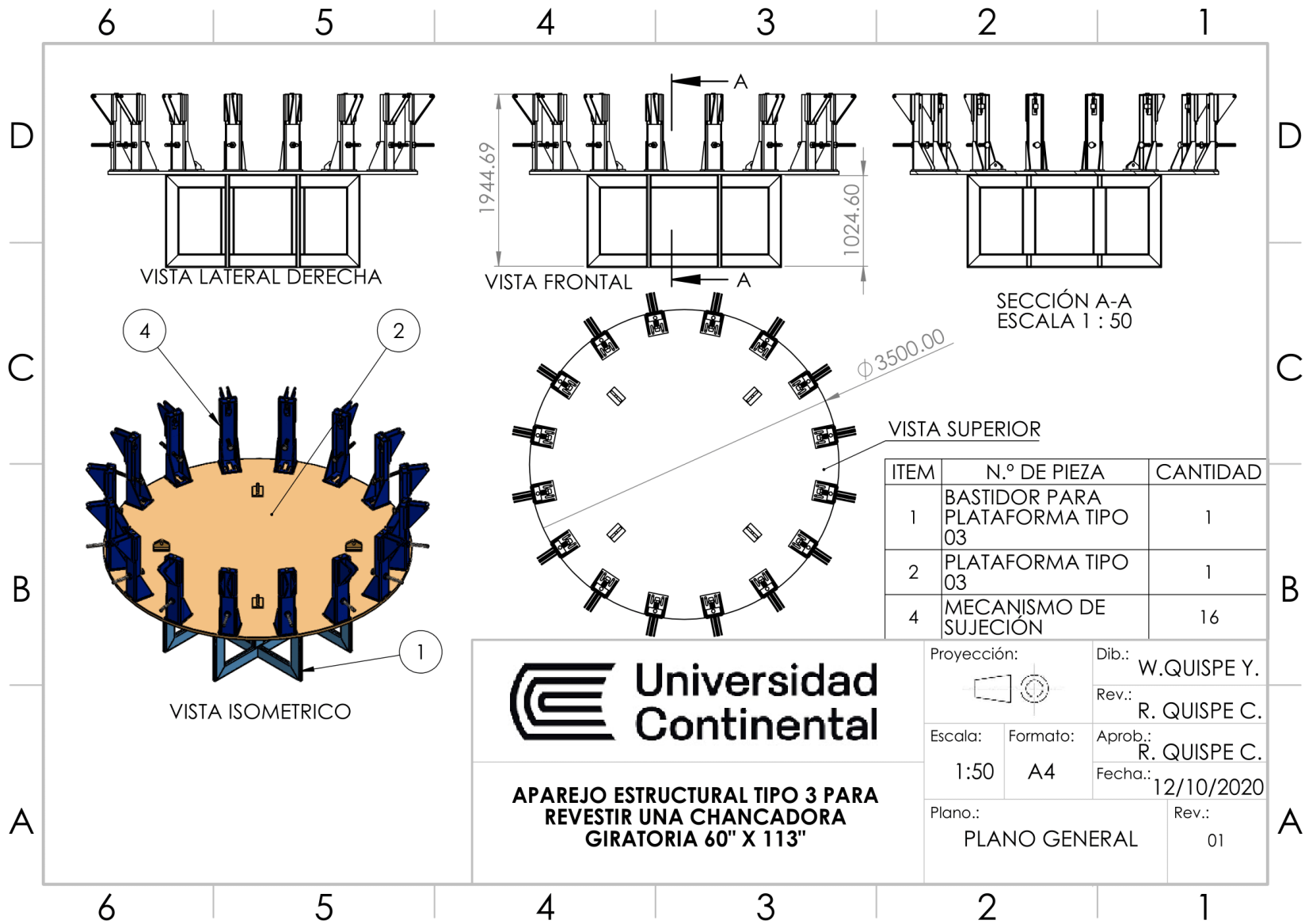
Proyección: 

Dib.: **W.QUISPE Y.**  
Rev.: **R.QUISPE C.**

Escala: **1:50**    Formato: **A3**    Aprob.: **R.QUISPE C.**  
Fecha: **12/10/20**

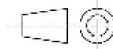
Plano: **PLANO GENERAL**    Rev.: **1**

**DISPOSICIÓN GENERAL DEL APAREJO ESTRUCTURAL PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"**



**APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 3 PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"**

Proyección:



Dib.:

W.QUISPE Y.

Rev.:

R. QUISPE C.

Escala:

1:50

Formato:

A4

Aprob.:

R. QUISPE C.

Fecha.:

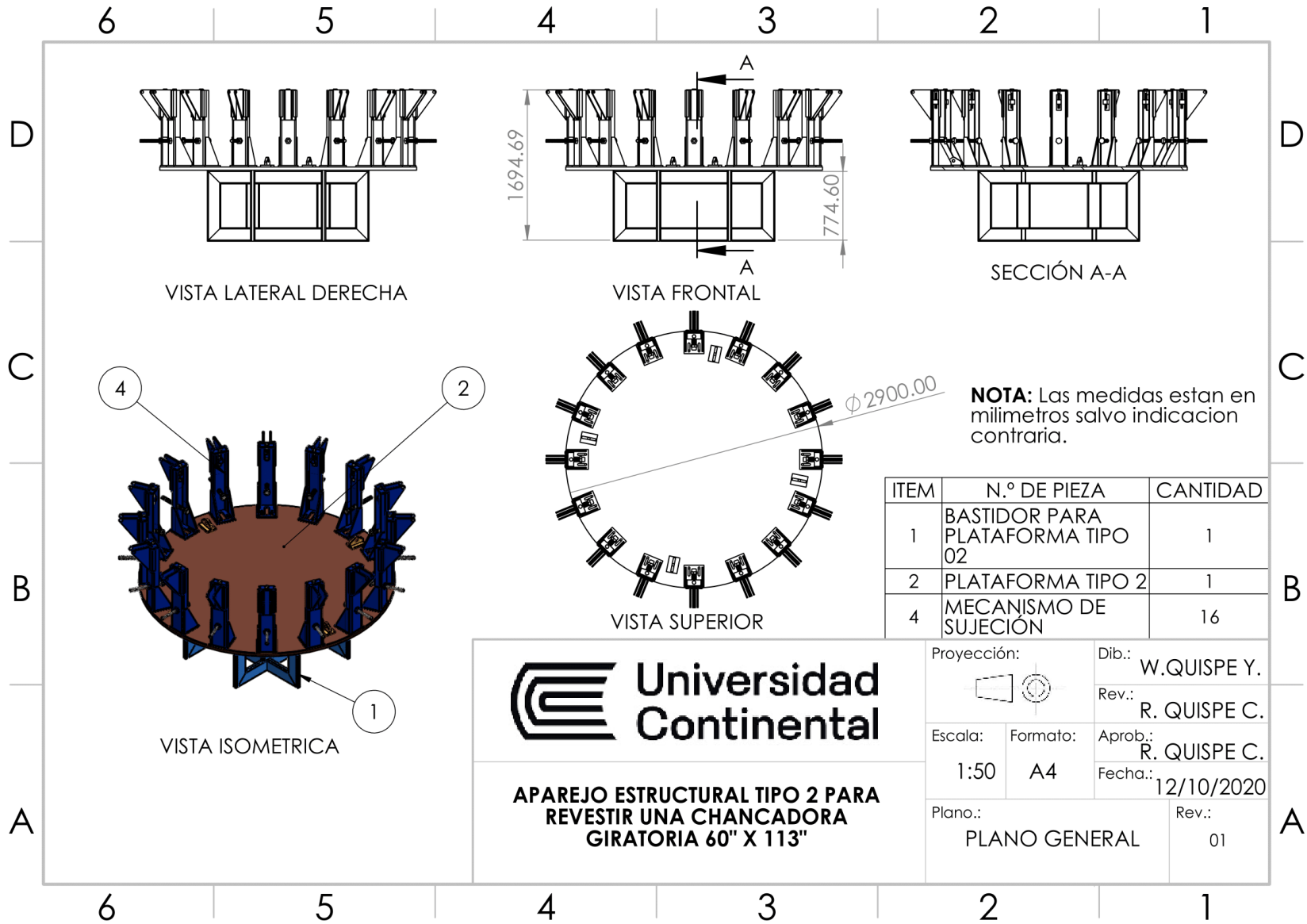
12/10/2020

Plano.:

