

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:**  
**IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVO EXTRACTOR DE POLO PARA**  
**MANTENIMIENTO ELÉCTRICO DE MOTOR ANULAR GMD DE LOS**  
**MOLINOS DE BOLAS C2 SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**  
**DANTE IVAN VILLANUEVA CONDORI**  
**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**AREQUIPA – PERU**

**2020**



## **DEDICATORIA**

A mis padres Evaristo y Juana por su apoyo incondicional para lograr mis metas profesionales y mi formación como persona.

A mis hermanos y amigos por sus consejos siempre presentes.

A mis profesores de la Universidad y colegas por compartir sus conocimientos y experiencia.

## RESUMEN

En el proceso de Extracción de cobre en una línea de producción de mineral de tipo no lixiviable, se cuenta con una serie de equipos encargados de la conminución de mineral en el proceso; Para llegar a una etapa de Flotacion para la obtención del concentrado de cobre, se tienen procesos previos como chancado primario, secundario, terciario, clasificación y molienda.

La molienda es la última etapa de conminución de partículas y se realizan en molinos de bolas de gran capacidad (22 MW) en Sociedad Minera Cerro Verde. Estos molinos están equipados con motores del tipo anular GMD (Gearless motor Drive), libres de partes mecánicas en su accionamiento (reductores, engranajes, ejes, rodamientos) que produzcan fricción entre componentes; Los accionamientos GMD tienen algunas desventajas, como el presentar fallas que otros molinos no tienen, por ejemplo, que sus polos magnéticos resulten quemados.

El rotor del motor está conformado por un número de polos magnéticos (distribuidos en toda la circunferencia del casco del molino) fijados sobre una brida y a su vez todo el rotor está cubierto por una estructura de anillo que contiene al estator; la estructura del estator no permite acceder directamente a los equipos de izaje para retirar el polo dañado ante una posible falla, es por ello que se requiere la implementación de un dispositivo mecánico que cumpla la función de sujetar y extraer el polo dañado hasta un posición libre vertical es decir accesible para los equipos de izaje sin mover el estator.

En el presente trabajo se desarrolla la implementación de un dispositivo Extractor el cual permite cambiar los polos dañados de manera puntual, es decir sin el desmontaje total del estator del motor.

**Palabras clave: Dispositivo extractor, polos magnéticos, motor GMD (Gearless Motor drive), motor anular, planta concentradora, molienda.**

## ABSTRACT

In the process of Extraction of copper in a non-leachable type mineral production line, there is a series of equipment in charge of the comminution of mineral in the process. To reach a Flotation stage to obtain the copper concentrate, there are previous processes such as primary, secondary, tertiary crushing, classification and grinding.

Milling is the last stage of particle comminution and is carried out in large capacity ball mills (22 MW) at Sociedad Minera Cerro Verde. These mills are equipped with GMD (Gearless motor Drive) annular type motors, free of mechanical parts in their drive (reducers, gears, shafts, bearings) that produce friction between components; GMD drives have some disadvantages, such as having faults that other mills do not have, for example, that their magnetic poles are burned out.

The motor rotor is made up of a number of magnetic poles (distributed over the entire circumference of the mill hull) fixed on a flange and in turn the entire rotor is covered by a ring structure that contains the stator; the structure of the stator does not allow direct access to the lifting equipment to remove the damaged pole in the event of a possible failure, which is why the implementation of a mechanical device is required that fulfills the function of holding and extracting the damaged pole to a free position vertical ie accessible to lifting equipment without moving the stator.

In the present work, the implementation of an Extractor device is developed that allows the damaged poles to be changed in a timely manner, that is, without total disassembly of the motor stator.

**Keywords: Extraction device, magnetic poles, GMD (Gearless Motor drive) motor, annular motor, concentrator plant, grinding.**

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
CAPÍTULO I CURRICULUM VITAE.....	1
1.1. Información Personal.....	1
1.2. Formación Académica.....	1
1.3. Experiencia laboral .....	1
1.4. Competencias .....	4
CAPÍTULO II GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	6
2.1. Descripción de la empresa.....	6
2.1.1. Reseña Histórica .....	6
2.1.2. Visión y misión .....	6
2.1.3. Organización .....	6
2.1.4. Seguridad Salud y medio ambiente .....	7
CAPÍTULO III OBJETIVOS DE LA MEMORIA DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 9	
3.1. Objetivo General.....	9
3.2. Objetivos Específicos .....	9
3.3. Justificación .....	9
3.4. Alcances y Limitaciones.....	9
CAPÍTULO IV DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	11
4.1. Molinos de bolas con accionamiento tipo GMD en Minera Cerro Verde Concentradora C2 .....	11
4.2. La minería en el Perú.....	12
4.2.1. Obtención de cobre en sociedad Minera Cerro Verde .....	13

4.2.2.	Molienda y equipos dentro del proceso de Extracción de Concentrado de Cobre en la concentradora C2 .....	17
CAPÍTULO V MARCO TEORICO .....		19
5.1.	Molinos de bolas.....	19
5.2.	Molienda.....	19
5.3.	Tipos de accionamiento para Molinos.....	21
5.3.1.	Accionamiento mediante engranajes .....	22
5.3.2.	Accionamiento por motor de anillo GMD.....	24
5.4.	Mantenimiento en motores tipo GMD.....	30
5.5.	Antecedentes de cambios de polos magnéticos en compañías mineras con equipos similares. ....	32
CAPÍTULO VI DISEÑO DE DISPOSITIVO EXTRACTOR PARA CAMBIO DE POLO DE UN MOTOR ANULAR GMD .....		35
6.1.	Análisis del diseño del dispositivo Extractor de Polos.....	35
6.2.	Componentes principales del dispositivo extractor de polos. ....	37
6.2.1.	Soportes de sujeción C.....	37
6.2.2.	Base fija .....	38
6.2.3.	Puntos de Izaje .....	38
6.2.4.	Carro Inferior .....	38
6.2.5.	Carro Superior.....	38
6.2.6.	Pórtico.....	39
6.2.7.	Ejes guidores .....	39
6.2.8.	Sistema de accionamiento por tornillos de potencia.....	39
6.2.9.	Flange Mill.....	39
6.3.	Parámetros de diseño .....	40
6.3.1.	Dimensiones generales .....	40

6.3.2.	Angulo de desfase (Posición de polos dañados) .....	41
6.3.3.	Capacidad del dispositivo extractor .....	43
6.3.4.	Configuración del GMD del Molino .....	43
6.4.	Cálculo de características del dispositivo .....	43
6.4.1.	Selección del sistema de accionamiento .....	43
6.4.2.	Selección de los componentes de sujeción de base de dispositivo .....	51
6.4.3.	Sistema de sujeción del Polo .....	55
6.4.4.	Elementos de rodadura.....	56
6.5.	Normas y estándares a usarse .....	60
6.5.1.	AISC .....	60
6.5.2.	Materiales.....	61
6.5.3.	Materiales para Soldadura.....	62
<b>CAPÍTULO VII CALCULO DE RESISTENCIA DE COMPONENTES DE</b>		
<b>DISPOSITIVO EXTRACTOR DE POLO EN UN GMD .....</b>		
7.1.	Dispositivo Extractor de polo .....	66
7.2.	Análisis de Componentes – Normas de referencia.....	67
7.3.	Cálculo de cargas.....	68
7.3.1.	Carga Viva .....	69
7.3.2.	Carga Muerta .....	69
7.3.3.	Carga dinámicas o impacto.....	69
7.4.	Cálculo de resistencia de componentes .....	69
7.4.1.	Soportes de sujeción C (Base) .....	69
7.4.2.	Base fija .....	74
7.4.3.	Carro Inferior .....	80
7.4.4.	Tornillos de Potencia .....	95
7.4.5.	Carro Superior.....	102



7.4.6.	Pórtico .....	108
7.4.7.	Barras Guías .....	113
7.4.8.	Selección de rodamientos .....	118
7.4.9.	Pernería .....	121
CAPÍTULO VIII PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE POLO DEL ROTOR DE UN MOTOR GMD PARA MOLINO DE BOLAS .....		124
8.1.	Introducción .....	124
8.2.	Instrucciones de Seguridad .....	124
8.3.	Procedimiento de Cambio de Polo de un motor GMD para un molino de bolas .....	124
8.3.1.	Ubicación de polos en el GMD .....	124
8.3.2.	Habilitado de accesos temporales normados. ....	124
8.3.3.	Desmontaje de Tapas del estator y tapa del rotor del GMD .....	125
8.3.4.	Instalación de Canales C (Anclaje de base fija) .....	126
8.3.5.	Montaje de base fija .....	127
8.3.6.	Desmontaje de bulones laterales .....	128
8.3.7.	Sujeción del Polo con el dispositivo extractor. ....	128
8.3.8.	Extracción de Polo .....	133
8.3.9.	Montaje de Polo en GMD .....	135
8.3.10.	Posiciones de mesa fija .....	136
8.4.	Cronograma de tiempo de cambio de Polos - Referencial .....	137
CAPÍTULO IX ASPECTO ECONOMICO .....		139
9.1.	Presupuesto .....	139
CONCLUSIONES .....		141
LISTA DE REFERENCIAS .....		143
ANEXOS .....		145
A.	<b>Anexo 1: Estructura de Costos de fabricación y cambio de dispositivo</b>	

<b>extractor de Polo.....</b>	<b>146</b>
<b>B. Anexo 2: Diagrama de Gantt “Cambio de Polo en Molino ML-401” ..</b>	<b>146</b>
<b>C. Anexo 3: Planos de Ingeniería de detalle de Dispositivo extractor de Polo</b>	<b>146</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Logo de Prodisa [1].....	6
Figura 2. Organización Prodisa [Elaboración Propia].....	7
Figura 3. Molinos de bolas con accionamiento del tipo GMD [2].....	12
Figura 4. Molinos de bolas ML401, Concentradora C2 [Elaboración propia].....	12
Figura 5. Productores de cobre a nivel mundial 2019 [3] .....	13
Figura 6. Diagrama de flujo general del proceso de planta de óxidos [7].....	14
Figura 7. Principales equipos del proceso de concentrado de cobre en Concentradora C2 [4] .....	17
Figura 8. Vista 3D lateral del área de molienda C2 [2].....	18
Figura 9. Molinos de bolas, partes principales [2] .....	19
Figura 10. Movimiento de cascada y catarata en un molino [2].....	21
Figura 11. Configuración Europea de motor [6] .....	22
Figura 12. Configuración americana en un accionamiento [6] .....	23
Figura 13. Molino de bolas de accionamiento con motor anular [2].....	24
Figura 14. Cilindro del molino de bolas [2] .....	25
Figura 15. Ubicación del sistema de accionamiento [2].....	26
Figura 16. Ubicación de cojinetes en un molino de bolas [2] .....	26
Figura 17. Lubricación del cojinete fijo [2].....	27
Figura 18. Lubricación del cojinete móvil [2].....	27
Figura 19. Zapatas maestras y esclavas [2] .....	28
Figura 20. Frenos del molino junto a cojinete fijo [2].....	29
Figura 21. Frenos de Tipo Caliper [2] .....	29
Figura 22. Ubicación de Trunnion magnético [2] .....	30

Figura 23. (a) Ubicación de polo en brida [23] (b) Polo quemado [Elaboracion Propia]	31
Figura 24. Instalación de Polos en brida de molino - Instalación [16]	32
Figura 25. Motor anular con estator desplazado, polos libres - Molino 201 C1[Elaboración propia]	33
Figura 26. Cambio de Polo con herramienta C-Frame [7]	34
Figura 27. Vista frontal de la brida del molino [19]	36
Figura 28. Vista lateral sujeción del polo a brida [19]	37
Figura 29. Vista de molino lado alimentación ML-201 [Elaboración propia]	38
Figura 30. Vista de brida molino y polo unidos por bulón [19]	39
Figura 31. Dimensiones principales disponibles para el nuevo dispositivo [Elaboración propia]	40
Figura 32. Espacio libre para el retiro vertical de polo [Elaboración propia]	41
Figura 33. Primera configuración de polos dañados [Elaboración propia]	42
Figura 34. Angulo de desfase de polo segunda configuración [Elaboración propia]	43
Figura 35. Cuerdas o tipos de roscas para tornillos de potencia [8]	44
Figura 36. (a) Elevador con tornillo (b) Tornillo de avance impulsado por servomotor [8]	45
Figura 37. Análisis de fuerzas en el punto de contacto del tornillo con la tuerca [8]	46
Figura 38. Diversas condiciones terminales y sus respectivas longitudes equivalentes [25]	50
Figura 39. Anillo Seeger para ejes [20]	55
Figura 40. Análisis de tensiones (FEA) [21]	56
Figura 41. Prisma elipsoidal de distribución de la presión para contacto cilíndrico [8]	58
Figura 42. Tipos de juntas [10]	64

Figura 43. Máximo tamaño de soldadura tipo cateto o filete [10] .....	65
Figura 44. Dispositivo extractor de Polo [Elaboración propia].....	66
Figura 45. Sección de dispositivo extractor [Elaboración propia] .....	67
Figura 46. Tipos de juntas [9].....	69
Figura 47. Modelado de viga de sujeción C [Elaboración propia] .....	71
Figura 48. Asignación de cargas a viga C [Elaboración propia] .....	71
Figura 49. Ratio de esfuerzos de viga [Elaboración propia] .....	72
Figura 50. Resultados de esfuerzos en viga C [Elaboración propia].....	73
Figura 51. Resultados de deflexión de viga C [Elaboración propia].....	74
Figura 52. Modelado de base fija [Elaboración propia] .....	74
Figura 53. Dimensiones principales de base fija [Elaboración propia].....	75
Figura 54. Ubicación de fuerzas sobre base fija [Elaboración propia].....	77
Figura 55. Apoyos fijos de base fija [Elaboración propia].....	77
Figura 56. Gráfico de esfuerzo equivalente en base fija [Elaboración propia] .....	78
Figura 57. Deformación máxima de base fija (Elementos finitos) [Elaboración propia]79	
Figura 58. Gráfico de esfuerzo equivalente en base fija [Elaboración propia] .....	80
Figura 59. Deformación máxima de base fija (Elementos finitos) [Elaboración propia]80	
Figura 60. Dimensiones generales del carro inferior [Elaboración propia] .....	81
Figura 61. Mallado de estructura de carro inferior (A) [Elaboración propia] .....	83
Figura 62. Mallado de carro inferior (B) [Elaboración propia].....	84
Figura 63. Ubicación de cargas en estructura de carro (A) [Elaboración propia].....	84
Figura 64. Ubicación de cargas en estructura de carro (B) [Elaboración propia] .....	85
Figura 65. Apoyos fijos de segmento (A) de carro [Elaboración propia] .....	85
Figura 66. Apoyos fijos de segmento B de carro inferior [Elaboración propia] .....	86
Figura 67. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalentes (A) [Elaboración propia] 87	

Figura 68. Gráfico de ubicación de deformación máxima (A) [Elaboración propia] .....	87
Figura 69. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalente máximo en segmento (B) [Elaboración propia] .....	88
Figura 70. Gráfico de ubicación de deformación máxima [Elaboración propia] .....	89
Figura 71. Dimensiones de ruedas de carro inferior [Elaboración propia] .....	89
Figura 72. Sección de carro sujetador de Polo [Elaboración propia] .....	92
Figura 73. Rodillos superiores de carro inferior [Elaboración propia].....	93
Figura 74. (a) Diámetro libre de brida $\varnothing 66$ mm (b) Agujero en brida con extremo de tornillo de potencia. [Elaboración propia] .....	96
Figura 75. Dimensiones principales del carro superior [Elaboración propia].....	103
Figura 76. Mallado de carro superior [Elaboración propia] .....	105
Figura 77. Cargas sobre estructura de carro superior [Elaboración propia] .....	105
Figura 78. Apoyos fijos para simulación [Elaboración propia].....	106
Figura 79. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalentes [Elaboración propia].....	107
Figura 80. Deformación máxima en estructura de carro superior [Elaboración propia] .....	107
Figura 81. Dimensiones principales de pórtico [Elaboración propia] .....	108
Figura 82. Mallado de pórtico [Elaboración propia] .....	110
Figura 83. Cargas sobre estructura de pórtico [Elaboración propia] .....	111
Figura 84. Asignación de apoyo fijo de pórtico [Elaboración propia] .....	111
Figura 85. Gráfico de esfuerzo equivalente de Von Mises. [Elaboración propia] .....	112
Figura 86. Ubicación de deformación máxima de pórtico. [Elaboración propia] .....	113
Figura 87. Modelado de barra guía [Elaboración propia] .....	114
Figura 88. Acceso temporal de andamios normados [15] .....	125
Figura 89. Segmentos de tapas del estator y rotor [ 15] .....	126

Figura 90. Segmento de motor GMD sin tapas [Elaboración propia] .....	126
Figura 91. Montaje de soportes de sujeción “C” [15] .....	127
Figura 92. Montaje de base fija [15].....	127
Figura 93. Colocación de tuerca elongadora en bulones [17] .....	128
Figura 94. Retiro de bulones laterales de Polo [15] .....	128
Figura 95. (a) barras guía atraviesan carro y polo (b) Extremo de barras detrás de brida del molino [15] .....	129
Figura 96. (a) Sujeción del polo a desmontar (b) Retiro de bulón central [15].....	130
Figura 97. (a) Sujeción del polo a desmontar (b) Retiro de bulón central [15].....	130
Figura 98. Sujeción del extremo del tornillo de potencia inferior [Elaboración propia] .....	131
Figura 99. Sujeción del extremo del tornillo de potencia inferior (Lado descarga) [15] .....	131
Figura 100. Aseguramiento de extremo del tornillo de potencia del carro superior [Elaboración propia] .....	132
Figura 101. Nivelación de pórtico [Elaboración propia].....	132
Figura 102. Ensamble completo de dispositivo extractor de Polo [15].....	133
Figura 103. Extracción de polo con dispositivo [15].....	134
Figura 104. Izaje de polo con equipo de izaje [15] .....	135
Figura 105. Barras guidoras [Elaboración propia].....	136
Figura 106. Ubicación de mesa para polo posición 1 [15] .....	136
Figura 107. Ubicación de mesa para polo posición 2 [15] .....	137
Figura 108. Cronograma de Cambio de polo, referencia Molino ML 401 en Concentradora C2 [Elaboración propia].....	138
Figura 109. Presupuesto de fabricación de Dispositivo [Elaboración propia] .....	139

Figura 110. Presupuesto de maniobra de cambio de Polo en SMCV [Elaboración propia]