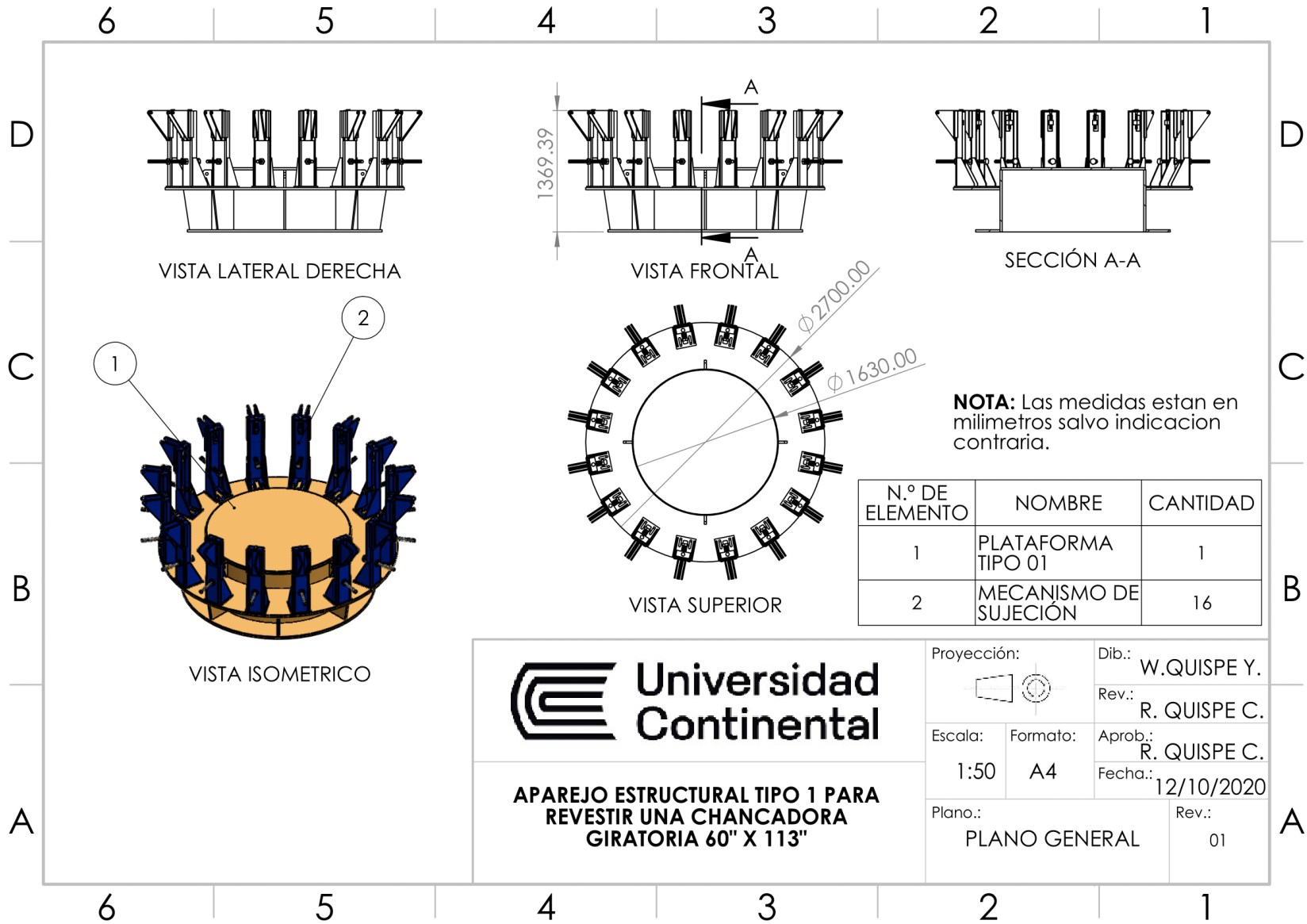
PLANO GENERAL

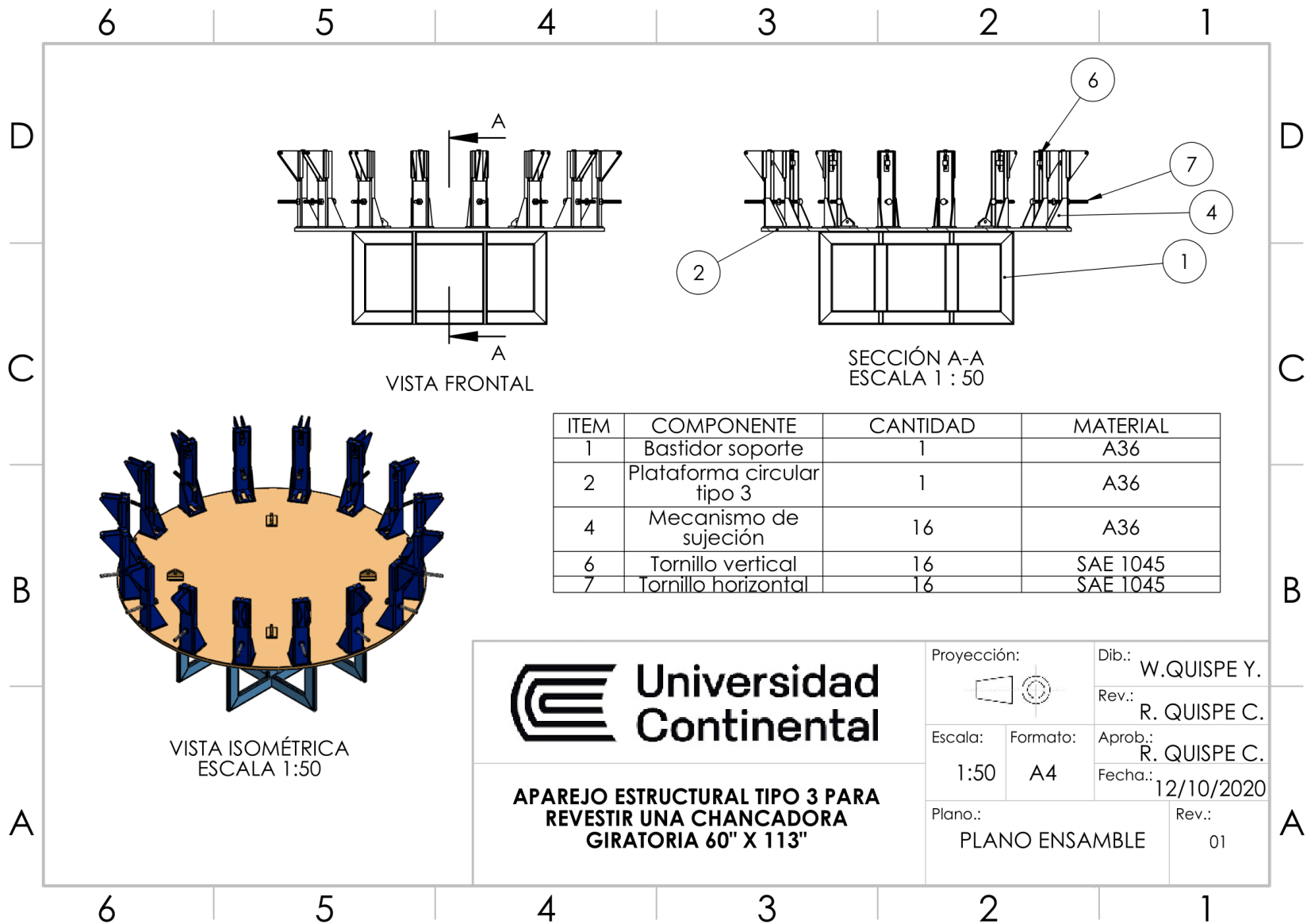
Rev.:

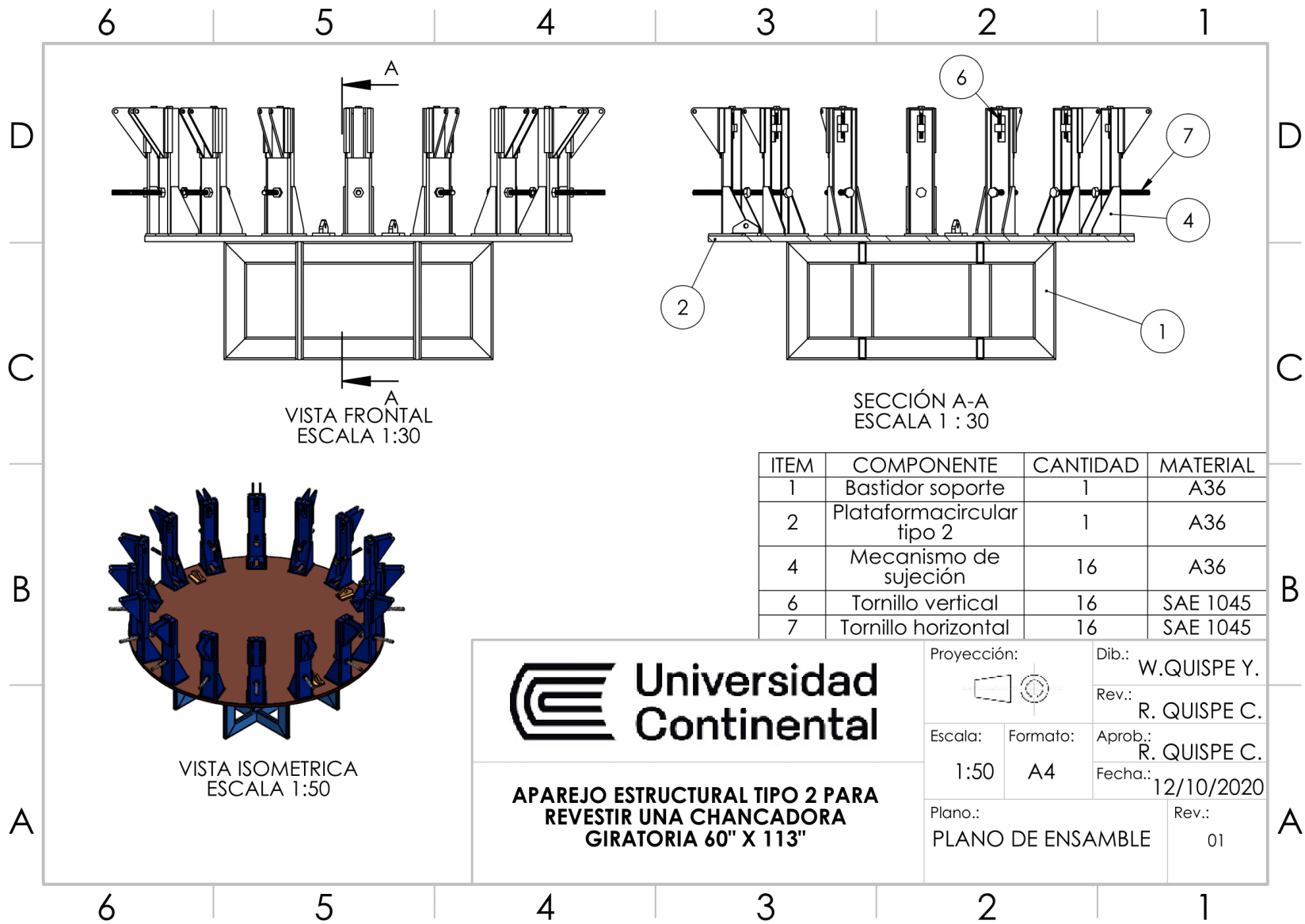
01

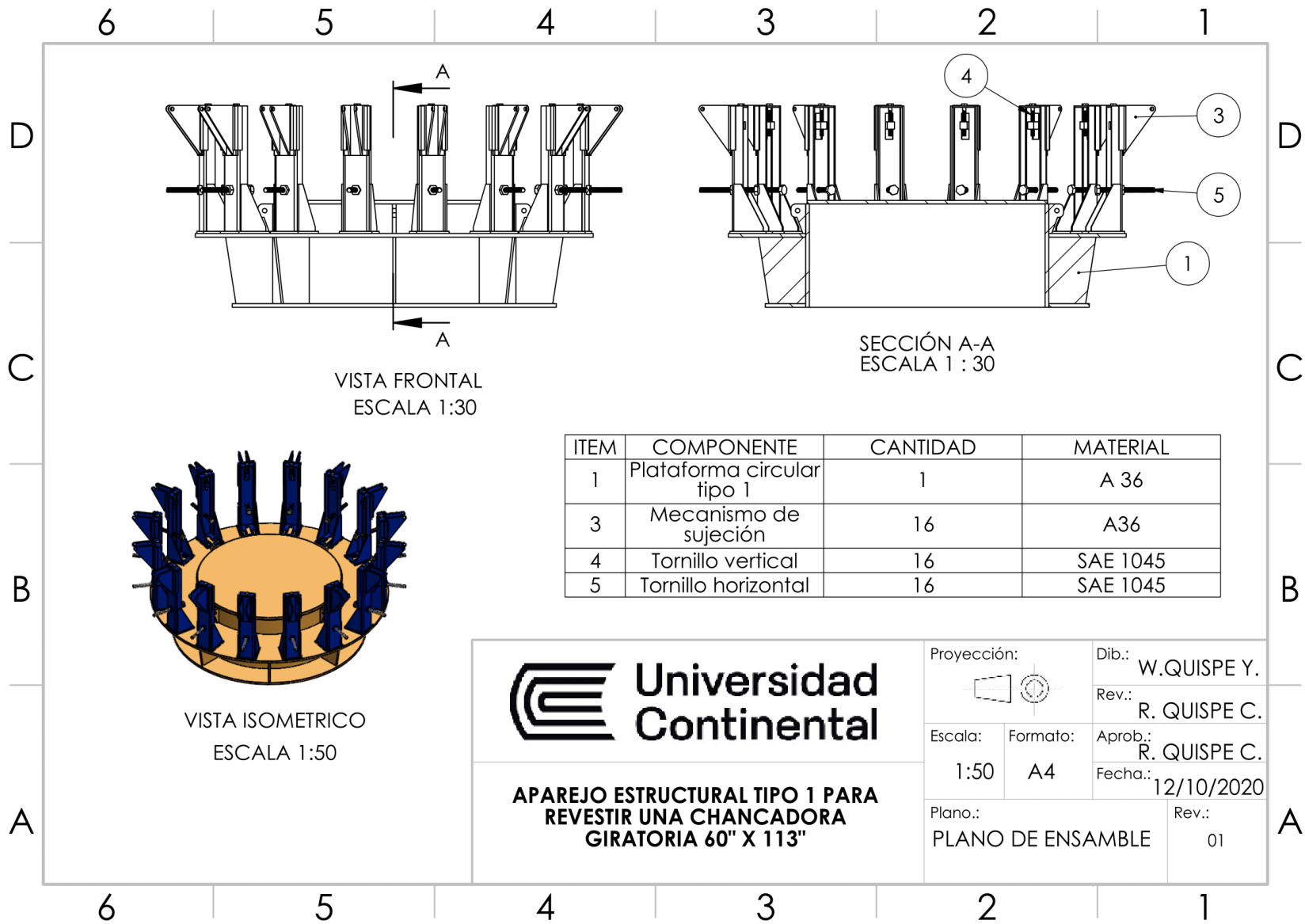











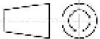


| ITEM | COMPONENTE                 | CANTIDAD | MATERIAL |
|------|----------------------------|----------|----------|
| 1    | Plataforma circular tipo 1 | 1        | A 36     |
| 3    | Mecanismo de sujeción      | 16       | A36      |
| 4    | Tornillo vertical          | 16       | SAE 1045 |
| 5    | Tornillo horizontal        | 16       | SAE 1045 |