.....140



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del molino de bolas de C2 [24].....	35
Tabla 2. Valores de longitudes equivalentes en columnas [25] .....	50
Tabla 3. Dimensiones principales de roscas ISO [8].....	51
Tabla 4. Dimensiones principales de roscas unificada [8] .....	53
Tabla 5. Resistencia para pernos SAE [8] .....	54
Tabla 6. Resistencia para pernos de grado milimétricos [8].....	54
Tabla 7. Coeficientes de fricción superficial [8] .....	60
Tabla 8. <i>Aleante principal AISI-SAE [11]</i> .....	61
Tabla 9. Clasificación SAE de aceros [11].....	62
Tabla 10. Materiales aprobados WPS [10].....	63
Tabla 11. Materiales de aporte para resistencias similares [10] .....	63
Tabla 12. Materiales de aporte para resistencias similares [10].....	64
Tabla 13. Peso de componentes del Dispositivo extractor [Elaboración propia] .....	69
<b>Tabla 14. Combinación de cargas [Elaboración propia] .....</b>	<b>70</b>
Tabla 15. Cargas asignadas a soporte C [Elaboración propia] .....	70
Tabla 16. Cargas asignadas a base (Polo y carro móvil) [Elaboración propia].....	75
Tabla 17. Propiedades de materiales de base fija [Elaboración propia] .....	76
Tabla 18. Tipo de modelado [Elaboración propia].....	76
Tabla 19. Datos de mallado [Elaboración propia].....	76
Tabla 20. Resultados de análisis (Estático estructural FEA) [Elaboración propia].....	78
Tabla 21. Resultados de análisis (Estático estructural FEA) [Elaboración propia].....	79
Tabla 22. Cargas asignadas a carro inferior [Elaboración propia] .....	81
Tabla 23. Propiedades de material (estructura de carro) [Elaboración propia].....	82
Tabla 24. Datos de tipo de modelado [Elaboración propia] .....	82

Tabla 25. Datos de mallado (A) [Elaboración propia] .....	82
Tabla 26. Datos de mallado (B) [Elaboración propia].....	83
Tabla 27. Resultados de análisis FEA a carro superior. [Elaboración propia] .....	86
Tabla 28. Resultados de análisis FEA a carro superior (B) [Elaboración propia].....	88
Tabla 29. Coeficientes de resistencia a la rodadura [11] .....	97
Tabla 30. Coeficientes de fricción por deslizamiento [8].....	97
Tabla 31. Dimensiones de roscas estándares ACME [8] .....	99
Tabla 32. Factores de Área para áreas de cortante [8].....	100
Tabla 33. Cargas asignadas a carro superior [Elaboración propia] .....	103
Tabla 34. Propiedades del material del carro superior [Elaboración propia] .....	104
Tabla 35. Datos del modelado [Elaboración propia].....	104
Tabla 36. Datos de la malla [Elaboración propia] .....	104
Tabla 37. Resultados análisis FEA a carro superior [Elaboración propia].....	106
Tabla 38. Cargas asignadas a Pórtico [Elaboración propia] .....	109
Tabla 39. Propiedades del material del pórtico [Elaboración propia] .....	109
Tabla 40. Datos del modelado [Elaboración propia].....	109
Tabla 41. Datos del mallado [Elaboración propia].....	110
Tabla 42. Resultados del análisis FEA del pórtico [Elaboración propia].....	112
Tabla 43. Cargas asignadas a barras guía. [Elaboración propia].....	114
Tabla 44. Rodamientos axiales de bolas SKF [18].....	119
Tabla 45. Rodamientos axiales de bolas SKF [18].....	120
Tabla 46. Factores de seguridad estatica [18].....	121
Tabla 47. Tabla de dimensiones de esfuerzos en pernos según el diámetro [8].....	123
Tabla 48. Resumen de horas (Elaboración propia).....	142

# CAPÍTULO I CURRICULUM VITAE

## 1.1. Información Personal

- **DNI** 44612595
- **Dirección** Asoc. Augusto Salazar Bondy Mz D Lt 2 Alto  
Selva Alegre Arequipa- Perú
- **Teléfono móvil** 958307094
- **Correo electrónico** dnt.villanueva@gmail.com

## 1.2. Formación Académica

- **Abril 2006 – Enero 2011** – Ingeniería Mecánica
- **Institución** Universidad Nacional de San Agustín
- **Orden de Méritos** de Tercio Superior
- **Grado Académico** Bachiller en Ingeniería Mecánica

## 1.3. Experiencia laboral

**Agosto 2014 - Actualmente** **Supervisor de Campo**

**Empleador PRODISE SCRL**

### Proyectos

- Dic.19, Arequipa, Cambio de faja Transportadora 72” (1.1 Km) - CV12 en chancado primario, planta Concentradora C2 para SMCV.
- Mar 19-Nov19, Arequipa, Cambio e inspección de Polos magnéticos en motores GMD de molinos de bolas ML101, ML401, ML201 planta

Concentradora C2 para SMCV.

- Nov.19, Arequipa, Cambio de faja transportadora 42” (4.5 Km) en faja Overland, Hidrometalurgia para SMCV.
- Dic.17 – Abril 18, Arequipa, Instalación de líneas de vida normadas en Puentes grúa de concentradora C1 (Latchways – MSA) para SMCV.
- Feb 16 – Ene 17, Arequipa, Cambio de rodillos en HPGR chancadora terciaria en planta Concentradora C1 y C2 para SMCV.
- Mayo 16, Arequipa, Cambio de poleas de faja transportadora CV13 en chancado Secundario en planta concentradora C2 para SMCV.
- Mar 15 – Dic.16, Sierra Gorda Chile, Cambio de rodillos en HPGR Chancadora terciaria en planta concentradora para Minera Sierra Gorda SCM.
- Dic 15 – Feb.16, Arequipa, Instalación de Sistema Centralizado de gases CO2 y N2 para nueva planta Molibdeno de planta Concentradora C2 para CVPUE SMCV.
- Ago 14 – Nov 15, Arequipa, Diseño, fabricación y montaje de estructuras para el mejoramiento y mantenimiento de filtros Peng, Fei, chute de alimentación a Molino UBE y Segmento del DAT (Ducto de aire terciario) para la línea III YURA.

### **Actividades**

- Supervisión de campo
- Desarrollo, gestión de recursos para mantenimiento de equipo minero
- Desarrollo de diversos documentos técnicos.
- Elaboración de planos para construcción y fabricación de estructuras y ductos

en acero.

- Elaboración de memorias de cálculo de estructuras metálicas, herramientas y dispositivos.

**Mayo 2012 - agosto 2014      Encargado de producción – Ingeniero de diseño**

**Empleador H&R Servicios e Ingeniería EIRL**

### **Proyectos**

- Mayo 14, Arequipa, Implementación Estructuras metálicas a naves industriales para la ampliación de la planta de producción de FIMA S.A.
- Feb 14, Arequipa, Diseño fabricación y montaje de plataformas para equipos mayores de maestranza en nueva Planta METSO S.A.
- Marzo 13 – Jul 14: Arequipa – Majes; Obra saneamiento Majes – Planta de agua potable y residuales (PTAR –PTAP) Línea principal de distribución (Ingeniería de detalle, fabricación de niplera y estructuras metálicas) Marquisa SAC.
- Junio 12 – Set 13, Arequipa, Ingeniería de detalle, fabricación y montaje de estructuras metálicas para Centro Comercial Cerro Colorado – CMC MANTTO CYPCO - CENCOSUD. (260 Ton.)
- Mayo 12, Arequipa, Servicio de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para nueva Nave de arenado en planta FIMA S.A.

### **Actividades**

- Elaboración de planos de ingeniería básica y de detalle para la fabricación de estructuras metálicas.
- Elaboración de presupuestos.

- Elaboración de Dossiers de calidad.
- Encargado de Producción en Planta
- Implementación de sistema integrado de gestión – Homologación SGS.

**Mayo 2011 - Febrero 2012**

**Asistente de Diseño CAD / QA-QC**

**Empleador AID Ingenieros EIRL**

**Proyectos**

- Enero 12 – Feb 12, Marcona Ica, Servicio de diseño y fabricación de Refuerzo en cerramiento frontal de Nave línea 10 – San Nicolás para Centro Minero SHOUGANG HIERRO PERU SAA
- Nov. 11 – Enero 12, Marcona Ica, Servicio de Instalación nuevas celdas de Flotacion para KN (8CFM) – Planta magnética para Centro Minero SHOUGANG HIERRO PERU SAA
- Mayo 11 – Oct 11, Arequipa, Servicio de fabricación de tolvas de yeso y puzolana para la nueva línea III de cemento para cementera YURA S.A.

**Actividades**

- Elaboración de planos de detalle para fabricación de estructuras
- Levantamiento de información y elaboración de planos As – Built.
- Modelado tridimensional de estructuras metálicas.
- Control de Calidad en dimensiones y acabados de estructuras metálicas.

**1.4. Competencias**

**Idiomas**

- Español / Ingles básico

## **Software técnico**

- AutoCAD, Inventor, Solid Works,
- Microsoft Excel, Microsoft Word
- MS Project, S10
- SAP 2000
- ANSYS 19.1

## **CAPÍTULO II GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **2.1. Descripción de la empresa**

#### **2.1.1. Reseña Histórica**

Inicia sus operaciones en el año 2004, logra la integración de profesionales y técnicos de amplia experiencia en el rubro Metalmecánica, para realizar trabajos de Diseño, Fabricación, Montaje de Estructuras en general y Mantenimiento de Equipo Minero e Industrial.

PRODISE SRL surge como una alternativa competitiva, eficiente y rentable a los requerimientos actuales de la minería e industria, aplica los mejores valores de ética en todas nuestras acciones, con los clientes, los trabajadores, proveedores, dueños, la comunidad empresarial y todos con quienes se interactúa.



**Figura 1: Logo de Prodiser [1]**

#### **2.1.2. Visión y misión**

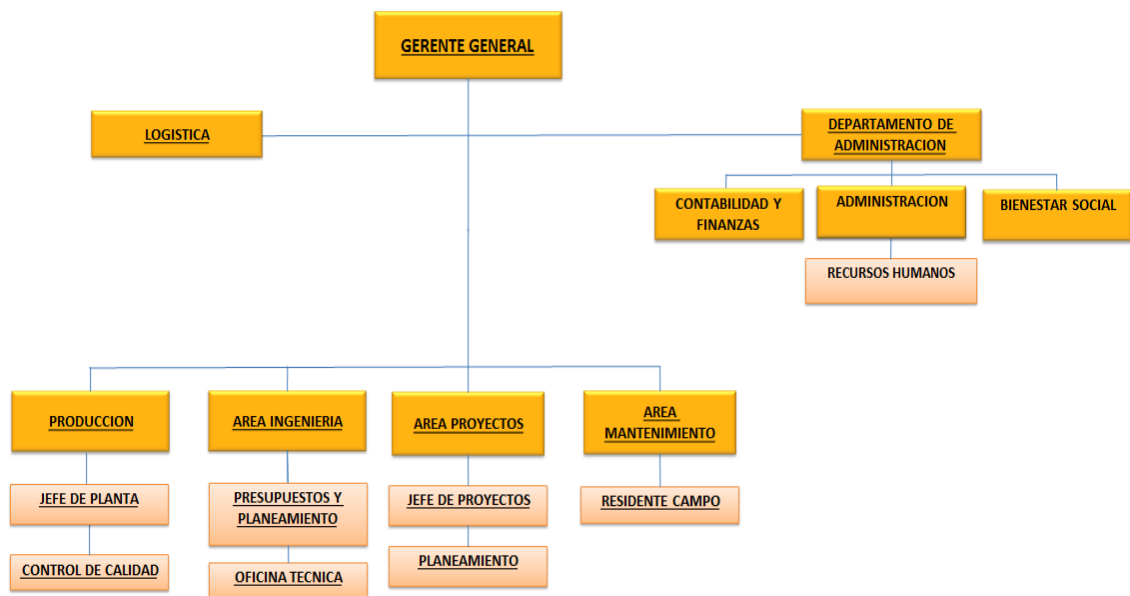
Ser la empresa de servicios más completa del sector, obteniendo los resultados esperados y la máxima satisfacción de nuestros clientes

Brindar servicios con responsabilidad y entregar productos de calidad, eficaz y eficientemente, de acuerdo a estándares nacionales”.

#### **2.1.3. Organización**

Organigrama de la empresa Prodiser.





**Figura 2. Organización Prodis [Elaboración Propia]**

#### 2.1.4. Seguridad Salud y medio ambiente

PRODIS SRL es una empresa metal-mecánica dedicada a ejecutar proyectos de diseño e Ingeniería, mantenimiento y reparación de equipos industriales y mineros; brindando servicio y productos de calidad, garantizando la seguridad y salud de los trabajadores, preservando nuestro medio ambiente y buscando la satisfacción de nuestros clientes y la comunidad en general. En tal sentido nos comprometemos a:

- Proteger la seguridad y salud de todos los miembros de la organización mediante la prevención de las lesiones, dolencias, enfermedades e incidentes relacionados con el trabajo, fomentando una cultura de prevención de riesgos laborales y un sistema de gestión que permita la protección de la seguridad y la salud de todos los miembros de la organización y la integración con los otros sistemas de gestión de las empresas.

- Cumplir con los requisitos legales y normativa aplicable en material de seguridad y salud, medio ambiente y calidad vigentes en nuestro país y la normativa de nuestros clientes.
- Mejorar continuamente el desempeño del Sistema de Gestión de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio ambiente y el Sistema de Gestión de calidad dando a nuestros productos y servicios un valor agregado.
- Promover la participación de los trabajadores en los elementos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional; considerando que el capital humano constituye el valor más importante de la empresa, sus opiniones han de ser consideradas. La formación e información sobre los riesgos, así como los medios y las medidas a adoptar para su prevención son de capital importancia y deben llegar a todos los empleados de la empresa.
- Preservar el medio ambiente previniendo la contaminación a través de la evaluación y reducción de los impactos ambientales, uso más eficiente de materias primas, gestión de residuos, consumo de agua y energía.
- Brindar un servicio con estándares de calidad que sugieren las exigencias del cliente; en forma oportuna, optimizando costos de producción y siendo competitivos, para ello contamos con personal calificado, equipos de alta tecnología, infraestructura adecuada que aseguren la calidad de los procesos, del producto y sentido respaldados con un sistema de Gestión de calidad que permita la mejora continua de nuestros procesos para incrementar nuestra eficacia.

## **CAPÍTULO III OBJETIVOS DE LA MEMORIA DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

### **3.1. Objetivo General**

Implementar un dispositivo extractor de Polo para el mantenimiento de los motores anulares en los molinos de bolas de la concentradora C2 de Sociedad Minera Cerro Verde S.A. ubicada en Arequipa (Motores anulares de 22 MW de potencia)

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Diseño de un dispositivo extractor de Polo que permita realizar el cambio de polos magnéticos del rotor sin el desmontaje del Estator del motor anular
- Determinar los tiempos de mantenimiento en el motor anular con el uso del dispositivo extractor de polo y de la manera convencional.
- El diseño debe de cumplir con los estándares de seguridad de la minera y el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

### **3.3. Justificación**

La minería es una actividad extractiva de gran importancia para el desarrollo económico del país. Por su producción y potencial, la minería peruana ocupa lugares importantes en Latinoamérica y en el mundo.

La industria minera actual cuenta con equipos modernos y de gran capacidad, la alta productividad tiene como consecuencia una determinada atención en la mantención de estos equipos.

El presente trabajo justifica su realización en que facilita soluciones de ingeniería para la mantención de equipos de gran capacidad en un menor tiempo y costo.

### **3.4. Alcances y Limitaciones**

Los alcances de este trabajo son los siguientes:

- Contempla la implementación de un dispositivo mecánico para el

mantenimiento eléctrico del motor GMD de los molinos de bolas en la planta concentradora C2 en Sociedad Minera Cerro Verde.

Las limitaciones de este trabajo son:

- No incluye el desarrollo del funcionamiento de un motor GMD ni su mantenimiento eléctrico específico solo la disciplina mecánica con el dispositivo como apoyo en la maniobra de mantenimiento correctivo.

## CAPÍTULO IV DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### 4.1. Molinos de bolas con accionamiento tipo GMD en Minera Cerro Verde Concentradora C2

En el proceso específico de molienda en la concentradora C2, se realiza en molinos de bolas de la marca Polysius de dimensiones 8.2 Diam. x14.6 metros y cuenta con un accionamiento del tipo GMD de 22.0 MW de potencia (Alstom). Se denomina GMD por el tipo de accionamiento del molino, por sus siglas en ingles Gearless Motor Drive o de manera más común como Gearless o motor de anillo.

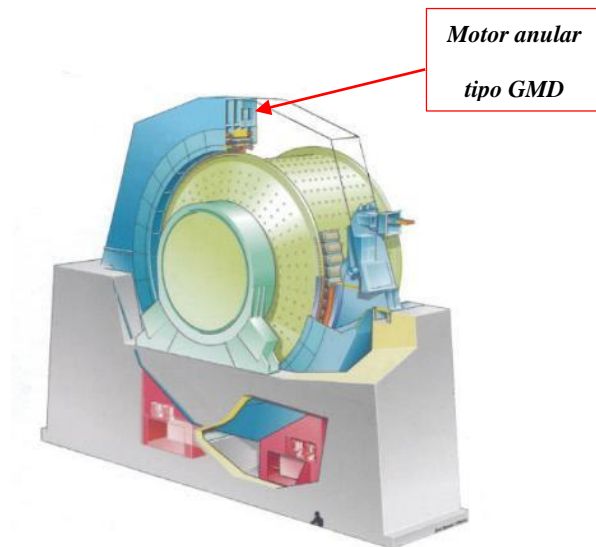
Los GMD'S son los accionamientos para molinos más eficientes y versátiles que existen en el mercado, con prestaciones específicamente desarrolladas para plantas concentradoras. Un accionamiento sin engranajes, es un sistema que utiliza directamente la fuerza electromotriz generada por el motor eléctrico para accionar el molino. En este accionamiento no existen acoplamientos ni engranajes ya que el mismo cuerpo del molino se convierte en el rotor del motor. Esto se logra instalando polos en una brida que se encuentra fija alrededor del molino, dichos polos serán cubiertos por una estructura metálica que internamente cuenta con bobinas distribuidas alrededor de la misma, la cual se convierte en el estator del motor.

**Los accionamientos GMD tienen algunas desventajas, como el presentar fallas que otros molinos no tienen; considérese por ejemplo un mayor riesgo de que sus polos magnéticos resulten quemados.**

Ante el caso de una falla en el rotor del motor GMD, específicamente en un polo magnético implicaría el mantenimiento de todo el motor, *es decir retirar, desplazar el estator del motor lo cual incurriría en semanas de detención del equipo, actividad que no es factible.*

**La implementación de un dispositivo extractor de Polo que permita solo el retiro**

del polo dañado sin el desmontaje o desplazamiento del estator del equipo conforma el problema que se aborda en este trabajo.



**Figura 3. Molinos de bolas con accionamiento del tipo GMD [2]**

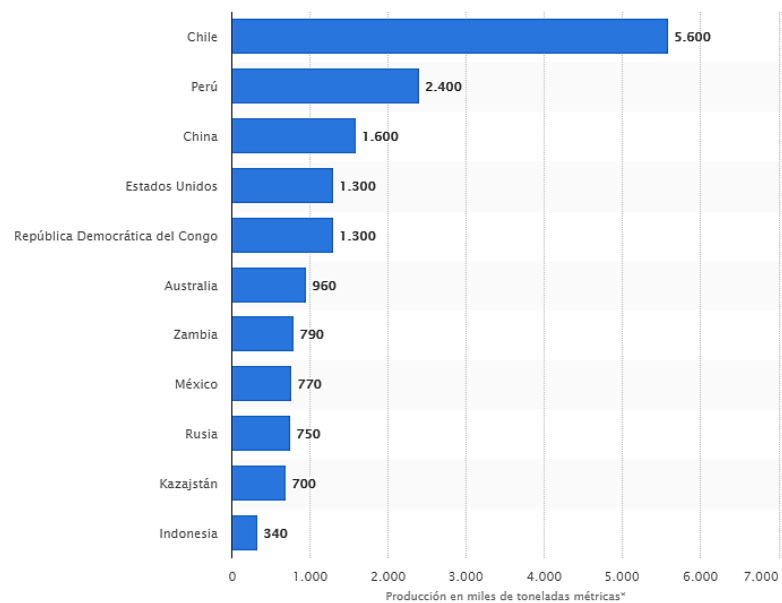


**Figura 4. Molinos de bolas ML401, Concentradora C2 [Elaboración propia]**

#### **4.2. La minería en el Perú**

La minería es una de las actividades que le provee al país más divisas, destacándose de ellas la extracción de cobre, según una estadística de los países productores de este

mineral a nivel mundial, el Perú se ubica como el segundo país productor.



**Figura 5. Productores de cobre a nivel mundial 2019 [3]**

El Perú es un buen ejemplo de las tendencias de expansión minera ocurrida en las dos últimas décadas. Además, es un país en el cual la minería juega un rol gravitante en su economía.

#### **4.2.1. Obtención de cobre en sociedad Minera Cerro Verde**

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (SMCV) opera una mina de cobre localizada en el distrito de Uchumayo, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa, en el sur del Perú. La mina Cerro Verde tiene una operación convencional a tajo abierto que emplea tradicionales sistemas de perforación, voladura, carga y acarreo.

La concesión de SMCV contiene minerales de cobre de tipo lixiviable (óxidos y sulfuros secundarios) y no lixiviable (sulfuros primarios). Cuenta con dos plantas concentradora de taza de mineral procesado; Concentradora C1 con 120,000 t/d, Concentradora C2 240,000 t/d y una planta SX – EW 58,000 t/d.

## Planta SX – EW

SMCV procesa el mineral lixiviable usando pilas de lixiviación (chancado y apilado) seguido por la extracción por solventes y electrodeposición (SX-EW) para producir cátodos de cobre de alta calidad. Fig.06.

El mineral no lixiviable es procesado en una planta concentradora con unidades de operación de chancado, molienda, flotación y filtrado del concentrado de cobre.

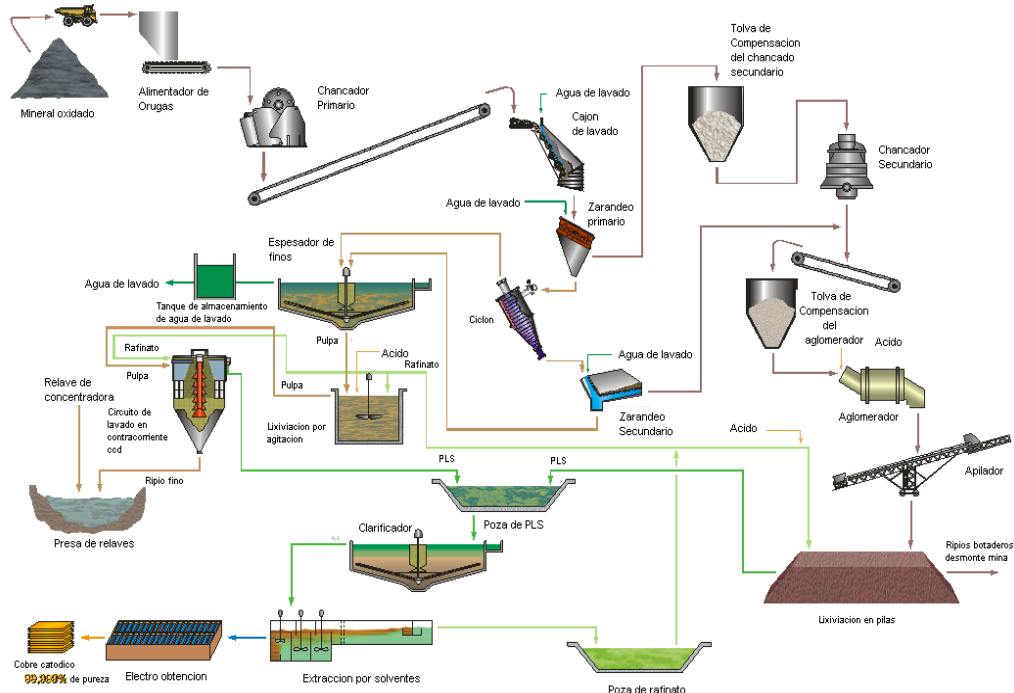


Figura 6. Diagrama de flujo general del proceso de planta de óxidos [7]

## Planta Concentradora C1 y C2

SMCV procesa el mineral no lixiviable en sus plantas concentradoras con unidades de operación similares de chancado, molienda, Flotación y filtrado del concentrado de cobre. Con el fin del desarrollo de la presente suficiencia se tomará como referencia la concentradora C2.



Después de un estudio de factibilidad para la ampliación de su capacidad de producción basada en las reservas de minerales estimadas en la concesión en la que opera, SMCV en el año 2012 comenzó con la ingeniería de su “Proyecto de Expansión de la Unidad de Producción” (Actualmente Concentradora C2), para producir concentrado de sulfuro de cobre con una concentración de cobre del 24%, así como una limitada cantidad del subproducto concentrado de molibdeno.

La taza nominal de mineral procesado de la nueva planta se proyectó en 240,000 t/d, actualmente con mejoras en sus dos líneas de procesamiento juntas se contemplan picos de producción de 320,000 t/d.

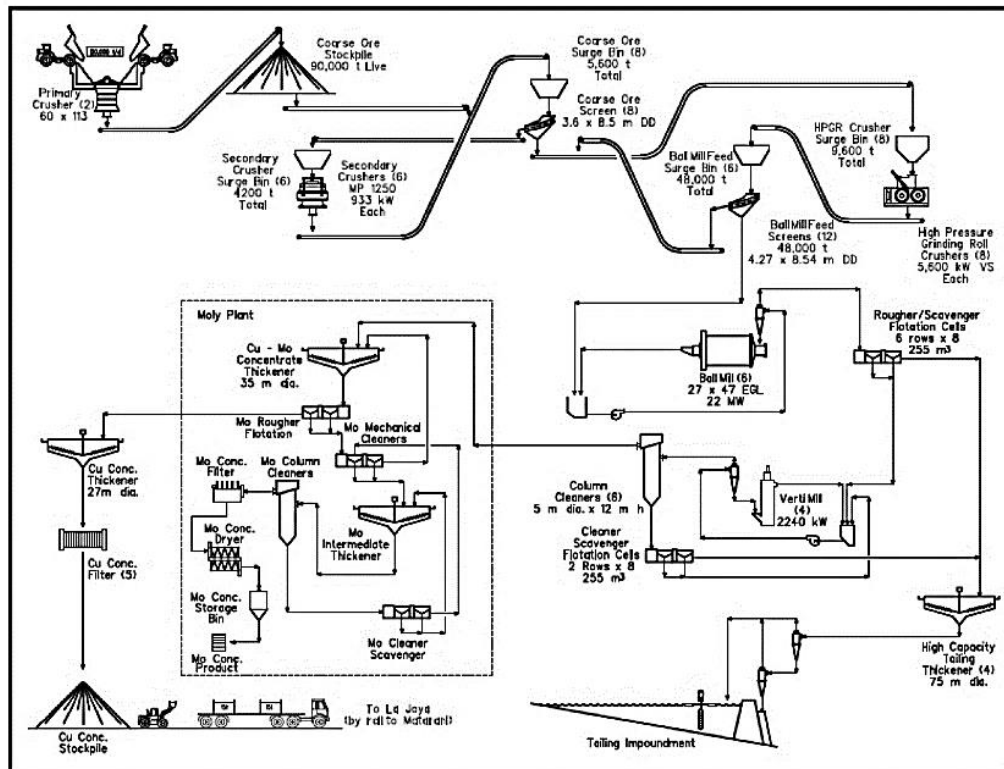
En esta ampliación de la producción, se proyectó la instalación de una nueva concentradora similar a la existente para tratar los minerales de sulfuros primarios, y la construcción de nuevas instalaciones para los almacenamientos de relaves.

Las instalaciones principales que están involucradas en el proceso de producción de los concentrados en la planta C2 de SMCV, se pueden observar en la Figura 7, y se listan a continuación.

- Dos chancadoras giratorias primarias, cada una con una faja transportadora hacia dos pilas de acopio (Stockpile).
- Dos líneas de chancado secundario compuesto por chancadoras cónicas que operan en un circuito cerrado con zarandas secas localizadas en instalaciones propias para estas.
- Dos líneas de chancado terciario, compuestos por chancadores de rodillos trituradores de alta presión (HPGR) que operan en circuito cerrado con las zarandas secas de alimentación de los molinos de bolas.
- Seis líneas de molienda, cada una compuesta de una tolva de alimentación, dos

zarandas de alimentación para el molino de bolas, un molino de bolas, y un sistema de ciclones para clasificación.

- Flotación del concentrado bruto de Cu-Mo en una fila de celdas por molino.
- Remolienda del concentrado en molinos verticales (Vertimill) con mejoramiento en una combinación de celdas de flotación mecánicas y de columnas. La remolienda está dividida en un circuito de alta concentración para el procesamiento de concentrado “rougher” y un circuito de baja concentración para el procesamiento de concentrado “rougher-scavenger”. Un proceso de re limpieza (releaner) procesa una porción del concentrado del primer limpiador y produce un concentrado “bulk” final.
- Espesador de concentrado.
- Separación del molibdeno, deshidratación y envasado.
- Deshidratación del concentrado de cobre por espesamiento y filtración a presión.
- Los relaves son espesados en la zona de la concentradora, con recuperación del agua para el sistema de agua de procesos.
- Los relaves deben ser depositados detrás de la línea central del dique de la presa de relaves construida usando las arenas producidas por los ciclones.
- Se proyectaron dos estaciones de ciclones para la producción de arenas a partir de los relaves.
- El dique de la presa de almacenamiento de relaves en su inicio será una construcción de rocas y arenas.



**Figura 7. Principales equipos del proceso de concentrado de cobre en Concentradora C2 [4]**

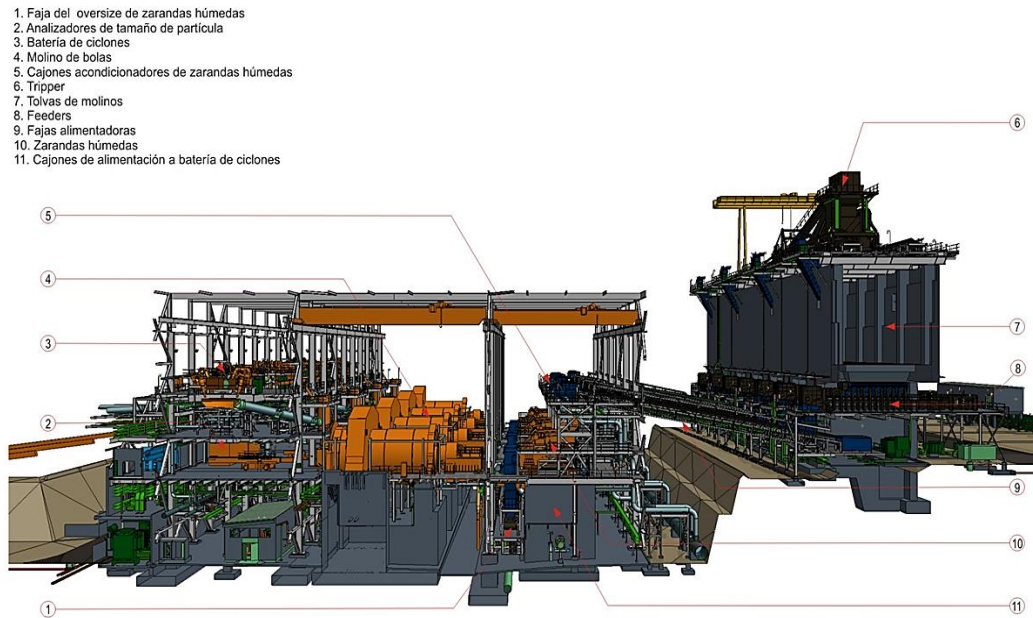
#### 4.2.2. Molienda y equipos dentro del proceso de Extracción de Concentrado de Cobre en la concentradora C2

La molienda de minerales es la última etapa en el proceso de conminución de las partículas, de reducción de tamaño de las partículas de mena (mineral proveniente de mina) hasta rangos donde se alcanza la liberación del mineral con contenido metálico de la ganga, bajo consideraciones técnicas y económicas. De acuerdo a esto, la molienda óptima, es aquel tamaño de malla de molienda, en la cual la recuperación del mineral de valor comercial es tal que los beneficios económicos son máximos al ser concentrados.

El proceso de molienda significa una reducción mayor de las partículas a través del uso de grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, en dos formas diferentes: molienda convencional y molienda SAG – donde se usan las bolas de molienda, las cuales encontramos en diversos tamaños y aleaciones.

Para la concentradora C2 el circuito de molienda y clasificación está compuesto de:

Una tolva de molinos, doce Feeders, doce fajas alimentadoras, doce zarandas húmedas, seis baterías de ciclones primarios, seis molinos de bolas. Disposición de equipos Figura 8.



**Figura 8. Vista 3D lateral del área de molienda C2 [2]**

## CAPÍTULO V MARCO TEORICO

### 5.1. Molinos de bolas

Los molinos de bolas son equipos que se utilizan en la industria minera con la intención de conminuir el material o minerales mediante una combinación de esfuerzos de impacto y abrasión a través de procesos que pueden ser húmedos o secos. Hay una serie de usos, como es el caso del cemento, fertilizantes químicos, materiales ferrosos, minerales varios etc. En la práctica minera es común tenerlos trabajando en conjunto con los molinos SAG, con los cuales comparten similitudes y diferencias.

Este equipo está conformado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal que en su interior tiene bolas libres; el cuerpo gira merced del accionamiento, que hace que gire este tambor a una velocidad de rotación determinada, que normalmente es constante y tiene relación con el resultado que se quiere obtener del proceso.

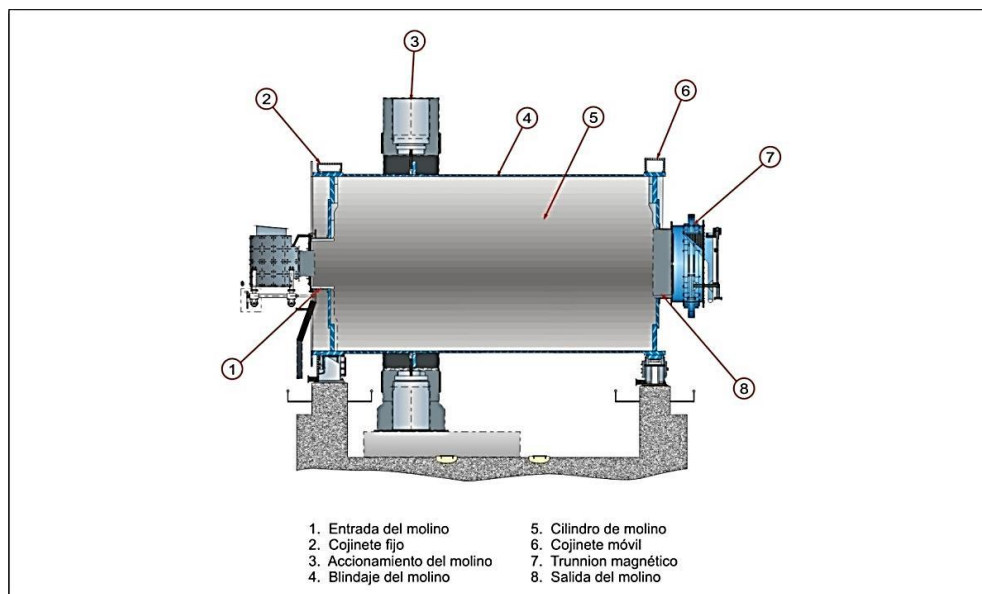


Figura 9. Molinos de bolas, partes principales [2]

### 5.2. Molienda

La molienda es aquella en la cual la fragmentación se realizará por medio del propio mineral y en algunos casos también con un porcentaje de bolas de acero. En función de

los cuerpos de molienda empleados para realizar la fragmentación del mineral, surgen las siguientes definiciones:

- **Molienda Autógena AG:** Cuando el mineral se fragmenta en el interior del molino sin ayuda de otro tipo de medios moledores que no sea el propio mineral. El mineral será todo-uno de mina o material previamente triturado en fragmentos gruesos
- **Molienda Semiautogena SAG:** Se provocará la fragmentación del mineral por el efecto combinado del propio mineral y de un pequeño porcentaje de bolas de acero.
- **Molienda Pebbles:** El mineral previamente molido a tamaño grueso o fino es introducido en un molino que emplea como medio de molienda pebbles.

El molino de bolas es adecuado para materiales finos y gruesos, moliendas en húmedo o en seco, en circuito cerrado con clasificadores, cribas o separadores de aire. Se encuentra en diferentes clases de descarga, por ejemplo, de diafragma (rejas) o rebosamiento.

Para un molino, con bolas o billas como agente de molienda, junto con la carga de mineral y agua describen un movimiento en cascada y catarata por efecto del tipo de forro utilizado por el molino de bolas.

Se dice que la carga en el molino sigue un movimiento de cascada, cuando los medios de molienda (bolas) ruedan de la parte alta de la carga hasta el pie de ella. El movimiento de cascada generalmente produce fragmentación por fricción lo que da lugar a un producto de molienda fina.