**Universidad  
Continental**

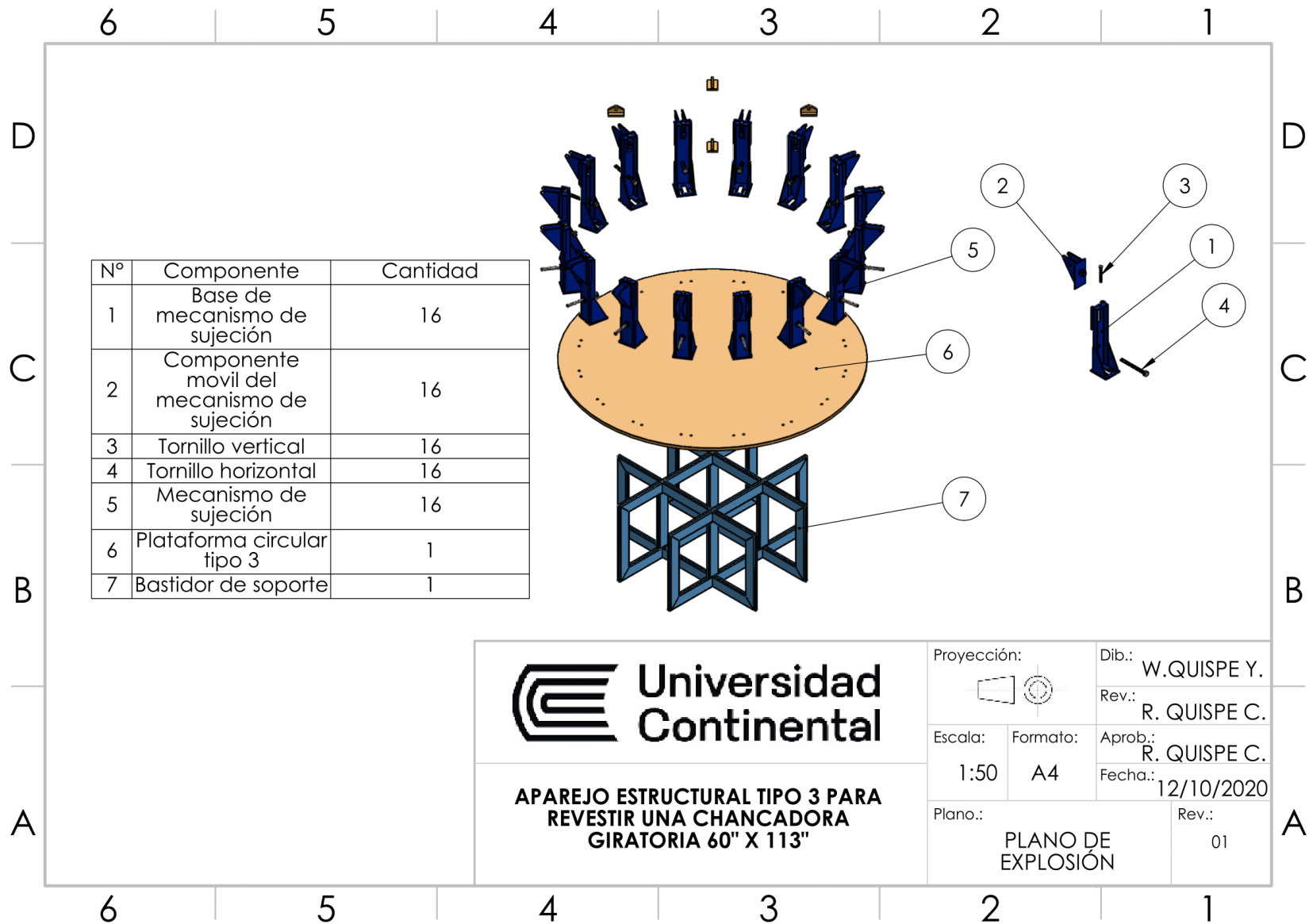
**APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 1 PARA  
REVESTIR UNA CHANCADORA  
GIRATORIA 60" X 113"**

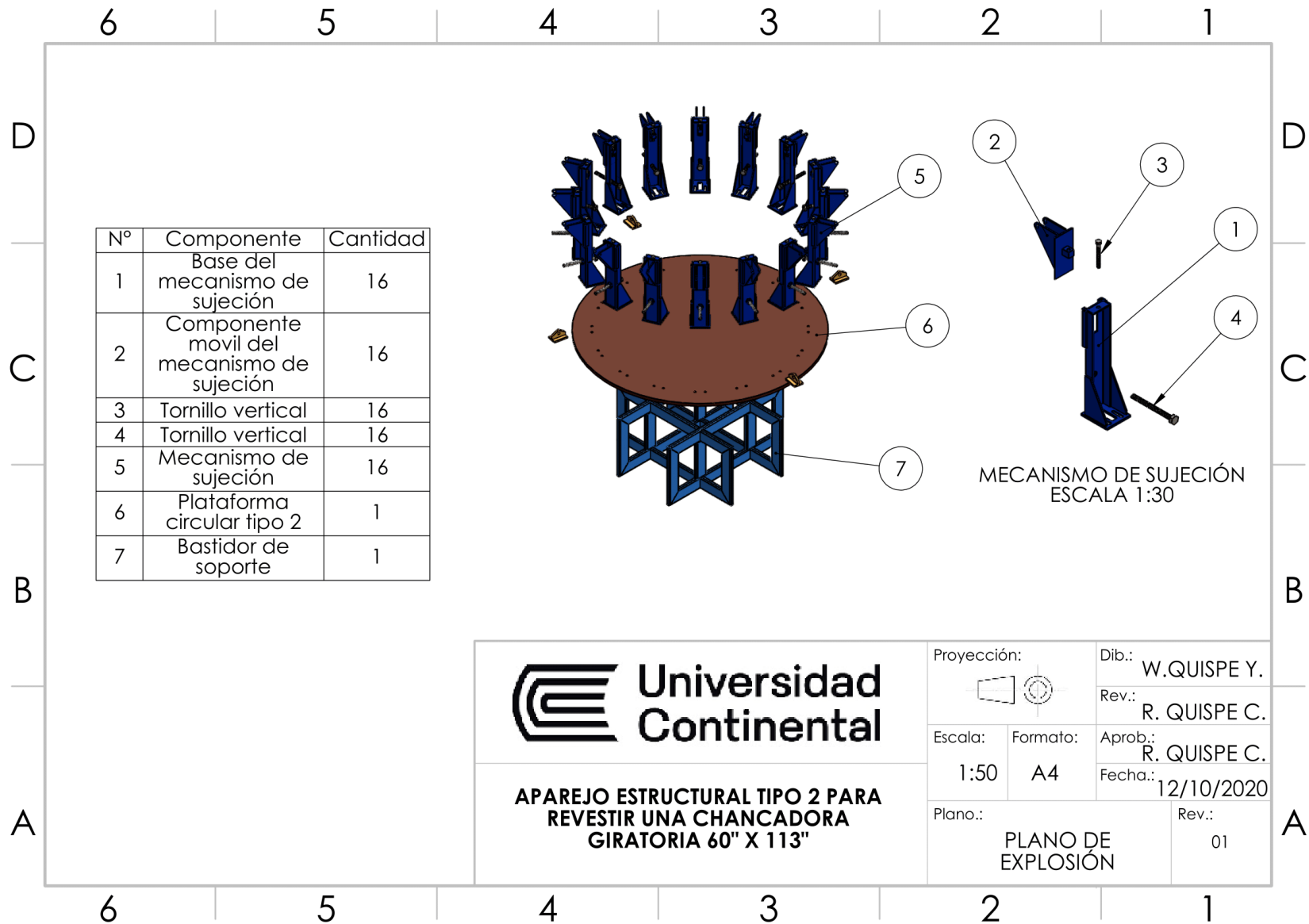
Proyección: 