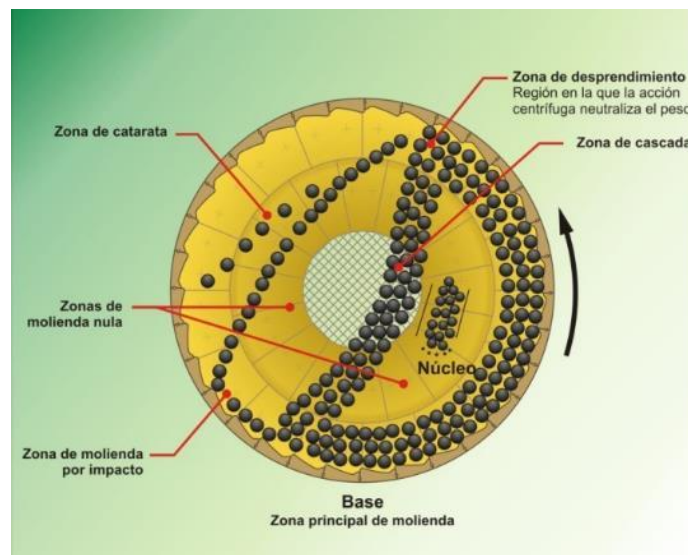
Se dice que la carga en el molino sigue un movimiento de catarata, cuando los medios de molienda bolas son arrojados desde la parte alta de la carga hasta el pie de ella. El movimiento de catarata generalmente produce fragmentación por impacto, lo que da lugar

a un producto de molienda gruesa.

En general el movimiento de la carga en el molino es una combinación de movimientos de cascada y catarata, en el grafico N°10, se indica los movimientos indicados.

En el interior del molino para que puedan tener lugar la elevación y caída de los cuerpos moledores (bolas) es necesario que en la pared interior del molino existan forros con barras levantadoras ó liners corrugados "lifters", de otra forma la carga se deslizaría como un todo por la superficie interior del molino.

El mantener el nivel de carga adecuada en el molino es uno de los parámetros más importantes para una molienda eficiente.



**Figura 10. Movimiento de cascada y catarata en un molino [2]**

### 5.3. Tipos de accionamiento para Molinos

Una manera de clasificar los molinos es a través de su tipo de accionamiento, es decir mediante el mecanismo que hace rotar el tambor o Shell. Para fines de desarrollo de la suficiencia solo se considerará esta clasificación:

- Accionamiento mediante engranajes
- Accionamiento por motor de anillo GMD

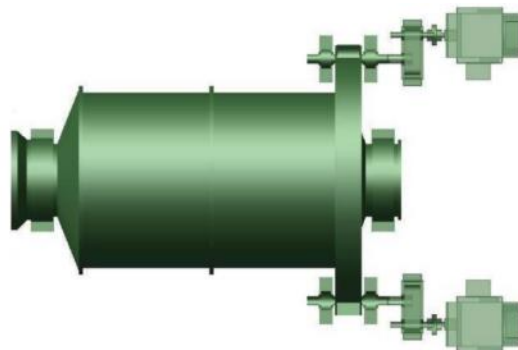
Una manera de clasificar los molinos es a través de su tipo de accionamiento, es decir

mediante el mecanismo que hace rotar el tambor o Shell; de acuerdo a esto se debe considerar la disposición de los equipos motrices, ya que determinara la configuración del sistema, es así como la transmisión de potencia es realizada por sistema mecánicos compuestos por coronas dentadas, reductores, motores, embriagues etc o sistemas sin transmisión mecánica, Gearless motor drive.

### 5.3.1. Accionamiento mediante engranajes

Tradicionalmente el accionamiento de los molinos de bolas es realizado por motores de inducción en Europa y motores síncronos en USA, la trasmisión de potencia entre los motores y el cuerpo cilíndrico del molino es realizado por sistemas mecánicos, integrados por una variedad de arreglos de engranajes y/o embragues.

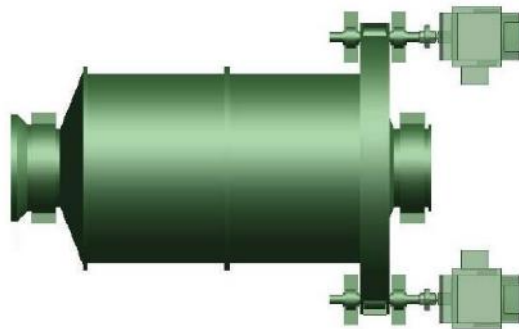
La configuración convencional del molino Figura 11, muestra la configuración europea con una corona dentada, engranajes, piñones, reductor y **motor de inducción**, para una velocidad nominal de 1000 RPM. Esta configuración simple puede ser usada como un sistema de piñón simple o dual, es decir, uno o dos motores. El uso de motores de inducción de rotor bobinado asegura entregar suficiente torque para la partida del molino, pero sigue teniendo una limitación de la corriente de partida; en otras palabras, no es necesario la instalación de un embriague de aire para suministrar el torque en la partida.



**Figura 11. Configuración Europea de motor [6]**



Un diseño americano típico es mostrado en la figura 12, con una corona dentada y piñón, pero sin reductor y utilizando un motor síncrono de baja velocidad, es decir un motor con gran cantidad de polos, por ejemplo, con una velocidad de 200 RPM. El uso de **motores sincrónicos** tiene la característica de un bajo torque de partida, el sistema de piñón directo es generalmente equipado con un embriague de aire o un embriague hidráulico entre el motor y el piñón. El embriague permite al motor partir y alcanzar la velocidad nominal previa a la partida del molino. Para grandes potencias una combinación del sistema de piñones gemelos con corona dentada y embriagues de aire debiese funcionar correctamente.



**Figura 12. Configuración americana en un accionamiento [6]**

Para molinos con potencias superiores a los 10 MW se utiliza el sistema de piñones gemelos, debido a que actualmente no existen motores confiables capaces de generar tanta potencia y por las limitaciones en la transmisión mecánica que este nivel de potencia exige.

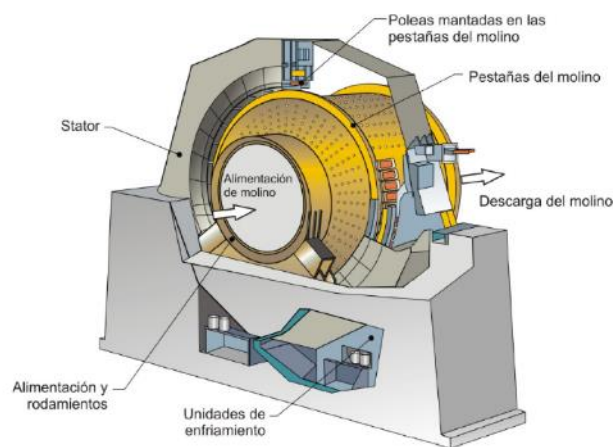
Por lo tanto, se utilizan motores idénticos capaces de entregar la potencia exigida. Con el creciente tamaños de molino y sus accionamientos una variedad de problemas han surgido con respecto a la manufactura y operación de la transmisión de potencia mediante engranajes, disminuyendo la disponibilidad y confiabilidad de los grandes molinos. Es decir, los límites económicos y tecnológicos de los engranajes han sido alcanzados.

### 5.3.2. Accionamiento por motor de anillo GMD

Existe otro método capaz de accionar un molino denominado gearless o motor de anillos, su nombre se debe a que elimina toda componente mecánica en el sistema de accionamiento de los molinos convencionales, como la corona dentada, piñones, caja de engranajes, acoplamientos, eje de motores, descansos, entre otros.

El accionamiento gearless consiste en un motor sincrónico diseñado para operar a bajas velocidades variables controlado mediante una fuente de cicloconvertidores (CCV). El rotor del motor es a su vez el molino, es decir los polos del rotor son acoplados mecánicamente alrededor de la estructura cilíndrica del molino. La superestructura del estator es montada en el piso rodeando el rotor. De esta manera, toda la potencia del accionamiento del molino es transmitida magnéticamente al molino y no mediante las conexiones mecánicas convencionales (engranajes), figura 13.

Actualmente este método es utilizado para mover molinos SAG, semiautógenos, con una potencia nominal en el rango de los 15-30 [MW], y molinos de bolas con una potencia nominal superior a los 17 [MW], este sistema a pesar de ser un sistema altamente eficiente, tiene la desventaja de ser muy costoso.

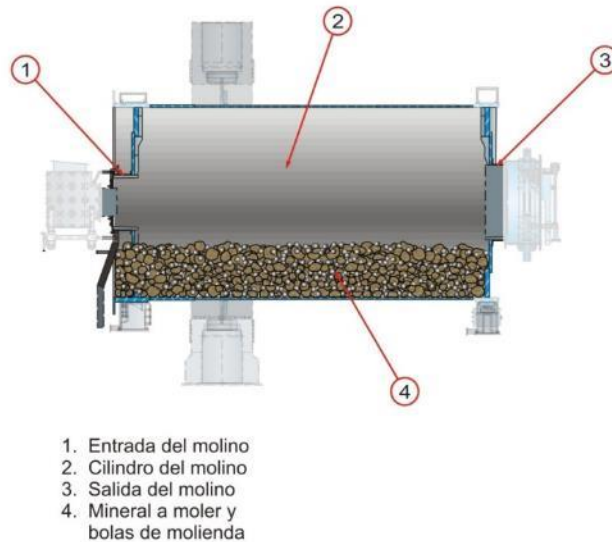


**Figura 13. Molino de bolas de accionamiento con motor anular [2]**

### 5.3.2.1 Partes principales de un molino de bolas con motor GMD

- **Cilindro del molino de bolas**

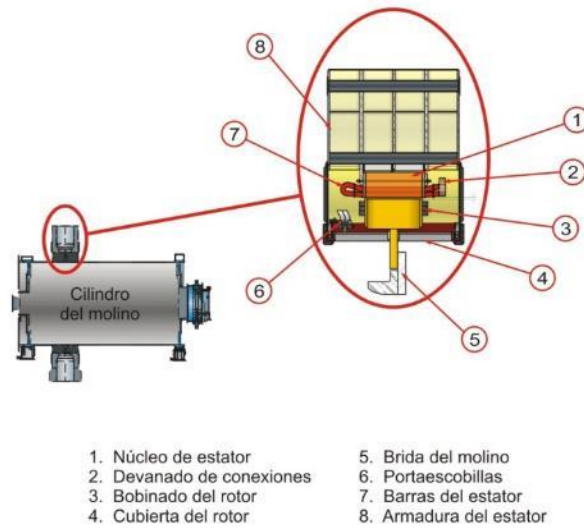
El cilindro del molino de bolas se encarga de contener en su interior al mineral a moler, el agua de proceso y a las bolas de la molienda, su interior está revestido con blindajes de acero. Figura 14.



**Figura 14. Cilindro del molino de bolas [2]**

- **Sistema de accionamiento**

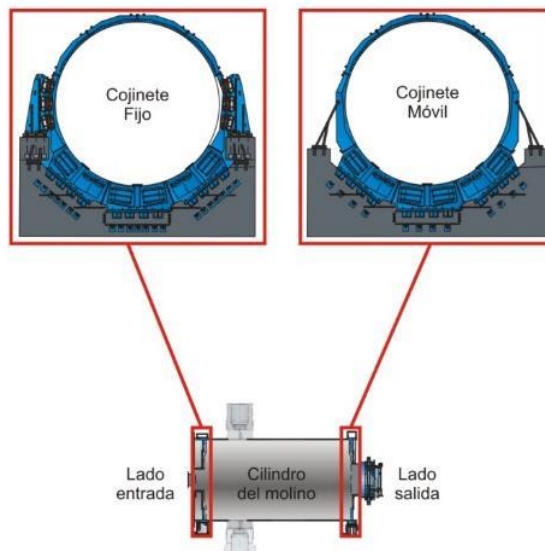
Es el encargado de generar el movimiento giratorio de este; esto gracias a que el cuerpo del molino va acoplados al segmento del rotor, y el estator rodea al rotor, funcionando de esta manera bajo el principio de un motor jaula de ardilla.



**Figura 15. Ubicación del sistema de accionamiento [2]**

- **Cojinetes del molino (Chumaceras)**

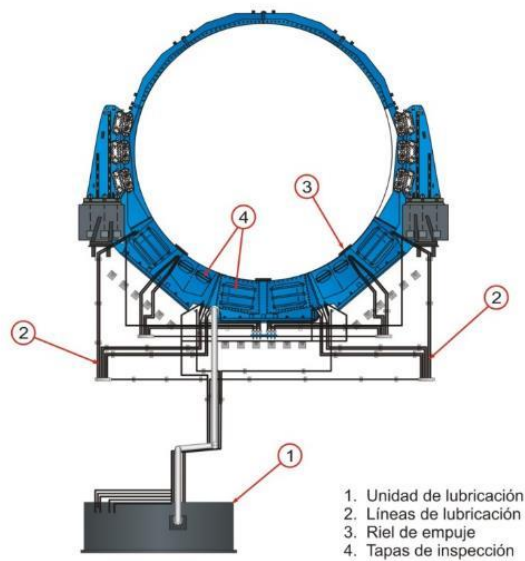
Se encargan de soportar el peso del cuerpo del molino de bolas y facilitar su giro gracias al aceite proporcionado por el sistema de lubricación que evita el contacto metal – metal; el molino consta de un cojinete fijo (entrada) y un cojinete móvil (descarga).



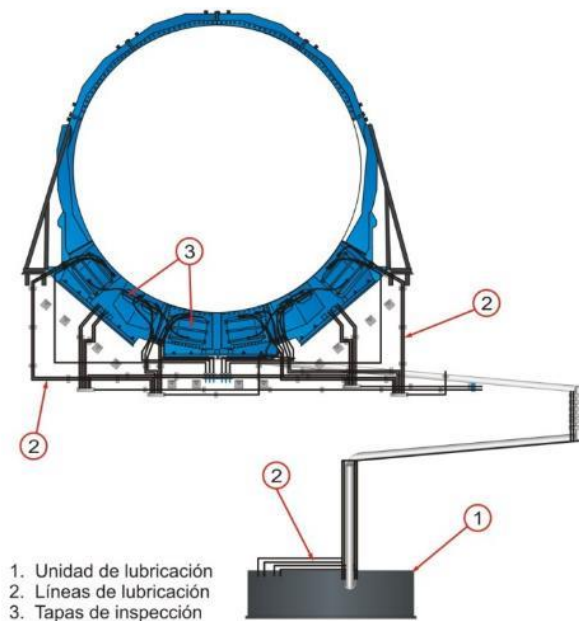
**Figura 16. Ubicación de cojinetes en un molino de bolas [2]**

- **Sistema hidráulico de lubricación**

El sistema de lubricación se encarga de entregar aceite mediante las bombas de alta presión, a cada zapata de los cojinetes del molino, tanto del cojinete fijo como del móvil, además de los rieles de empuje del cojinete fijo; en caso de pérdida de flujo presión se cuenta con seis acumuladores encargados de compensar las pérdidas ya mencionadas.

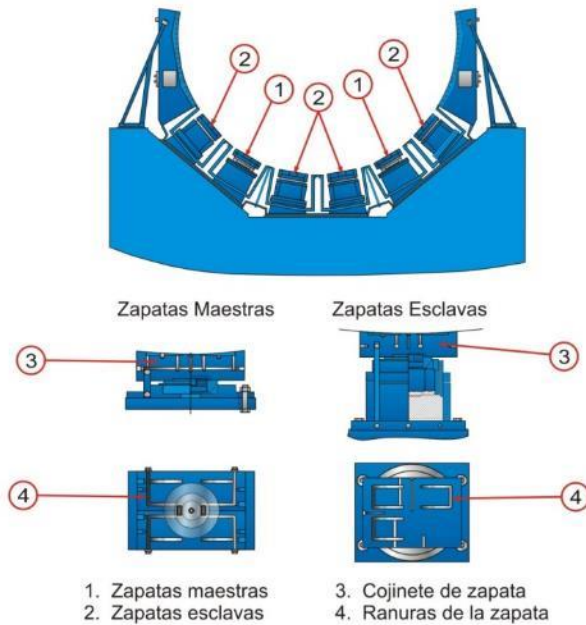


**Figura 17. Lubricación del cojinete fijo [2]**



**Figura 18. Lubricación del cojinete móvil [2]**

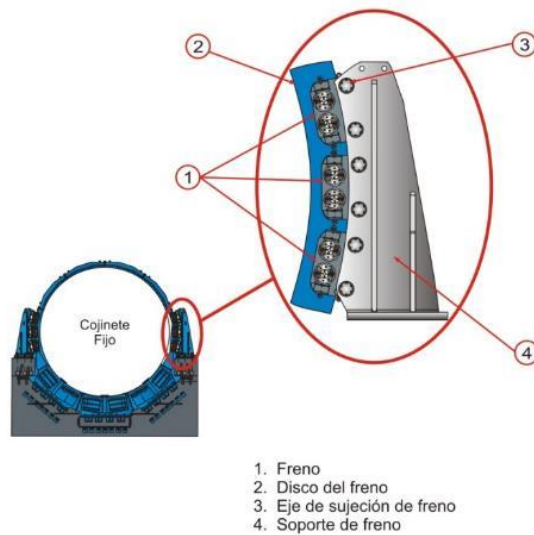
Cada cojinete consta de seis zapatas, dos maestras y cuatro esclavas, que tienen ranuras las cuales son provistas de una cantidad constante de aceite a presión, con la finalidad de evitar que los muñones del molino hagan contacto directo metal-metal



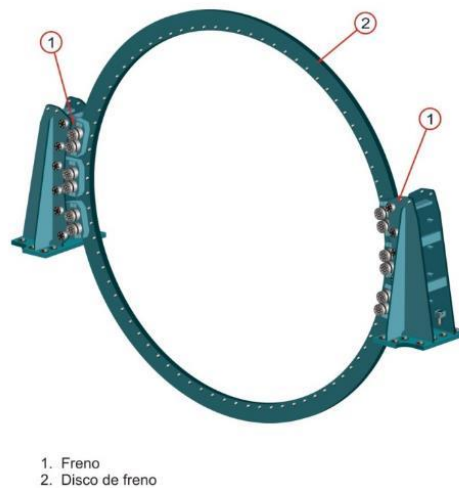
**Figura 19. Zapatas maestras y esclavas [2]**

- **Sistema hidráulico y frenos**

El sistema hidráulico se encarga de suministrar aceite a presión a los frenos para mantenerlos liberados; la unidad hidráulica consta de un gabinete y en su encuentra un tanque de aceite, un motor – bomba, un bloque principal. Mientras los frenos tipo caliper son los encargados de detener el movimiento giratorio del molino, esto se logra al liberar la energía hidráulica y dar pase al accionamiento por resorte de los frenos los cuales aprisionan el disco de freno del molino hasta detenerlos.



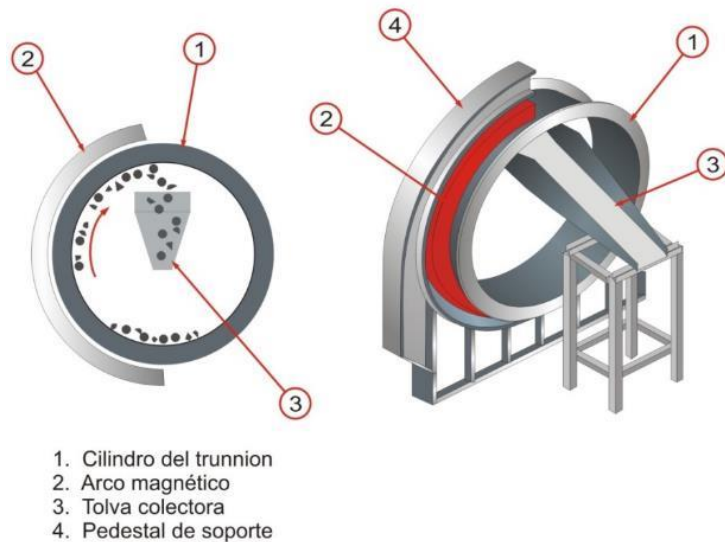
**Figura 20. Frenos del molino junto a cojinete fijo [2]**



**Figura 21. Frenos de Tipo Caliper [2]**

- **Trunnion magnético**

Este componente se encuentra situado junto a la descarga del molino, su función es separar las pequeñas bolas y fragmentos de la pulpa al salir del molino. Cuando la pulpa pasa a través del cilindro, los fragmentos de acero serán, los fragmentos de acero serán atraídos a la pared del cilindro y rotarán hasta la parte superior para ser descargados a la tolva colectora montada en el interior del casco. Figura 22.



**Figura 22. Ubicación de Trunnion magnético [2]**

#### **5.4. Mantenimiento en motores tipo GMD**

En general y durante la operación normal de un molino con un accionamiento del tipo GMD se puede producir una serie de problemas que, de una u otra forma, van a dar origen a intervenciones mayores. Por ende, el mantenimiento preventivo y correctivo es una actividad vital, ya que dará continuidad operacional al equipo.

En los accionamientos GMD pueden generarse las siguientes problemáticas:

- Fallas estructurales en segmento de polos del rotor.
- Fallas de aislación en bobinas rotor y estator.
- Deformación de bobinas rotor (cortocircuito motor).
- Pérdida de rigidez dieléctrica en bobinas rotor y estator.
- Deformación de tapas de bobina estator.
- Pérdida de entrehierro “AirGap” rotor-estator.
- Daño en anillo rozante rotor.
- Pernos de amarre segmentos estator.
- Desgaste acelerado de carbones.

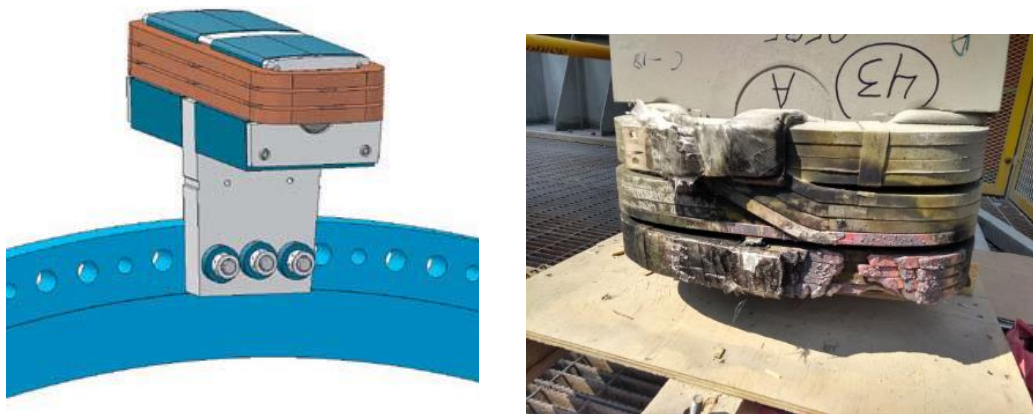


- Recambio de piezas y partes sueltas (como cuñas y láminas).
- Acumulación de polvo en el estator.
- Rajadura en bridas de sujeción de polos.

Entre los modos de falla que afectan al molino de bolas con accionamiento tipo del GMD, los polos quemados se han presentado como los más importantes; **ésta falla se considera relevante, ya que produce un desbalance en la máquina, producto de la pérdida de simetría magnética del molino y como consecuencia puede traer daños que involucran el detener el sistema para efectuar las reparaciones correspondientes. Fig. 23**

Los modos de falla del tipo eléctrico son abordados por mantenimiento eléctrico-instrumentista, de los cuales el fallo de los polos del rotor involucra otras disciplinas (mecánica) por la maniobra y manipulación de elementos de tonelaje considerable.

Entonces el cambio de los polos magnéticos constituye una labor crítica dentro del mantenimiento del equipo porque implica acceder al casco del molino, desmontar y montar una masa no simétrica de manera equilibrada cumpliendo con lo solicitado por la compañía minera.



**Figura 23. (a) Ubicación de polo en brida [23] (b) Polo quemado [Elaboracion Propia]**

### 5.5. Antecedentes de cambios de polos magnéticos en compañías mineras con equipos similares.

En el mantenimiento de los motores GMD, específicamente el cambio de Polos magnéticos se puede realizar de dos maneras;

La primera es desplazando todo el estator del GMD horizontalmente, modo mantenimiento total, dejando libre la corona de polos, es decir de manera que por encima de los mencionados pueda acceder un equipo de Izaje (Grúa móvil, puente grúa o similar) y mediante aparejos retirarlo de manera vertical. Para esta actividad antes de la detención del equipo, los polos dañados deberán estar situados en la parte superior (posición 12 de las agujas de un reloj) alineados o desfasados  $8^\circ$  como máximo del eje vertical central.

La desventaja de este modo es que requiere un mayor tiempo de detención del equipo (8 días a más), una maniobra debe anteceder al cambio de polos la cual es el desplazamiento de una masa de gran tonelaje, el estator y toda actividad anexa necesaria. Figura 25 (referencia).



**Figura 24. Instalación de Polos en brida de molino - Instalación [16]**



**Figura 25. Motor anular con estator desplazado, polos libres - Molino 201 C1[Elaboración propia]**

La segunda es solo retirando el o los polos dañados sin desmontar o mover el estator del GMD, de igual manera al caso anterior los polos dañados deberán estar situados en la parte superior (posición 12 de las agujas de un reloj) alineado o desfasados del eje ligeramente aproximadamente  $8^\circ$ . Para acceder al polo correspondiente se debe retirar los segmentos de tapas del estator y del rotor y dependiendo de la configuración del molino, el retiro horizontal del polo se realizará por el lado de alimentación o descarga.

Cabe indicar para el cambio de polos de manera horizontal del GMD, requiere el uso de una herramienta o dispositivo que sujete el polo y lo retire de manera segura hasta estar en una zona accesible e izarlo con un equipo de apoyo (Puente grúa o similar).

La división Andina Codelco (Chile) realizó un cambio exitoso de polo en un molino SAG, usando una herramienta de Izaje C-Frame en seis días además de otras actividades

de mantenimiento; la herramienta C-Frame es suspendida por un equipo de Izaje que contempla el peso de sí misma y una vez sujeto el polo desmontado (7 Toneladas), variando su centro de gravedad para mantener estable la carga.

Esta actividad se considera crítica por el tonelaje que se maneja en un espacio reducido y sobre el casco del molino con personal técnico maniobrando para su desmontaje y posterior montaje. Figura 26.

El principio del retiro horizontal del polo optimiza el tiempo de mantenimiento por tanto el tiempo de detención del equipo (6 días) en la división andina.

Los estándares de trabajo en las compañías mineras son distintos de acuerdo a la corporación a la que pertenece, cumpliendo con el reglamento de seguridad del país donde ejecutan la extracción de mineral.

Para SMCV sus estándares (SSO st0031) requieren que el personal técnico no esté situado en la zona de influencia de una carga suspendida por lo que ve necesario una mejora en esta maniobra de cambio de Polo sin el retiro del estator.



**Figura 26. Cambio de Polo con herramienta C-Frame [7]**

## **CAPÍTULO VI DISEÑO DE DISPOSITIVO EXTRACTOR PARA CAMBIO DE POLO DE UN MOTOR ANULAR GMD**

### **6.1. Análisis del diseño del dispositivo Extractor de Polos**

El nuevo dispositivo extractor de polo se adecuará a la arquitectura del equipo y motor de los molinos de bolas en la concentradora C2 en SMCV; las especificaciones del molino son las siguientes.

<b>ESPECIFICACIONES GENERALES DEL EQUIPO</b>	
<b>Tag del equipo</b>	<b>ML-101 al 601</b>
<b>Marca</b>	<b>Polysius</b>
<b>Modelo</b>	<b>8.2 D x14.6 m</b>
<b>Tipo</b>	<b>TM-M-S</b>
<b>Grado total de llenado de cámara</b>	<b>40%</b>
<b>Material a moler</b>	<b>Mineral de cobre</b>
<b>SISTEMA DE ACCIONAMIENTO</b>	
<b>Marca</b>	<b>Alstom</b>
<b>Potencia (MW)</b>	<b>22.0</b>
<b>Velocidad de giro RPM</b>	<b>11.2</b>

**Tabla 1. Especificaciones del molino de bolas de C2 [24]**

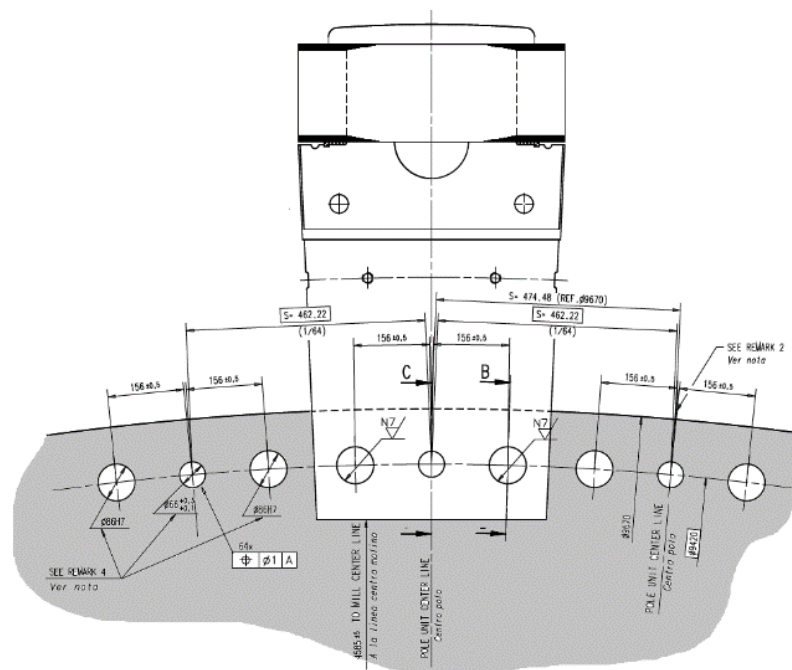
El diseño de un dispositivo extractor de Polo debes ser capaz de suplir las necesidades técnicas para la maniobra mecánica en el mantenimiento de un motor GMD, bajo la consideración de la extracción horizontal del polo específico sin desmontar el estator del motor anular; la configuración del nuevo dispositivo debe tener una estructura base con una sujeción sobre el casco del molino (sin carga suspendida durante la extracción o reposición), estable en la sujeción y traslado del polo (Desde la brida de sujeción de polos a la posición de izaje y viceversa).

Cada polo magnético se encuentra fijo a la brida del molino por medio de tres bulones M64, en total son 64 polos distribuidos en todo el contorno de la brida, los que conforman el rotor del motor anular, en la figura 27 se observa que la cara de la brida está en contacto

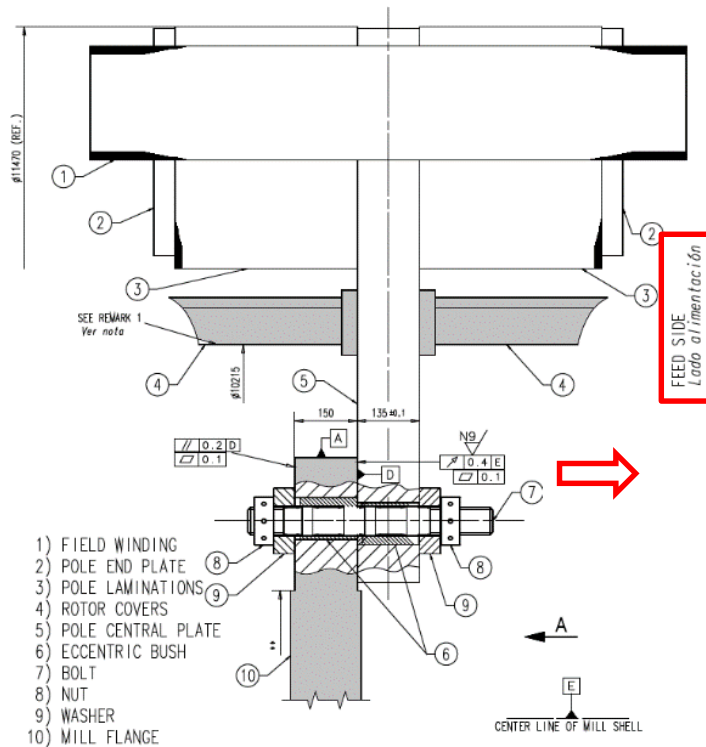
superficial con la cara vertical del polo magnético.

En la figura 28 se indica la dirección horizontal en la que debe ser retirado el polo que para este molino sería por el lado de alimentación, ya que para el lado opuesto la brida sería una interferencia (10 mill flange), también el componente 4 del lado alimentación deberá ser retirado previamente.

También una de las consideraciones especiales en el retiro del polo es conservar la horizontalidad durante su desplazamiento, en la parte superior (1 Field Winding) tiene un airgap de solo 19 a 25 mm, una leve inclinación lateral del polo en su desmontaje podría ocasionar el rozamiento con las barras del estator; el nuevo dispositivo extractor de polo debe considerar esta condición.



**Figura 27. Vista frontal de la brida del molino [19]**



**Figura 28. Vista lateral sujeción del polo a brida [19]**

Una vez retirado el componente dañado por el dispositivo extractor, posicionara el polo de tal manera que este pueda ser asegurado e izado verticalmente por un equipo de Izaje (Puente grúa) sin adicionar maniobras críticas, sin la exposición directa de personal técnico en la intervención del equipo.

## 6.2. Componentes principales del dispositivo extractor de polos.

Entre los componentes principales del dispositivo extractor de polos los principales son:

### 6.2.1. Soportes de sujeción C

En la figura 29 se observa el cilindro del molino entre la pista de rodadura y el motor anular, en este segmento sobresalen las tuercas e hilos de los pernos de sujeción de los liner's interiores; estos hilos sobrantes de los pernos de  $\varnothing 2''$  tienen la suficiente longitud para brindar la sujeción de canales tipo C como se indica y servir de sujeción a su vez a la base del nuevo dispositivo extractor de polo.



**Figura 29. Vista de molino lado alimentación ML-201 [Elaboración propia]**

#### **6.2.2. Base fija**

Comprende la base del dispositivo extractor que sirve de pista para los carros que sujetaran el polo a extraer. La base se fijará al cilindro del molino por medio de los soportes de sujeción tipo C.

#### **6.2.3. Puntos de Izaje**

Comprende unos elementos desmontables en la base fija que sirven de puntos de izaje para su montaje sobre el casco del molino, deberán de ser cuatro unidades como mínimo.

#### **6.2.4. Carro Inferior**

Comprende el segmento móvil del dispositivo extractor de polo que a su vez está en contacto directo con la base fija, cuenta con una regulación en altura y soporta el carro superior. Dada la ubicación del polo durante su retiro este se puede fijar a la base fija durante el desplazamiento del carro superior.

#### **6.2.5. Carro Superior**

Sujeta directamente al polo a extraer y también sujeta un extremo de los tornillos de potencia y a un segundo tornillo de potencia pasante.



### 6.2.6. Pórtico

El pórtico provee una estructura rígida en un extremo del dispositivo extractor para los tornillos de potencia, así como los ejes guidores, tiene una regulación en dos ejes para el alineamiento de los ejes respecto del otro extremo (Flange mill).

### 6.2.7. Ejes guidores

Los ejes guidores son dos pares que como su nombre lo indica guían al polo en su trayecto de inicio a fin, a su vez no permiten el giro lateral del polo, se fija en sus extremos al pórtico y a la brida del propio molino del lado de descarga.

### 6.2.8. Sistema de accionamiento por tornillos de potencia

El sistema de accionamiento está dado por dos tornillos de potencia que permitirán la extracción del polo de manera horizontal a lo largo de la pista de rodadura (base fija). Ambos tornillos de potencia estarán alineados verticalmente y paralelos a la vez.

### 6.2.9. Flange Mill.

Comprenderá el extremo fijo del dispositivo extractor de polo, este es un componente del molino de bolas opuesto al pórtico, en la brida se sujetarán los extremos de los componentes del dispositivo extractor (ejes guidores y tornillo de potencia inferior).

Figura 28 componente 10, figura 30.