Escala: 1:50    Formato: A4

Plano.: PLANO DE ENSAMBLE

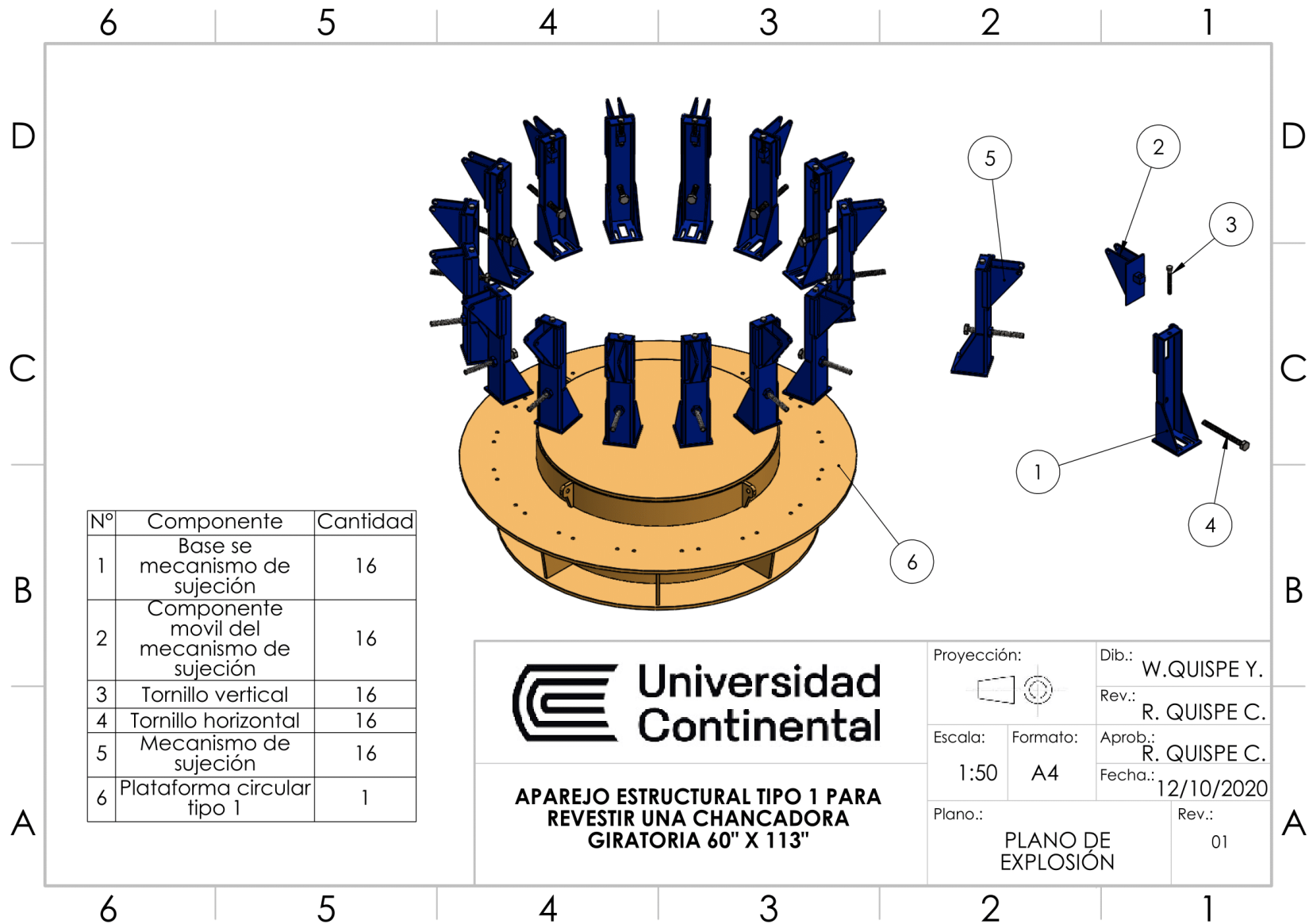
Dib.: W.QUISPE Y.  
Rev.: R. QUISPE C.  
Aprob.: R. QUISPE C.  
Fecha.: 12/10/2020  
Rev.: 01





**APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 2 PARA  
REVESTIR UNA CHANCADORA  
GIRATORIA 60" X 113"**

|                            |          |                    |            |
|----------------------------|----------|--------------------|------------|
| Proyección:                |          | Dib.: W.QUISPE Y.  |            |
|                            |          | Rev.: R. QUISPE C. |            |
| Escala:                    | Formato: | Aprob.:            | Fecha:     |
| 1:50                       | A4       | R. QUISPE C.       | 12/10/2020 |
| Plano.: PLANO DE EXPLOSIÓN |          |                    | Rev.: 01   |



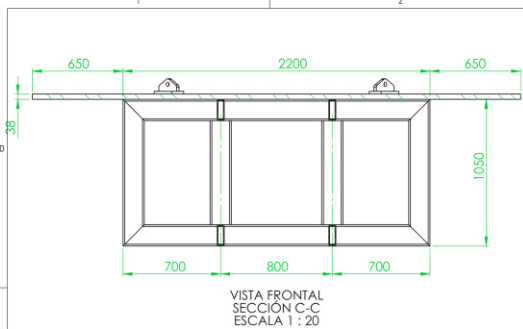
| Nº | Componente                                 | Cantidad |
|----|--|----------|
| 1  | Base se mecanismo de sujeción              | 16       |
| 2  | Componente móvil del mecanismo de sujeción | 16       |
| 3  | Tornillo vertical                          | 16       |
| 4  | Tornillo horizontal                        | 16       |
| 5  | Mecanismo de sujeción                      | 16       |
| 6  | Plataforma circular tipo 1                 | 1        |



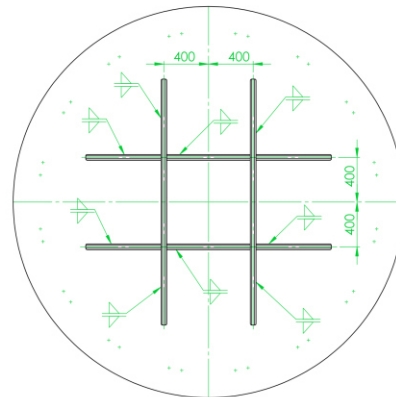
**APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 1 PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"**

|                            |          |                    |              |
|----------------------------|----------|--------------------|--------------|
| Proyección:                |          | Dib.: W.QUISPE Y.  |              |
|                            |          | Rev.: R. QUISPE C. |              |
| Escala:                    | Formato: | Aprob.:            | R. QUISPE C. |
| 1:50                       | A4       | Fecha:             | 12/10/2020   |
| Plano.: PLANO DE EXPLOSIÓN |          |                    | Rev.: 01     |



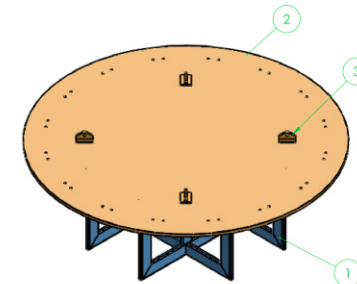


VISTA FRONTAL  
SECCION C-C  
ESCALA 1:20



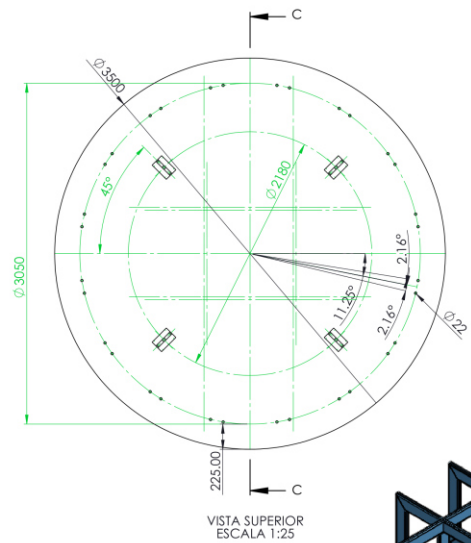
VISTA DE DETALLE INFERIOR  
ESCALA 1:25

| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA                | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|-----------------|-----------------------------|-------------|----------|
| 1               | BASTIDOR DE APAREJO TIPO 03 |             | 1        |
| 2               | PLATAFORMA CIRCULAR TIPO 03 |             | 1        |
| 3               | OREJA DE IZAJE TIPO 02      |             | 4        |

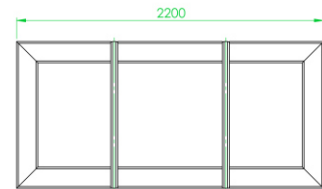


VISTA ISOMETRICO

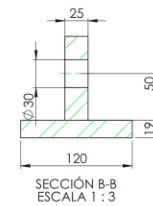
APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 03



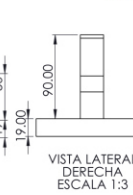
VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1:25



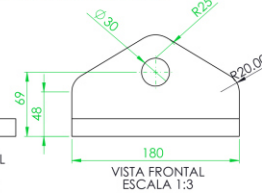
VISTA FRONTAL  
ESCALA 1:20



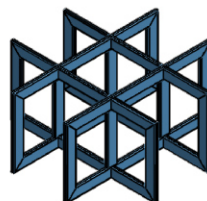
SECCION B-B  
ESCALA 1:3



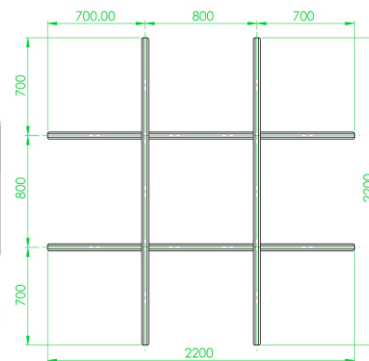
VISTA LATERAL  
DERECHA  
ESCALA 1:3



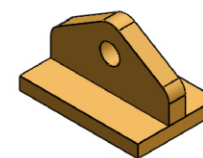
VISTA FRONTAL  
ESCALA 1:3



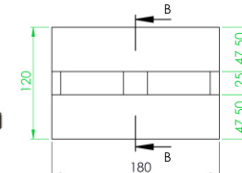
VISTA ISOMETRICA  
BASTIDOR DE APAREJO TIPO 03



VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1:20



VISTA ISOMETRICA  
OREJA DE IZAJE TIPO 02



VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1:3

**NOTAS:**

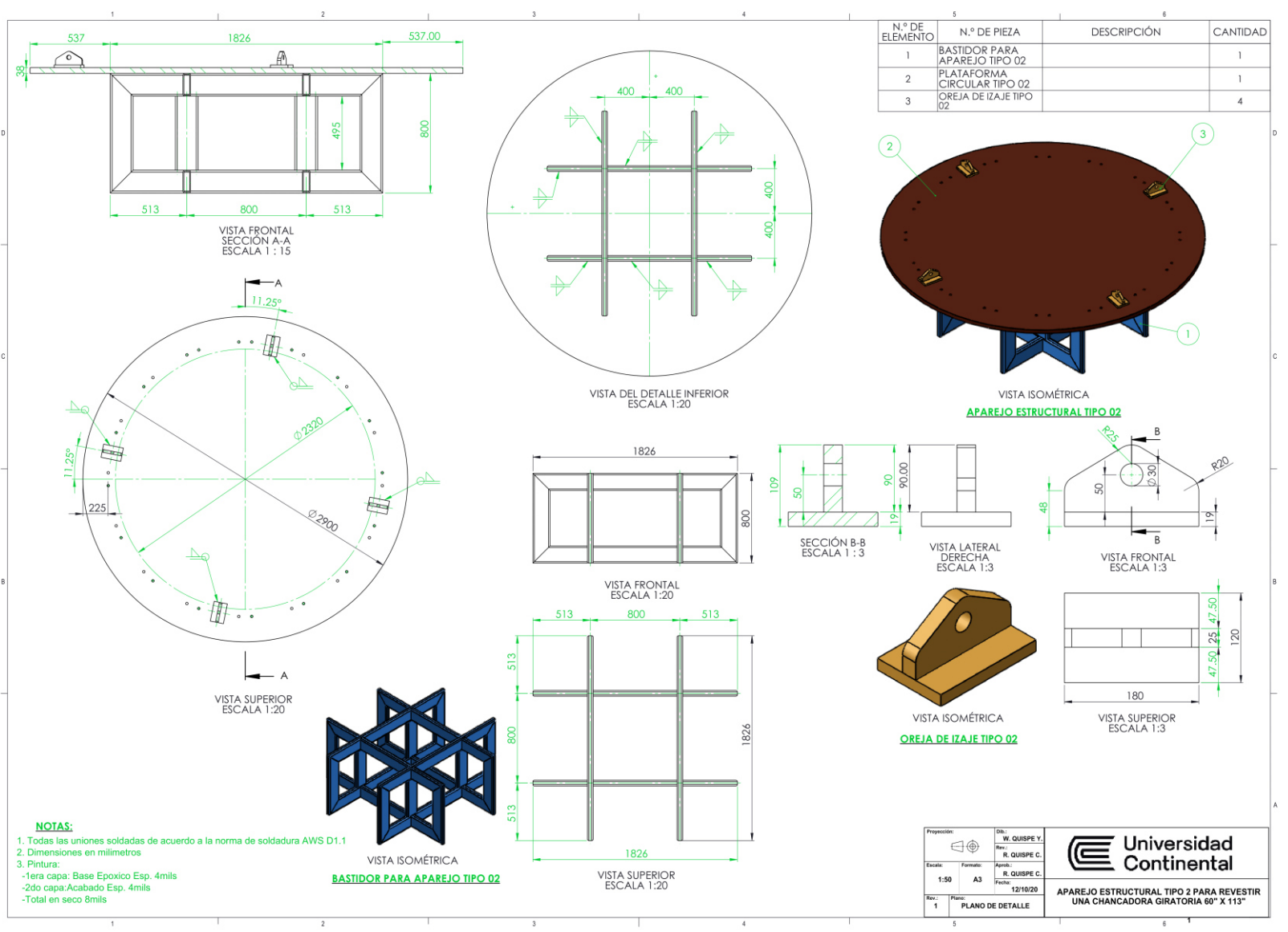
1. Todas las uniones soldadas de acuerdo a la norma de soldadura AWS D1.1
2. Dimensiones en milímetros
3. Pintura:
  - 1era capa: Base Epoxico Esp. 4mils
  - 2do capa: Acabado Esp. 4mils
  - Total en seco 8mils