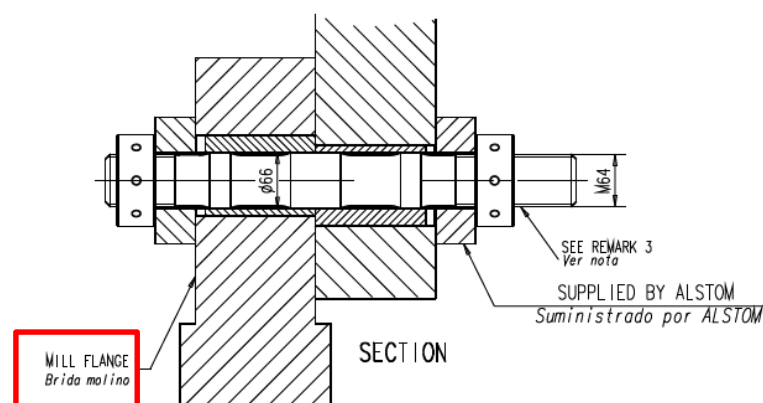


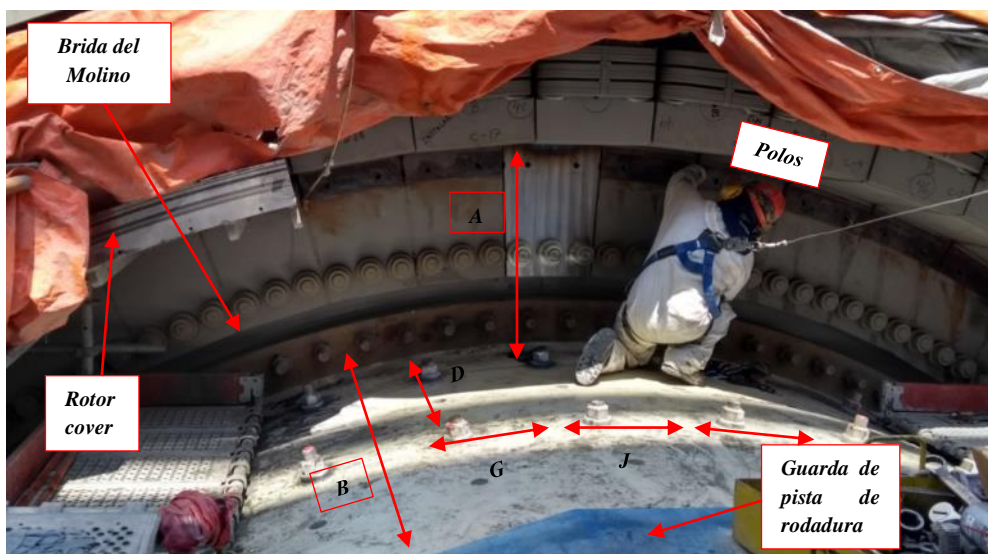
Figura 30. Vista de brida molino y polo unidos por bulón [19]

Esta parte del molino indirectamente provee puntos de apoyo fijo para los componentes del dispositivo extractor de polo logrando así dar la rigidez suficiente.

### 6.3. Parámetros de diseño

#### 6.3.1. Dimensiones generales

Las dimensiones principales para el nuevo dispositivo son determinados por el espacio reducido libre del lado de alimentación entre el GMD y la pista de rodadura; entre las cuales la altura desde el casco del molino a la cara inferior del polo (la diferencia de radio del cilindro al radio formado por el anillo de polos a la superficie del bobinado (A); la distancia entre la brida del molino y la guarda de la pista de rodadura (B) Lado alimentación, distancia entre pernos de los lifter's del cilindro (C) (D) y otros. Figura 31.



**Figura 31. Dimensiones principales disponibles para el nuevo dispositivo [Elaboración propia]**



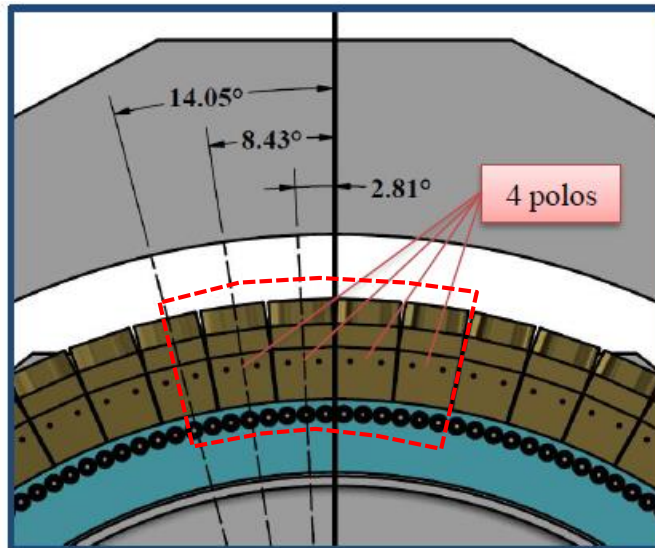
**Figura 32. Espacio libre para el retiro vertical de polo [Elaboración propia]**

En la figura 32 se observa la distancia libre en la que el polo desmontado debe situarse, el dispositivo deberá desplazarlo en el margen de la distancia (E) para su posterior retiro vertical con apoyo del puente grúa de la línea respectiva en este caso el puente grúa del área de molinos C2 – CN42.

### **6.3.2. Angulo de desfase (Posición de polos dañados)**

El molino debe situar el o los polos dañados en la parte superior, lo más próximo al eje vertical central del molino o la posición 12 de un reloj analógico. La ubicación del polo en el eje central solo puede ser aproximada durante la operación del molino, antes de su detención mas no puede ubicarse exactamente. Normalmente se retiran como máximo dos polos en un mantenimiento o inspección del mill flange.

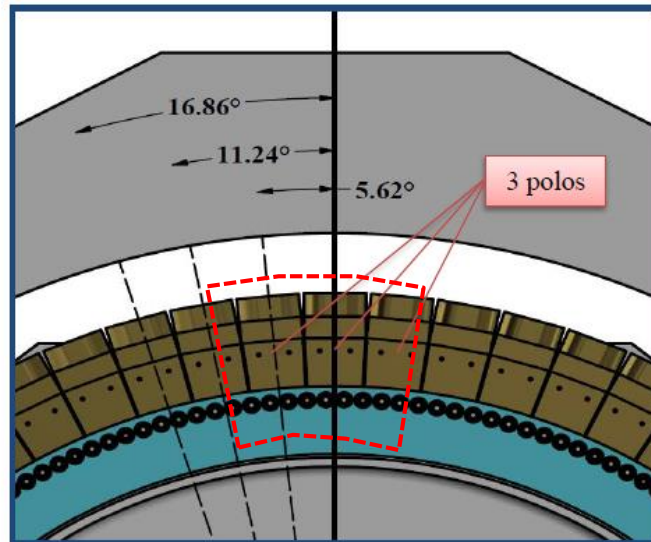
Indicado lo anterior se puede tener dos situaciones, la primera en la que una de las caras laterales quede alineada al eje central o próximo a este, bajo esta configuración se podrán retirar dos polos a partir del eje vertical central del molino a los lados. El ángulo mínimo al primer polo es de  $2.81^\circ$  hasta los  $8.4^\circ$  del segundo polo contiguo. Al tener una desviación respecto del eje principal se genera una componente de fuerza horizontal en las reacciones del polo hacia el dispositivo que lo contenga. Figura 33.



**Figura 33. Primera configuración de polos dañados [Elaboración propia]**

La segunda situación es en la que el eje del polo dañado quede alineado al eje vertical de sección del molino, bajo esta configuración se tiene un ángulo mínimo de  $0^\circ$  a  $5.6^\circ$  ( $6^\circ$ ) del segundo polo contiguo. Figura 34.

Dadas ambas configuraciones de ubicación del polo del motor GMD se tiene una desviación máxima de  $8.4^\circ$ , el dispositivo extractor considera este componente de fuerza horizontal; este ángulo será el máximo en el uso del dispositivo extractor ya que uno mayor podría ocasionar dificultades durante la sujeción del polo en su recorrido de desde el anillo de polos hasta situarse libre del estator.



**Figura 34. Angulo de desfase de polo segunda configuración [Elaboración propia]**

### **6.3.3. Capacidad del dispositivo extractor**

El peso unitario de un polo es de 2500 kilogramos, el nuevo dispositivo maniobrara esta masa asimétrica, los componentes serán diseñados considerando esta carga más un 20% (3000 Kg.)

### **6.3.4. Configuración del GMD del Molino**

El motor anular del molino está situado de manera que una mayor parte del cilindro sobresale en el lado de descarga y una distancia menor del lado de alimentación, el retiro de polos está definido por la ubicación de la brida, los polos tienen accesibilidad de manera que el labio de la brida no sea una interferencia. Figura 28.

## **6.4. Cálculo de características del dispositivo**

### **6.4.1. Selección del sistema de accionamiento**

Respecto al sistema de accionamiento para la extracción y empuje de la carga, un tornillo de potencia ofrecería una buena eficiencia a baja velocidad.

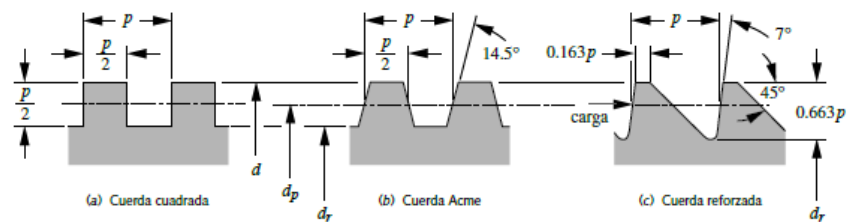
#### **Tornillos de potencia**

Los tornillos de potencia, llamados también tornillos de avance, convierten el movimiento giratorio en movimiento lineal en actuadores, máquinas de producción y

gatos mecánicos, entre muchas otras aplicaciones. Son capaces de obtener ventajas mecánicas muy grandes; por consiguiente, pueden elevar o mover grandes cargas. En estos casos, se necesita un perfil de cuerda muy fuerte.

- **Cuerdas cuadradas, Acme y reforzadas**

La cuerda cuadrada mostrada en la figura 35 proporciona las mayores eficiencias y resistencias; asimismo, elimina las componentes radiales de fuerza entre el tornillo y la tuerca. Sin embargo, es más difícil cortarla debido a la perpendicularidad de su cara. La cuerda Acme es una selección común para tornillos de potencia que deben transportar carga en ambas direcciones. Si la carga axial sobre el tornillo es unidireccional, la cuerda reforzada (Figura 35c) se podría usar para obtener una mayor resistencia en la raíz que cualquier otras de las mostradas.



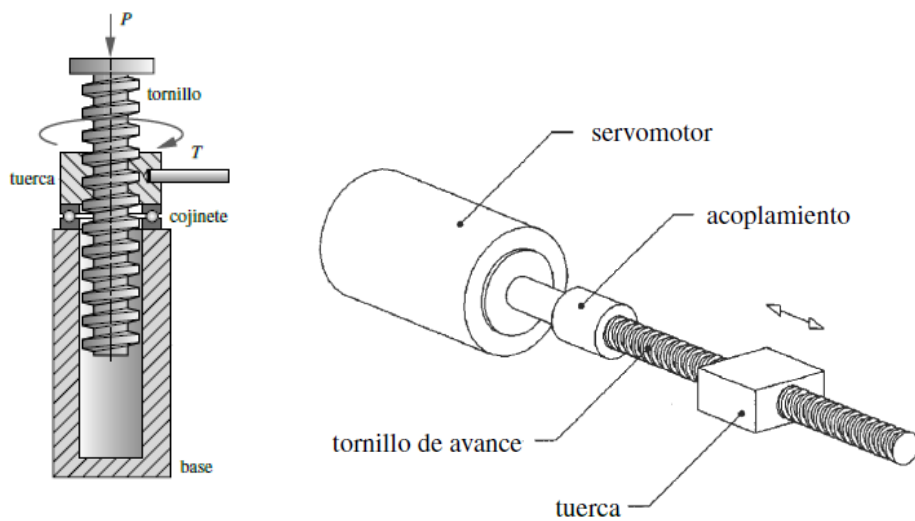
**Figura 35. Cuerdas o tipos de roscas para tornillos de potencia [8]**

- **Aplicaciones del tornillo de potencia**

Una configuración de un tornillo de potencia como un elevador para levantar una carga. La tuerca gira mediante el torque  $T$  aplicado y el tornillo se mueve hacia arriba para elevar o hacia abajo para bajar la carga  $P$ . Debe haber cierta fricción en la superficie de la carga para evitar que el tornillo gire junto con la tuerca. Una vez que se ocupa la carga  $P$ , esto no es un problema. Alternativamente, el tornillo puede girar contra una tuerca fija para levantar la carga. En cualquier caso, existirá fricción significativa entre el tornillo y la tuerca, así como fricción entre la tuerca y la base, lo cual requiere un cojinete (rodamiento) de empuje, como se indica. Si

se utiliza un cojinete plano de empuje (es decir, sin rodamientos) es posible generar, en el punto de contacto del cojinete, un torque con fricción mayor que en las cuerdas. En esta aplicación se usan con frecuencia cojinetes de bolas de empuje para reducir tales pérdidas. Figura 36.

Otras aplicaciones de los tornillos de potencia son los actuadores lineales que operan con el mismo principio mostrado en la figura 36, pero el giro de la tuerca se motoriza para trasladarlo al tornillo, o bien, se motoriza el giro del tornillo para trasladarlo a la tuerca, como se ilustra. Estos dispositivos se usan en máquinas herramientas para mover el banco y la pieza de trabajo bajo la herramienta de corte, en máquinas de ensamble para posicionar partes, y en aeroplanos para mover las superficies de control, así como en muchas otras aplicaciones.

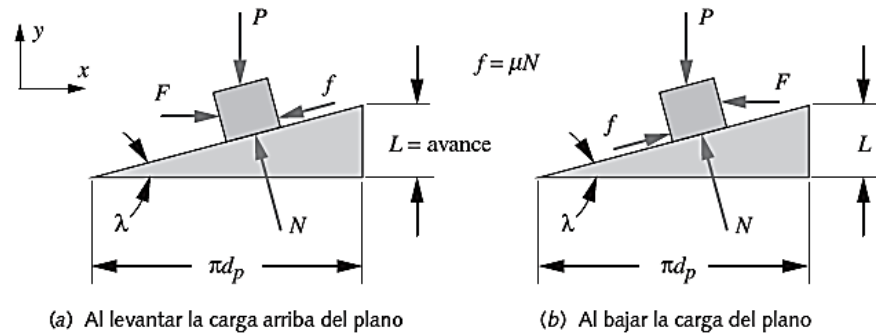


**Figura 36. (a) Elevador con tornillo (b) Tornillo de avance impulsado por servomotor [8]**

- **Cuerdas cuadradas**

La cuerda de un tornillo es esencialmente un plano inclinado que se enrolla alrededor de un cilindro para crear una hélice. Si enrollamos una revolución de la hélice, luciría como en la figura 37, la cual muestra un bloque que representa una

tuerca que se desliza por el plano inclinado de la cuerda cuadrada. También se presenta el diagrama de cuerpo libre con las fuerzas que actúan sobre la tuerca. La figura 37b ilustra el diagrama de cuerpo libre de la misma tuerca, conforme se desliza hacia abajo del plano. La fuerza de fricción, desde luego, siempre se opone al movimiento. La inclinación del plano se conoce como el ángulo de avance  $\lambda$ .



**Figura 37. Análisis de fuerzas en el punto de contacto del tornillo con la tuerca [8]**

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p}$$

Para el caso de elevación de carga de la figura 37 (a), se suman las fuerzas en las direcciones x y y.

$$\sum F_x = 0 = F - f \cos \lambda - N \sin \lambda = F - \mu N \cos \lambda - N \sin \lambda$$

$$F = N(\mu \cos \lambda + \sin \lambda)$$

$$\sum F_y = 0 = N \cos \lambda - f \sin \lambda - P = N \cos \lambda - \mu N \sin \lambda - P$$

$$N = \frac{P}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)}$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca, mientras las otras



variables están definidas en la figura 36. Se combinan esta expresión para la fuerza

F:

$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \operatorname{sen} \lambda)}{(\cos \lambda - \mu \operatorname{sen} \lambda)}$$

El torque  $T_{su}$  del tornillo requerido para elevar la carga es

$$T_{su} = F \frac{d_p}{2} = \frac{P d_p (\mu \cos \lambda + \operatorname{sen} \lambda)}{2 (\cos \lambda - \mu \operatorname{sen} \lambda)}$$

- **Coefficientes de fricción**

Los experimentos indican que el coeficiente de fricción en un conjunto cuerda-tuerca, lubricado con aceite, es de aproximadamente 0.15 +/- 0.05. La fricción en un cojinete plano (sin rodamientos) de empuje es aproximadamente la misma que en las cuerdas.

El acero sobre bronce o acero sobre hierro colado son combinaciones comunes en los cojinetes planos. Si se utiliza un cojinete de rodamiento con arandela de empuje, su coeficiente de fricción será alrededor de 1/10 de los valores de un cojinete plano (es decir, de 0.01 a 0.02).

- **Autobloqueo y retroceso en tornillos de potencia**

El autobloqueo se refiere a una condición donde el tornillo no se puede regresar, debido a la aplicación axial de una fuerza de cualquier magnitud (no un torque) a la tuerca. En otras palabras, un tornillo de autobloqueo mantendrá la carga en su lugar sin aplicación alguna de torque. No necesita un freno para sostener la carga. Ésta es una situación muy útil. Por ejemplo, si se levanta un automóvil con un

gato mecánico de tornillo sin autobloqueo, tan pronto como usted deje de manejar el gato, el vehículo regresaría el gato hacia abajo.

La condición de autobloqueo de un tornillo de avance o de potencia se pronostica fácilmente, si se conoce el coeficiente de fricción en la junta tornillo-tuerca. La relación entre el coeficiente de fricción y el ángulo de avance del tornillo determina la condición de autobloqueo. El tornillo se autobloqueará si:

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \cos \alpha \quad \text{o bien,} \quad \mu \geq \tan \lambda \cos \alpha$$

- **Análisis del tornillo como columna**

Adicionalmente, en los sistemas de tornillo de potencia deben considerarse además de los efectos definidos anteriormente. En el caso de las cargas de compresión; generalmente hay que realizar el estudio de comportamiento del tornillo como columna y verificar, en caso amerite, el efecto correspondiente; así además verificar efectos adicionales de flexión cuando exista carga excéntrica.

- a) **Compresión en columnas**

Para el caso de columnas a compresión, las ecuaciones de carga axial no pudieran ser suficientes para determinar cuál carga aplicar es segura para este miembro. Dado que este puede fallar por pandeo más que por compresión.

- b) **Razón de Esbeltez Sr.**

Es un factor usado para caracterizar las columnas, si esta es una columna larga o corta. Una columna corta fallará por carga axial y la máxima carga axial que podrá soportar estar dada por el esfuerzo de fluencia. En cambio, en el caso de columnas largas estas fallaran primero por pandeo que por fluencia. Dónde:

$$Sr = \frac{l}{k}$$

Donde:

l : longitud de la columna

k : radio de giro

Y el radio de giro se determina por:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde I es el momento de inercia de la sección transversal más pequeña de la columna y A es su área en la misma sección transversal.