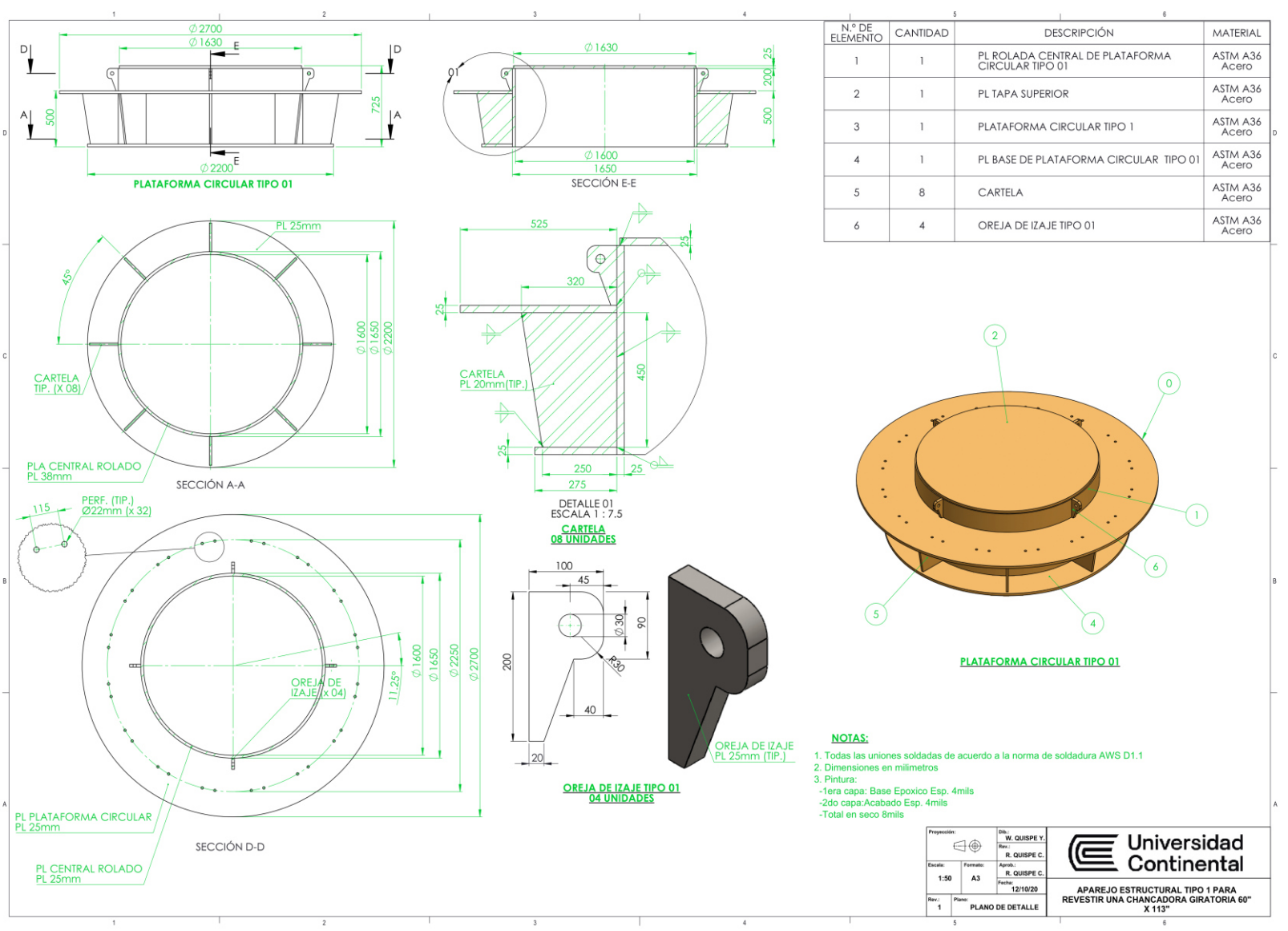
|             |                  |              |
|-------------|------------------|--------------|
| Proyección: | DR:              | W. QUISPE Y. |
|             | Rev:             | R. QUISPE C. |
| Escala:     | Formato:         | Aprob:       |
| 1:50        | A3               | R. QUISPE C. |
| Rev: 1      | Plano:           | Fecha:       |
|             | PLANO DE DETALLE | 12/10/20     |



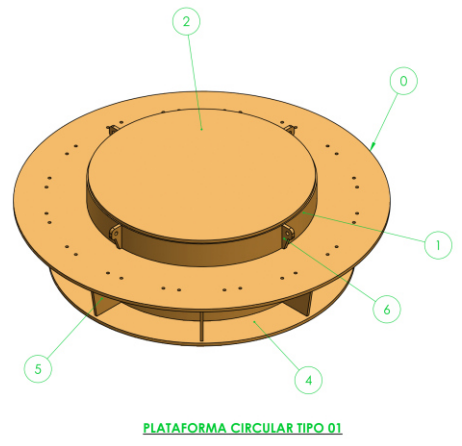
APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 3 PARA  
REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60"  
X 113"





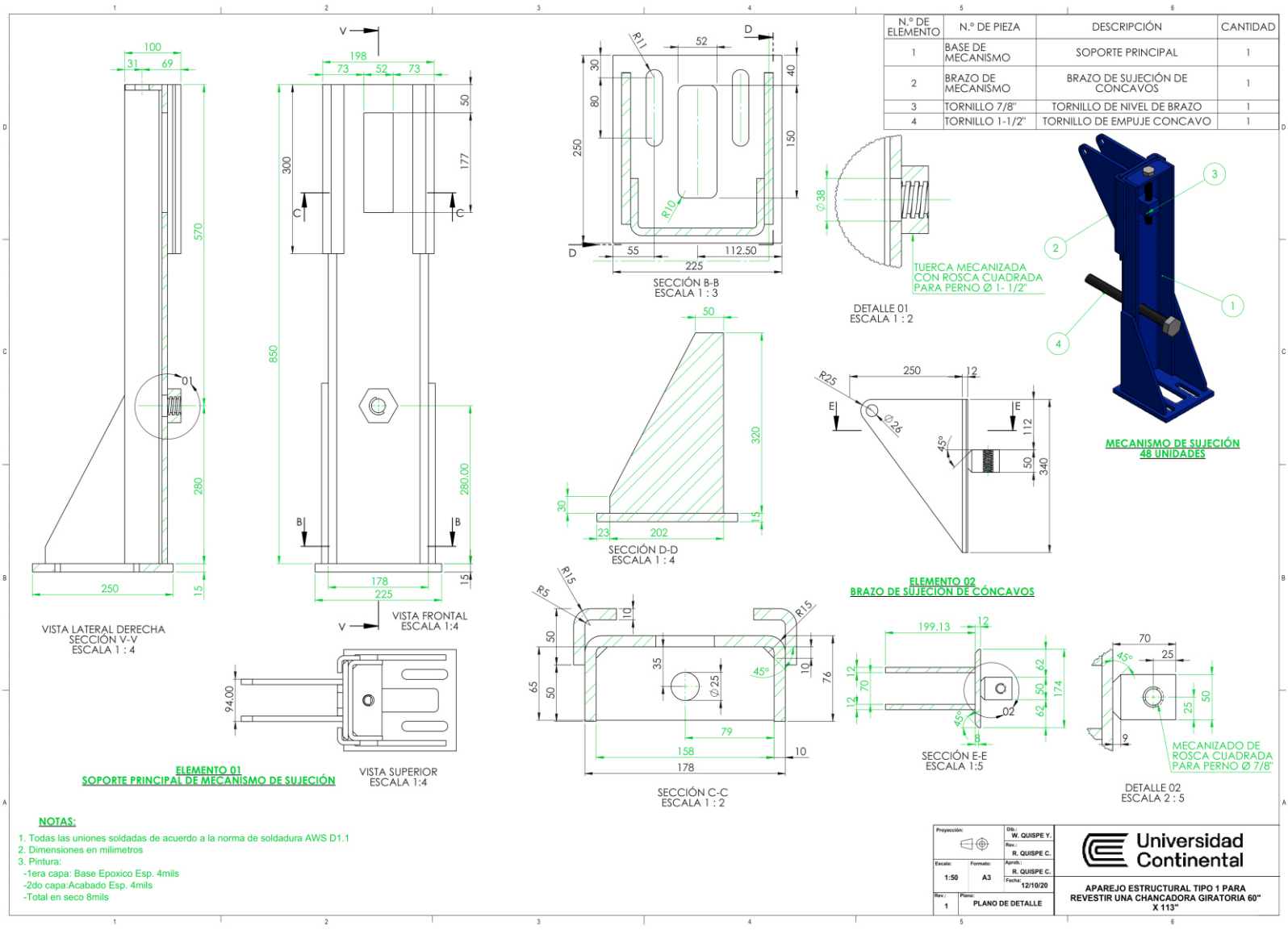


| N.º DE ELEMENTO | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                                      | MATERIAL       |
|-----------------|----------|--|----------------|
| 1               | 1        | PL ROLADA CENTRAL DE PLATAFORMA CIRCULAR TIPO 01 | ASTM A36 Acero |
| 2               | 1        | PL TAPA SUPERIOR                                 | ASTM A36 Acero |
| 3               | 1        | PLATAFORMA CIRCULAR TIPO 1                       | ASTM A36 Acero |
| 4               | 1        | PL BASE DE PLATAFORMA CIRCULAR TIPO 01           | ASTM A36 Acero |
| 5               | 8        | CARTELA  | ASTM A36 Acero |
| 6               | 4        | OREJA DE IZAJE TIPO 01                           | ASTM A36 Acero |