#### c) Columnas cortas

Por lo general, una columna corta se define como aquella cuya razón de esbeltez es ligeramente menor a 89. En este caso se aplica el límite elástico del material a la compresión como factor límite, a fin de compararlo con el esfuerzo calculado a través de la expresión:

$$\sigma_x = \frac{P}{A}$$

#### d) Columnas largas

Una columna larga requiere el cálculo de su carga crítica. Esta puede ser expresada mediante la fórmula de columna desarrollada por Euler. Donde la carga crítica ( $P_{crit}$ ) es función únicamente del área de la sección transversal de la columna A, su radio de giro y el módulo de elasticidad E del material.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

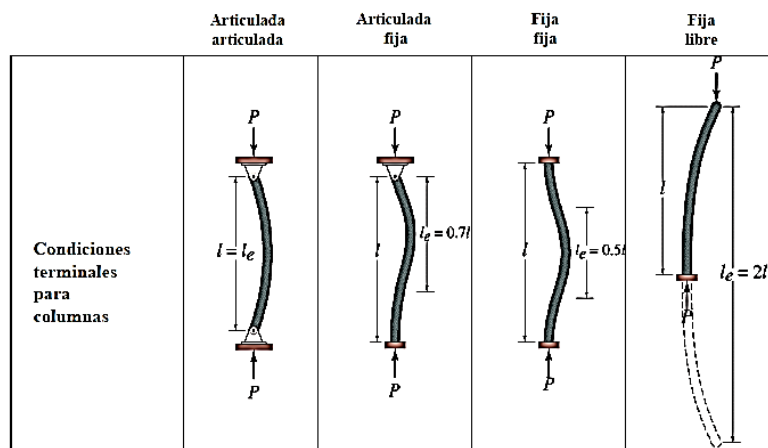
Condiciones terminales, estas condiciones gobiernan el comportamiento de las

columnas haciendo que sea más elevada o no la carga crítica que puede soportar la columna es por esto que se tiene la necesidad de establecer un parámetro para determinar la verdadera carga crítica del sistema.

Por esto se hace necesario establecer la longitud efectiva ( $l_e$ ) apropiada para obtener la razón de esbeltez correcta a utilizar en cualquiera de las fórmulas en carga crítica:

Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC
Articulada articulada	$l_e : l$	$l_e : l$
Articulada fija	$l_e : 0.707l$	$l_e : 0.80l$
Fija Fija	$l_e : 0.5l$	$l_e : 0.65l$
Fija libre	$l_e : 2l$	$l_e : 2.1l$

**Tabla 2. Valores de longitudes equivalentes en columnas [25]**



**Figura 38. Diversas condiciones terminales y sus respectivas longitudes equivalentes [25]**

$$S_r = \frac{l_e}{k}$$

La fórmula de Euler tomando en cuenta las respectivas condiciones terminales se expresa de la manera:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{le}{k}\right)^2}$$

#### 6.4.2. Selección de los componentes de sujeción de base de dispositivo

Existe una variedad de sujetadores disponibles comercialmente, que van desde las tuercas y pernos comunes hasta dispositivos de varias piezas para apertura rápida o aplicaciones con sujetadores ocultos.

- **Elementos de sujeción**

- a) **Pernos.**

Hay disponible gran variedad de estilos de tornillos, muchos de los cuales con para aplicaciones especializadas. Los pernos y las tuercas generalmente usan roscas estándar de acuerdo al tipo de rosca (milímetros o pulgadas)

**Tabla 11-2 Dimensiones principales de cuerdas de tornillos del estándar métrico ISO**  
 Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 4 para mayor información

Diámetro mayor <i>d</i> (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso <i>p</i> mm	Diámetro menor <i>d<sub>r</sub></i> (mm)	Área de esfuerzo por tensión <i>A<sub>t</sub></i> (mm <sup>2</sup> )	Paso <i>p</i> mm	Diámetro menor <i>d<sub>r</sub></i> (mm)	Área de esfuerzo por tensión <i>A<sub>t</sub></i> (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

**Tabla 3. Dimensiones principales de roscas ISO [8]**

Al igual que los pernos existe una variedad de tuercas, se seleccionará la indicada de acuerdo a la aplicación.

Los pernos y tornillos para aplicaciones estructurales o cargas pesadas se seleccionan con base en la resistencia de prueba  $S_p$ , como está definida en las especificaciones de SAE, ASTM o ISO. Estas organizaciones definen los grados o las clases de perno que especifican el material, el tratamiento térmico y la resistencia mínima de prueba, para el perno o el tornillo. La resistencia de prueba  $S_p$  es el esfuerzo con el cual el perno comienza a tener una distorsión permanente; está cerca de la resistencia a la fluencia del material, pero no más debajo de ésta.

**Tabla 11-1 Dimensiones principales de las cuerdas de tornillos del estándar nacional unificado**

Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 3 para mayor información

Tamaño	Cuerdas gruesas, UNC				Cuerdas finas, UNF		
	Diámetro mayor $d$ (in)	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor $d_r$ (in)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (in <sup>2</sup> )	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor $d_r$ (in)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (in <sup>2</sup> )
0	0.0600	–	–	–	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

**Tabla 4. Dimensiones principales de roscas unificada [8]**

En las tablas 5 y 6 se presenta las especificaciones sobre la resistencia para varios grados SAE de pernos y pernos milimétricos.

**Tabla 11-6 Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos de acero**

Número de grado de la SAE	Intervalo del tamaño del diám. ext. (In)	Resistencia de prueba mínima (kpsl)	Resistencia a la fluencia mínima (kpsl)	Resistencia a la tensión mínima (kpsl)	Material
1	0.25–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25–0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875–1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25–1.5	65	100	115	medio carbono, forjado en frío
5	0.25–1.0	85	92	120	medio carbono, Q&T*
5	1.125–1.5	74	81	105	medio carbono, Q&T
5.2	0.25–1.0	85	92	120	martensita al bajo carbono, Q&T
7	0.25–1.5	105	115	133	aleación al medio carbono, Q&T
8	0.25–1.5	120	130	150	aleación al medio carbono, Q&T
8.2	0.25–1.0	120	130	150	martensita al bajo carbono, Q&T

\* Templado y revenido

**Tabla 5. Resistencia para pernos SAE [8]****Tabla 11-7 Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero**

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5–M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6–M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5–M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3–M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6–M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5–M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6–M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

**Tabla 6. Resistencia para pernos de grado milimétricos [8]****b) Tuercas de fijación**

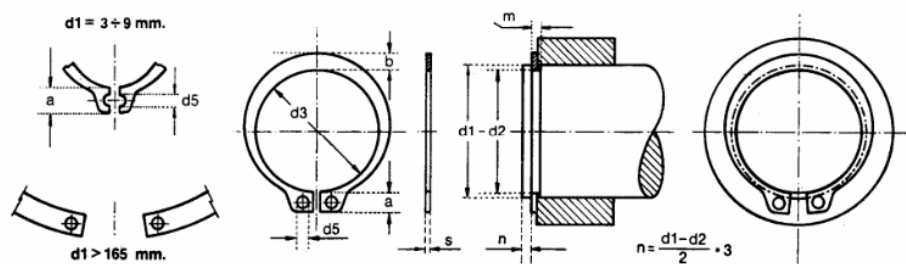
Las tuercas de fijación se utilizan para fijar los rodamientos en un eje. Además, se pueden utilizar para montar rodamientos con un agujero cónico en los asientos del eje cónico y manguitos de fijación, y para desmontarlos de los manguitos de desmontaje. Las tuercas de fijación también se utilizan con frecuencia para asegurar engranajes, poleas para correas y demás componentes de las máquinas. Las tuercas de fijación deben asegurarse para evitar que se aflojen accidentalmente mediante:



- 1) Un dispositivo de fijación que enganche un canal chavetero en el eje o en la ranura de chaveta del manguito de fijación
- 2) Un mecanismo de fijación integrado en la tuerca.

**c) Anillo de retención**

También conocido como anillo de seguridad, anillo elástico o Seeger es un tipo de anillo de acero para sujeción o retención de alguna pieza, instalado en una ranura, en un eje o en una carcasa creando un hombro que retiene el componente; Hay de dos tipos externo e internos. Se selecciona considerando el tipo de servicio y la carga axial



**Figura 39. Anillo Seeger para ejes [20]**

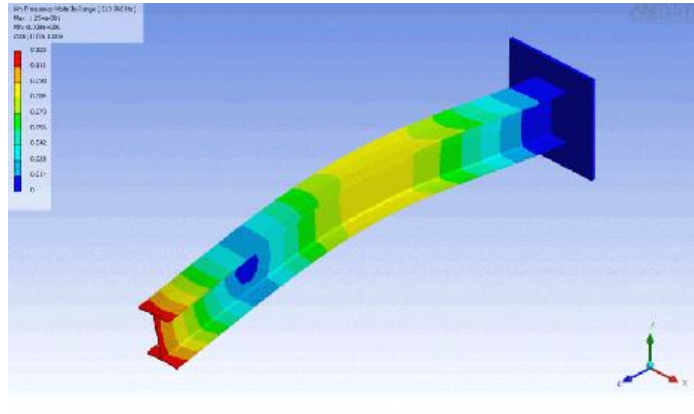
**6.4.3. Sistema de sujeción del Polo**

Aquí consideramos los componentes estructurales conformados por planchas estructurales ya sea la base fija, carros y pórtico como los componentes móviles

El análisis para la validación de estos componentes sometidos a esfuerzos (tensión, corte, torsión etc) se realizará por el método de elementos finitos y el criterio de aceptación será definido por tensión equivalente de Von mises y se usará el software Ansys.

El método de elementos finitos se originó a partir de la necesidad de resolver la elasticidad y análisis estructural de problemas complejos en la ingeniería. Una variedad

de especializaciones bajo el paraguas de la disciplina de la ingeniería mecánica (como la industria aeronáutica, biomecánica, y de automoción) comúnmente integran FEM (modelado de elementos finitos) en el diseño y desarrollo de sus productos.



**Figura 40. Análisis de tensiones (FEA) [21]**

#### **6.4.4. Elementos de rodadura**

Los elementos de rodadura son importantes, equiparan los rodillos y ruedas del carro del dispositivo extractor, también equiparan en los extremos de los tornillos de potencia reduciendo la fricción y disminuyendo el torque aplicado en el tornillo para su accionamiento

- **Cojinetes**

Los cojinetes o rodamientos existen en una gran variedad, su selección y aplicación será de acuerdo a su ubicación y tipo de carga que soportará. Entre los principales tenemos:

- a) Rodamientos de bolas (de contacto angular, rígido, autoalineantes, de contacto angular de alta velocidad)
- b) Rodamiento de agujas
- c) Rodamiento de rodillos

#### d) Rodamientos axiales

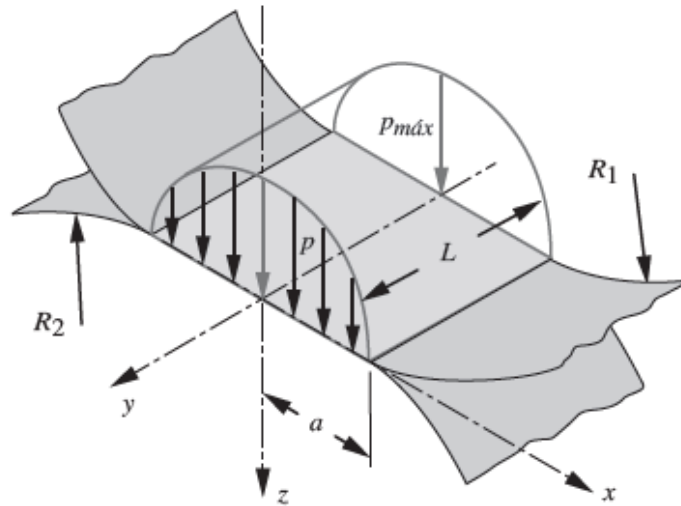
- **Ruedas**

Las ruedas usadas son del tipo cilíndrico sin perfil o ranura en la huella. Para este tipo de superficies en contacto (Rueda con pista) de rodamiento puro, o sobre todo rodamiento combinado con un pequeño porcentaje de deslizamiento, ocurre un mecanismo de falla superficial. Los esfuerzos introducidos en dos materiales en contacto en el punto de contacto del rodamiento dependen bastante de la geometría de las superficies en contacto, así como de la carga y de las propiedades del material.

Un rodillo contra una superficie cilíndrica o plana teóricamente hace contacto a lo largo de una línea de ancho igual a cero. Como el área de cada una de estas geometrías de contacto teórico es cero, cualquier fuerza aplicada creará entonces un esfuerzo infinito. Pero se sabe que esto no puede ser verdad, ya que los materiales fallarían instantáneamente. De hecho, los materiales deben flexionarse para tener suficiente área de contacto para soportar la carga de algún esfuerzo finito.

Esta flexión crea una distribución semielipsoidal de la presión sobre la huella de contacto. Los cilindros crean una huella de contacto rectangular, como se indica en la figura 41.

Ambos cilindros pueden ser convexos, uno convexo y uno cóncavo (cilindro en canal), o en el límite, un cilindro sobre un plano. En todos estos contactos, existe la posibilidad de deslizamiento, así como de rodamiento en el punto de contacto. La presencia de fuerzas de deslizamiento tangenciales tiene un efecto significativo sobre los esfuerzos comparados con rodamiento puro.



**Figura 41. Prisma elipsoidal de distribución de la presión para contacto cilíndrico [8]**

- **Fricción**

La ecuación de coulomb (independiente del área de contacto) para la fricción al deslizamiento es:

$$f = \mu \cdot F$$

Donde  $f$  es la fuerza de fricción,  $\mu$  el coeficiente de fricción dinámica y  $F$  la fuerza normal; podemos definir la fuerza de Coulomb de fricción dinámica  $f$  como la fuerza necesaria para cortar las asperezas adheridas y entrelazadas elásticamente a fin de permitir un movimiento deslizante.

Esta fuerza cortante  $f$  es igual al producto de la resistencia a cortante ( $S_{us}$ ) del material más débil, por el área de contacto  $A_r$  además de una fuerza de surco “P”.

$$f = S_{us} \cdot A_r + P$$

La fuerza de surco  $P$  se debe a partículas sueltas que se incrustan en la superficie, y es despreciable en comparación con la fuerza cortante solo si ambas superficies

tienen más o menos la misma dureza, por lo que puede omitirse.

$$f = S_{us} \cdot A_r = S_{us} \cdot \frac{F}{3S_{yc}} = S_{us} \cdot \frac{f}{3S_{yc}}$$

Despejando obtenemos:

$$\mu = \frac{S_{us}}{3S_{yc}}$$

Lo que indica que el coeficiente de fricción  $\mu$  es función solo de una razón de resistencia de materiales del más débil de los materiales en contacto.

La resistencia máxima al cortante  $S_{us}$  se puede estimar con base en la resistencia máxima a tensión del material.

Aceros:  $S_{us} \cong 0.8 S_{ut}$

Otros metales dúctiles:  $S_{us} \cong 0.75S_{ut}$

El límite de fluencia elástico a compresión  $S_{yc}$ , como fracción de la resistencia máxima a tensión, varía en una gama bastante amplia con el material y la aleación:

$$0.5S_{ut} < S_{yc} < 0.9S_{ut}$$

Sustituyendo en  $\mu$

$$\frac{0.75S_{ut}}{3(0.9 S_{ut})} < \mu < \frac{0.8S_{ut}}{3(0.5 S_{ut})}$$

$$0.28 < \mu < 0.53$$

Obtenemos el rango de valores de  $\mu$  comunes para metales secos al aire, pero este

coeficiente puede variar según el nivel de contaminantes y otros factores.

Coeficientes de fricción en algunas combinaciones de materiales					
Material 1	Material 2	Estático		Dinámico	
		Seco	Lubricado	Seco	Lubricado
acero dulce	acero dulce	0.74		0.57	0.09
acero dulce	hierro fundido		0.183	0.23	0.133
acero dulce	aluminio	0.61		0.47	
acero dulce	latón	0.51		0.44	
acero duro	acero duro	0.78	0.11–0.23	0.42	0.03–0.19
acero duro	babbitt	0.42–0.70	0.08–0.25	0.34	0.06–0.16
teflón	teflón	0.04			0.04
acero	teflón	0.04			0.04
hierro fundido	hierro fundido	1.10		0.15	0.07
hierro fundido	bronce			0.22	0.077
aluminio	aluminio	1.05		1.4	

**Tabla 7. Coeficientes de fricción superficial [8]**

## 6.5. Normas y estándares a usarse

### 6.5.1. AISC

AISC (instituto americano de construcción en acero), el Instituto Americano de Construcción de Acero, es el organismo que gobierna el plan de fabricación, levantamiento, resistencia, materiales y estudio de cargas en todo lo referente al diseño de estructuras metálicas con acero. Tiene una notable aceptación en todo el mundo por lo que se ha convertido en uno de las principales fuentes de consulta en el momento del diseño.

- Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC-LRFD
- Allowable Stress Design (ASD-89)
- Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC360-16

## 6.5.2. Materiales

- **ASTM**

Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales; está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

Para el diseño y cálculo del dispositivo extractor para cambio de polo es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros en el mercado, entre los materiales más usados se tiene los siguientes:

ASTM-A36 (Acero estructural)

- **AISI (Instituto americano del hierro y del acero)**

La norma AISI también conocida por ser una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos. A continuación, una tabla de resumen de distintos tipos de acero y su contenido aproximado de elementos principales de aleación.

Identificador	Aleante
1xxx	Carbono
2xxx	Níquel
3xxx	Níquel-Cromo, principal aleante el cromo
4xxx	Molibdeno
5xxx	Cromo
6xxx	Cromo-Vanadio, principal aleante el cromo
7xxx	Tungsteno-cobalto
8xxx	Níquel-Cromo-Molibdeno, principal aleante el níquel.
9xxx	Manganeso-silicio

**Tabla 8. Aleante principal AISI-SAE [11]**

Todo acero tiene características de acuerdo a su aleación. Algunas aleaciones comunes a continuación.