- NOTAS:**
1. Todas las uniones soldadas de acuerdo a la norma de soldadura AWS D1.1
  2. Dimensiones en milímetros
  3. Pintura:
    - 1era capa: Base Epoxico Esp. 4mils
    - 2do capa: Acabado Esp. 4mils
    - Total en seco 8mils

|              |                         |   |  |
|--------------|-------------------------|---|--|
| Preparación: |                         | Dib.: W. QUISPE Y.<br>Rev.: R. QUISPE C.  |  |
| Escala: 1:50 | Formato: A3             | Aprob.: R. QUISPE C.<br>Fecha: 12/10/20   |  |
| Rev.: 1      | Plano: PLANO DE DETALLE | <b>APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 1 PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"</b> |  |



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA       | DESCRIPCIÓN                   | CANTIDAD |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|----------|
| 1               | BASE DE MECANISMO  | SOPORTE PRINCIPAL             | 1        |
| 2               | BRAZO DE MECANISMO | BRAZO DE SUJECIÓN DE CONCAVOS | 1        |
| 3               | TORNILLO 7/8"      | TORNILLO DE NIVEL DE BRAZO    | 1        |
| 4               | TORNILLO 1-1/2"    | TORNILLO DE EMPUJE CONCAVO    | 1        |

VISTA LATERAL DERECHA  
SECCIÓN V-V  
ESCALA 1 : 4

VISTA FRONTAL  
ESCALA 1:4

VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1:4

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3

SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 4

SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 : 2

DETALLE 01  
ESCALA 1 : 2

ELEMENTO 02  
BRAZO DE SUJECIÓN DE CONCAVOS

SECCIÓN E-E  
ESCALA 1:5

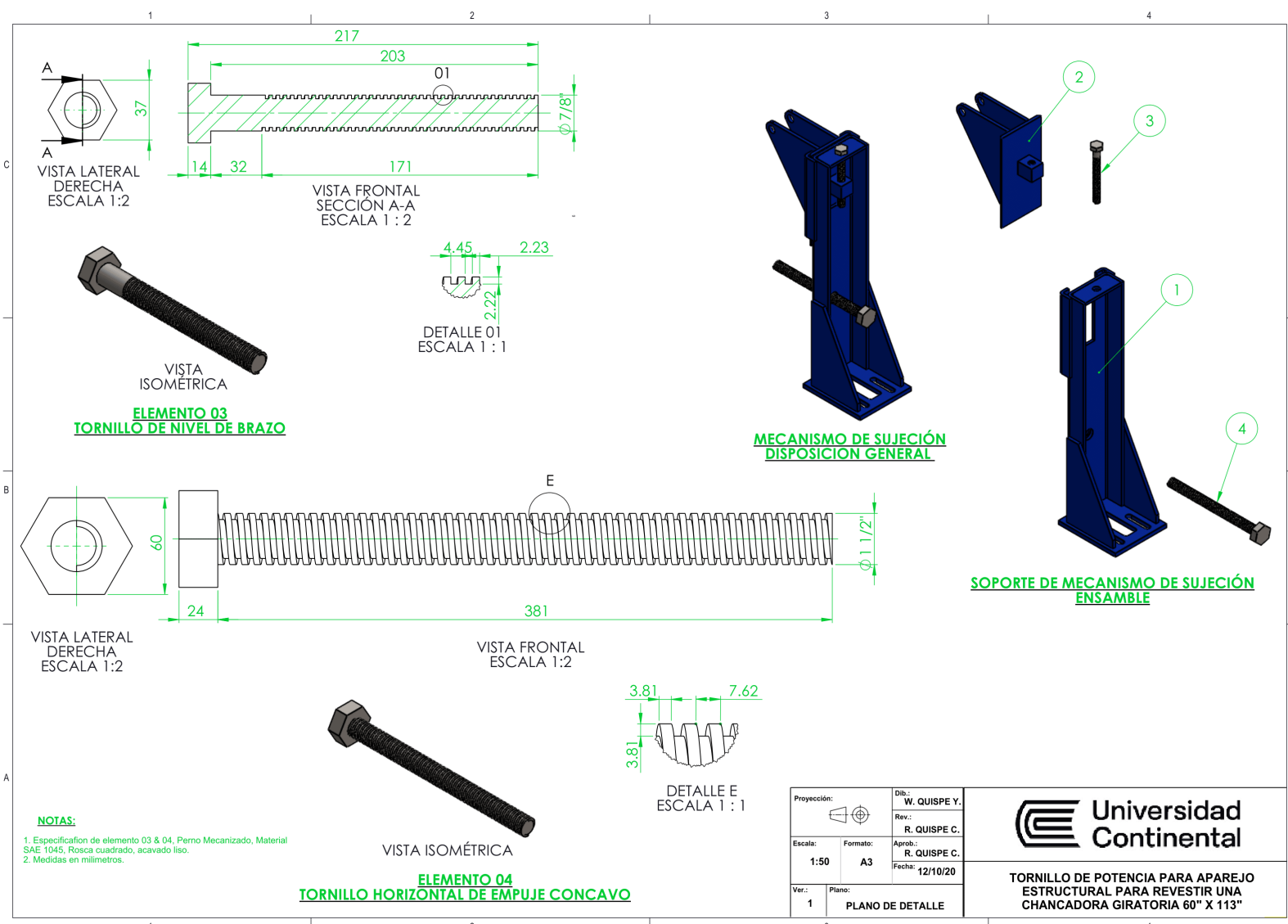
DETALLE 02  
ESCALA 2 : 5

- NOTAS:**
- Todas las uniones soldadas de acuerdo a la norma de soldadura AWS D1.1
  - Dimensiones en milímetros
  - Paintura:
    - 1era capa: Base Epoxico Esp. 4mils
    - 2da capa:Acabado Esp. 4mils
    - Total en seco 8mils

|             |                  |
|-------------|------------------|
| Proyección: | Dib.:            |
| Escala:     | W. QUISPE Y.     |
| Formato:    | R. QUISPE C.     |
| Rev:        | 1                |
| Plano:      | PLANO DE DETALLE |

**Universidad Continental**

APAREJO ESTRUCTURAL TIPO 1 PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60° X 113"



VISTA LATERAL DERECHA ESCALA 1:2

VISTA FRONTAL SECCIÓN A-A ESCALA 1:2

VISTA ISOMÉTRICA

**ELEMENTO 03**  
**TORNILLO DE NIVEL DE BRAZO**

DETALLE 01 ESCALA 1:1

**MECANISMO DE SUJECCIÓN**  
**DISPOSICIÓN GENERAL**

**SOPORTE DE MECANISMO DE SUJECCIÓN**  
**ENSAMBLE**

VISTA LATERAL DERECHA ESCALA 1:2

VISTA FRONTAL ESCALA 1:2

VISTA ISOMÉTRICA

**ELEMENTO 04**  
**TORNILLO HORIZONTAL DE EMPUJE CONCAVO**

DETALLE E ESCALA 1:1

**NOTAS:**  
1. Especificación de elemento 03 & 04, Perno Mecanizado, Material SAE 1045, Rosca cuadrado, acabado liso.  
2. Medidas en milímetros.

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Proyección:             | Dib.: W. QUISPE Y.   |
| Escala: 1:50            | Rev.: R. QUISPE C.   |
| Formato: A3             | Aprob.: R. QUISPE C. |
| Ver.: 1                 | Fecha: 12/10/20      |
| Plano: PLANO DE DETALLE |                      |



**TORNILLO DE POTENCIA PARA APAREJO ESTRUCTURAL PARA REVESTIR UNA CHANCADORA GIRATORIA 60" X 113"**