Designacion	Tipo
10XX	Aceros ordinarios al carbón
11XX	Aceros al carbono re sulfurados de fácil maquinado
13XX	Aceros con 1.75% de Mn (1.5-2%)
15XX	Aceros al manganeso (1.0-1.65%)
23XX	Aceros al níquel, 3.5% de Ni (3.25-3.75%)
25XX	Aceros al níquel, 5% de Ni (4.75-5.25%)
31XX	Aceros al níquel-Cromo, 1.25% Ni y 0.65% Cr
33XX	Aceros al níquel-Cromo, 3.5% Ni y 1.60% Cr
40XX	Aceros al molibdeno, 0.25% Mo.
41XX	Aceros con Cr (0.4-1.2%), Mo (0.08-0.25%)
43XX	Aceros al Ni-Cr-Mo (1.8%Ni, 0.65%Cr, 0.25%Mo)
44XX	Molibdeno, (0.4-0.53%)
45XX	Molibdeno, (0.55%)
46XX	Níquel- Molibdeno, (1.8%Ni, 0.2%Mo)
47XX	Níquel- Cromo- Molibdeno, (1.05%Ni, 0.45%Cr, 0.2%Mo)
48XX	Níquel- Molibdeno, (3.5%Ni, 0.25%Mo)
50XX	Aceros al Cromo (bajo cromo, 0.28-0.40%)
51XX	Medio Cromo, (0.8-1.05%)
50XXX	Acero resistente al desgaste, 0.5%Cr
51XXX	Acero resistente al desgaste, medio Cr 1%
52XXX	Acero resistente al desgaste, alto Cr 1.45%
61XX	Aceros al Cromo-Vanadio, (0.75% Cr, 0.15%V)
8XXX	Aceros de triple aleación
81XX	0.3%Ni, 0.4%Cr, 0.12%Mo
86XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.20%Mo
87XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.25%Mo
88XX	0.55%Ni, 0.50%Cr, 0.35%Mo
92XX	Acero al Silicio-Manganeso, (2%Si y 0.8%Mn)
93XX	Aceros de triple aleación, 3.25%Ni, 1.2%Cr, 0.12%Mo
98XX	Aceros de triple aleación, 1%Ni, 0.8%Cr, 0.25%Mo
XXBXX	Aceros con Boro, (mínimo 0.0005% B)
50BXX	0.5%Cr
51BXX	0.8%Cr
81BXX	0.3%Ni, 0.45%Cr, 0.12%Mo
XXBVXX	Acero al Boro-Vanadio
XXLXX	Acero con plomo
XXXH	Acero con banda de templabilidad
EX	Nuevos tipos de acero con designación temporal

**Tabla 9. Clasificación SAE de aceros [11]**

### 6.5.3. Materiales para Soldadura

Para la unión de materiales por soldadura, las técnicas de soldadura son de fundamental importancia y los procesos de soldadura deben ser tal que las fuerzas sean consistentes con el material de los elementos a unirse.



Se tomará en cuenta las recomendaciones dadas en la AWS D1.1 (American Welding Society), para los materiales base el tipo de aporte que le corresponde y así garantizar la resistencia de las uniones permanentes. Se tienen las siguientes tablas.

**Tabla 3.1**  
**Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)**

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
	ASTM A36	(≤3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A381	Grado Y35	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A500	Grado A	33	230	45 mín.	310 mín.
		Grado B	42	290	58 mín.	400 mín.
		Grado C	46	315	62 mín.	425 mín.
	ASTM A501	Grado A	36	250	58 mín.	400 mín.
	ASTM A516	Grado 55	30	205	55–75	380–515
		Grado 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524	Grado I	35	240	60–85	415–586
		Grado II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573	Grado 65	35	240	65–77	450–530
		Grado 58	32	220	58–71	400–490
1	ASTM A709	Grado 36 (≤ 3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550

**Tabla 10. Materiales aprobados WPS [10]**

**Tabla 3.2**  
**Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 3.1,**  
**Metales de Grupos I, II, III y IV —SMAW y SAW (véase 3.3)**

Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	SMAW		SAW	
		A5.1, Acero al carbono	A5.5 <sup>a</sup> , Acero de baja aleación	A5.17, Acero al carbono	A5.23 <sup>c</sup> , Acero de baja aleación
I	Clasificación del electrodo de AWS	E60XX	E70XX-X	F6XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E70XX		F6XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
				F7XX-EXXX	F7XX-ECXXX
II	Clasificación del electrodo de AWS	E7015	E7015-X	F7XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E7016	E7016-X	F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
		E7018	E7018-X		
		E7028			
III	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	F8015-X	N/A	F8XX-EXXX-XX
			E8016-X		F8XX-ECXXX-XX
			E8018-X		
IV	Clasificación del electrodo de AWS	N/A	E9015-X	N/A	F9XX-EXXX-XX
			E9016-X		F9XX-ECXXX-XX
			E9018-X		
			E9018M		

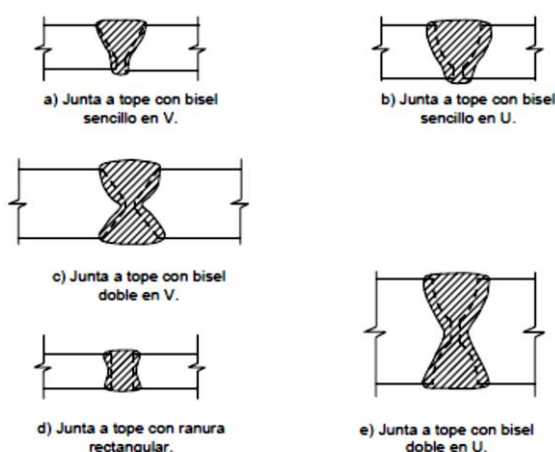
**Tabla 11. Materiales de aporte para resistencias similares [10]**

**Tabla 3.2 (Continuación)**  
**Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 3.1, metales de Grupo I - FCAW y GMAW con núcleo de metal (véase 3.3)**

PROCESO(S) DE SOLDADURA							
Grupo de metal base	Especificación de electrodos de AWS	GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.18, Acero al carbono	A5.28 <sup>a</sup> , Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29 <sup>a</sup> , Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija <sup>b</sup>	A5.36 <sup>c</sup> , Clasificación abierta <sup>d</sup> , Ver Nota 8 del Anexo U
Clasificación de electrodos de AWS	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijos -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS y los electrodos con sufijos -11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])	E6TX-X E7TX-X E6TX-XC E7TX-XC E7TX-XM	E6TX-X E7TX-X E6TX-XC E7TX-XC E7TX-XM	<b>FCAW con acero al carbono</b> E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8  (Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])  <b>GMAW con acero al carbono con núcleo de metal</b> E70C-6M	<b>FCAW con acero al carbono</b> E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3  (Se deben excluir los electrodos con núcleo de fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS y los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulgadas [12 mm])  <b>FCAW con acero de baja aleación</b> E6TX-XAX-XXX E7TX-XAX-XXX  <b>GMAW con acero al carbono con núcleo de metal</b> E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2

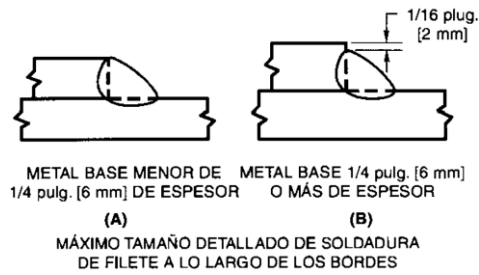
**Tabla 12. Materiales de aporte para resistencias similares [10]**

Las uniones soldadas típicas entre elementos se muestran en las figuras 42 y 43. En el caso de las juntas a tope deben ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr soldadura doble, así se obtendrá la misma calidad del metal depositado en el interior y en el exterior de las partes soldadas.



**Figura 42. Tipos de juntas [10]**

Las soldaduras a filete es la más común y su perfil recuerda a un triángulo que resulta de unir dos superficies en ángulo. El tamaño del filete está determinado por la norma AWS como la longitud de los catetos formados por el triángulo de la soldadura y las piezas a unir. Fig. 43.

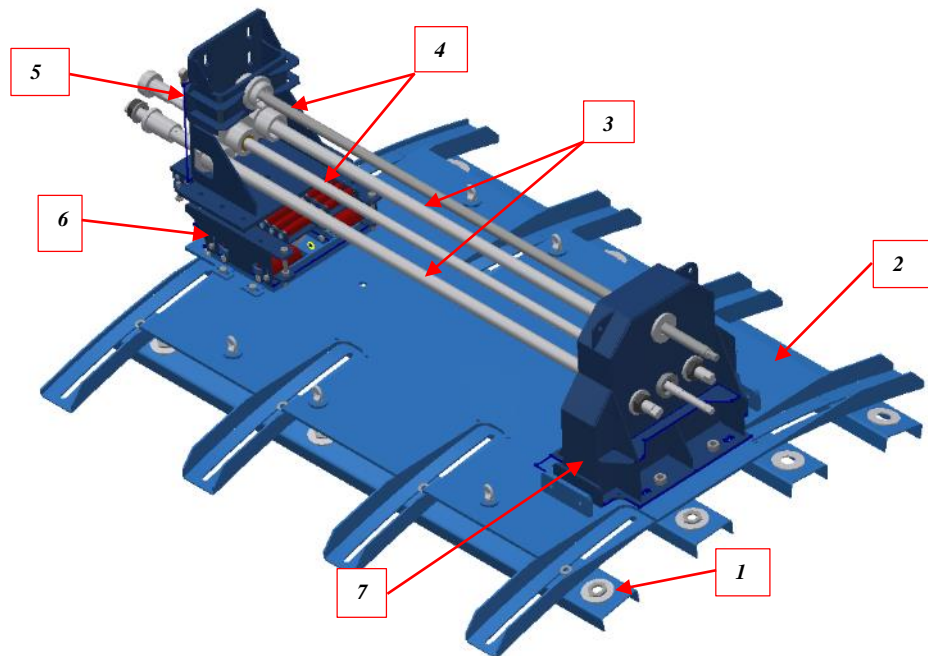


**Figura 43. Máximo tamaño de soldadura tipo cateto o filete [10]**

# CAPÍTULO VII CALCULO DE RESISTENCIA DE COMPONENTES DE DISPOSITIVO EXTRACTOR DE POLO EN UN GMD

## 7.1. Dispositivo Extractor de polo

El dispositivo extractor de Polo básicamente realiza la función de sujetar y extraer el polo horizontalmente con su base anclada a la superficie del cilindro del molino, su configuración y partes son las siguientes:



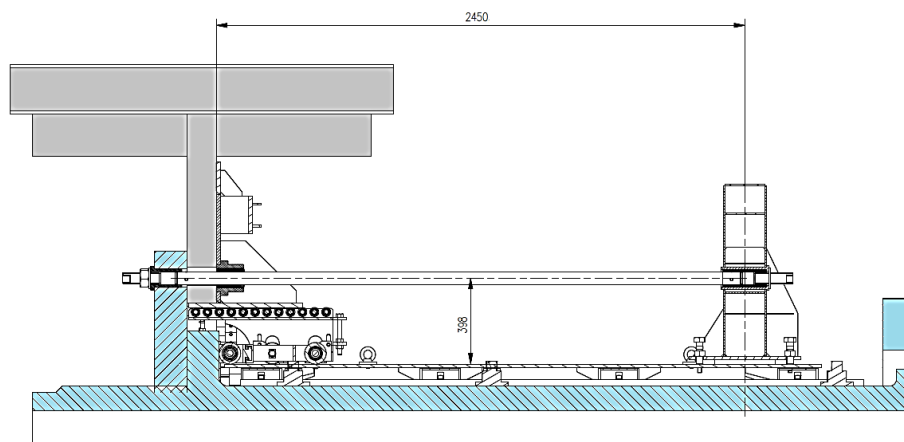
**Figura 44. Dispositivo extractor de Polo [Elaboración propia]**

- 1) Soportes de sujeción "C"
- 2) Base Fija
- 3) Barras guía
- 4) Tornillos de Potencia s e i
- 5) Carro superior
- 6) Carro inferior
- 7) Pórtico

## 8) Brida del molino

Los cuatro soportes en “C” y la base fija conforman el anclaje del dispositivo, los extremos sujetadores de las barras guías y tornillos de potencia son la brida del molino (pertenece al equipo) y el pórtico anclado a la base fija.

Finalmente, el carro superior sujeta el Polo y a la vez este se une al carro inferior para trasladar horizontalmente el polo en dirección paralela a las barras guías, jalado por los tornillos de potencia superior e inferior, el carro usa la base fija como pista de rodadura.



**Figura 45. Sección de dispositivo extractor [Elaboración propia]**

En la figura 45 se observa la distancia entre el pórtico y cara de sujeción del polo, la base fija considera el diámetro del casco ( $\text{Ø}8420$  mm) del molino como radio para su diseño.

### 7.2. Análisis de Componentes – Normas de referencia.

El dispositivo cuenta con componentes que pueden ser analizados como estructura y parte como elementos de máquina, en la metodología cálculo se realizara de manera convencional y también se usara software de diseño como el SAP 2000 V.21 (estructuras) y el Ansys 19.2 (Análisis estático estructural que usa el método de elementos finitos); hay componentes que debido a la complejidad de forma del dispositivo se hace complicado el cálculo exacto del esfuerzo y la deflexión en la pieza geométrica, por tal motivo se cuenta con el apoyo del software de diseño que analizara el componente por elementos

finitos (Esfuerzo equivalente de Von Mises).

Entre las normas de referencia se tiene las siguientes:

- Steel Construction manual, american Institute of Steel Construction Thirteenth Edition.
- Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC 360-LRFD
- American Society for Testing and Materials (ASTM International).
- AWS D14.1/D14.1 M:2015
- Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC360-16
- Código ASME para ejes

### 7.3. Cálculo de cargas

Como referencia se tiene los pesos de los componentes del dispositivo extractor de Polo, se consideran como cargas estáticas y varían gradual y suavemente al accionar el dispositivo a velocidad constante.

**Los componentes móviles del dispositivo extractor en operación tendrán una velocidad promedio constante de desplazamiento entre 4 a 6 cm/minuto y en el caso del tornillo de potencia 7 a 10 RPM en su accionamiento, es por tal razón que se consideran las cargas como estáticas.**

<b>Peso unitario de componentes del Dispositivo</b>			
<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cargas</b>	<b>Peso Kg (N)</b>
<b>1</b>	Polo de rotor GMD	q1	3000 (29430)
<b>2</b>	Carro Superior	q2	130 (1275)
<b>3</b>	Pórtico	q3	200(1962)
<b>4</b>	Base Fija	q4	600(5886)
<b>5</b>	Soportes en "C" / und.	q5	55 (539)
<b>6</b>	Tornillos de potencia	q6	98(961)
<b>7</b>	Barras guía	q7	62(608)

8	Carro Inferior	q8	180(1766)
---	----------------	----	-----------

**Tabla 13. Peso de componentes del Dispositivo extractor [Elaboración propia]**

### 7.3.1. Carga Viva

Como carga viva se considera el peso del Polo y partes móviles del dispositivo extractor

### 7.3.2. Carga Muerta

Como carga muerta en el cálculo de resistencia se considera el peso propio de cada componente fijo.

### 7.3.3. Carga dinámicas o impacto

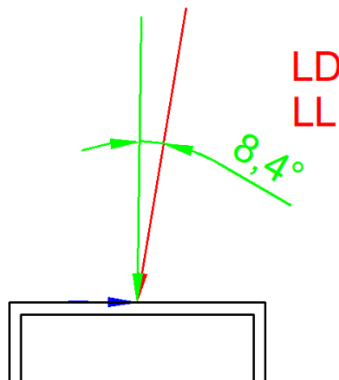
Estas tienen que ver con una carga aplicada repentinamente sin la velocidad de colisión, como un peso que súbitamente se levanta con un soporte.

## 7.4. Cálculo de resistencia de componentes

### 7.4.1. Soportes de sujeción C (Base)

Los soportes en “C” son la base de sujeción de la mesa fija, son cuatro unidades, para fines de cálculo se considera la carga sobre solo dos soportes en “C” de manera equitativa. De sección C215x74 mm en acero ASTM A36.

Considerando el caso extremo en la que la mesa fija está alineada al polo, ambos desfasados  $8.4^\circ$  respecto del eje vertical del molino según la figura 46 se tiene:



**Figura 46. Tipos de juntas [9]**

#### 7.4.1.1 Cargas asignadas

Las cargas asignadas se descompondrán en dos componentes debido a la inclinación:

- **Carga muerta (LD)**

La carga muerta considera el peso del mismo perfil y el peso de la mesa fija por lo componentes fijo del dispositivo extractor, distribuidos en toda la longitud.  
( $q_4+q_6/2+q_7$ )

- **Carga Viva (LL)**

La carga viva está considerada por el peso de los carros y el polo ubicado en el vano más largo entre apoyos ( $q_1+q_2+q_6/2+q_8$ )

- **Combinación de cargas según AISC- LRFD**

Las combinaciones de cargas usadas para encontrar la envolvente de esfuerzos sobre el elemento de acuerdo a la AISC360-16.

Combinación de cargas		
DSTL1	1.4LD	Esfuerzo
DSTL2	1.2LL+1.6LD	Esfuerzo
DSTL3	1.0LD	Deformación
DSTL4	1.0LD+1.0LL	Deformación

**Tabla 14. Combinación de cargas [Elaboración propia]**

La carga se distribuye sobre dos canales, por lo tanto, cada soporte en C asume la mitad de carga según tabla 12.

Cargas asignadas				
Carga viva	3359/2 Kg.	Z=- 1661 Kg.	Y= 245 Kg.	X= 0
Carga viva (Jalado)	318/2 Kg.	---	---	X=159 kg.
Carga Muerta	911/2890(2) Kg/mm	Z=- 0.156 kg/mm	Y= 0.023 kg/mm	X= 0

**Tabla 15. Cargas asignadas a soporte C [Elaboración propia]**



### 7.4.1.2 Modelado de viga soporte en “C”

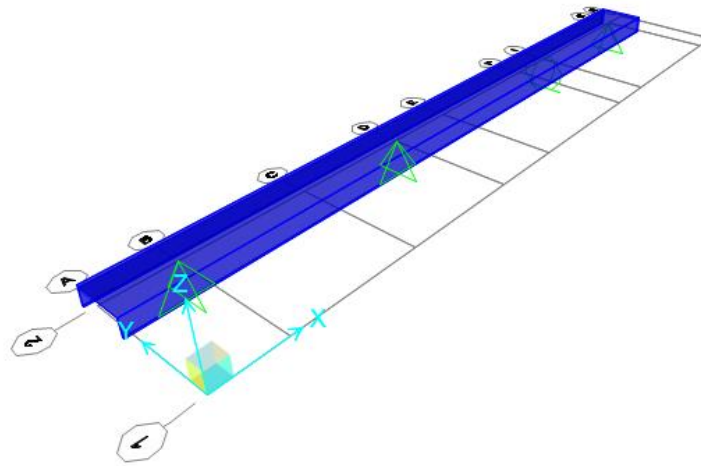


Figura 47. Modelado de viga de sujeción C [Elaboración propia]

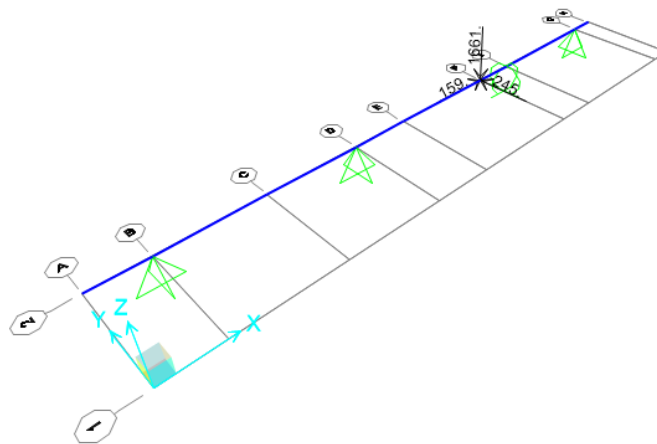
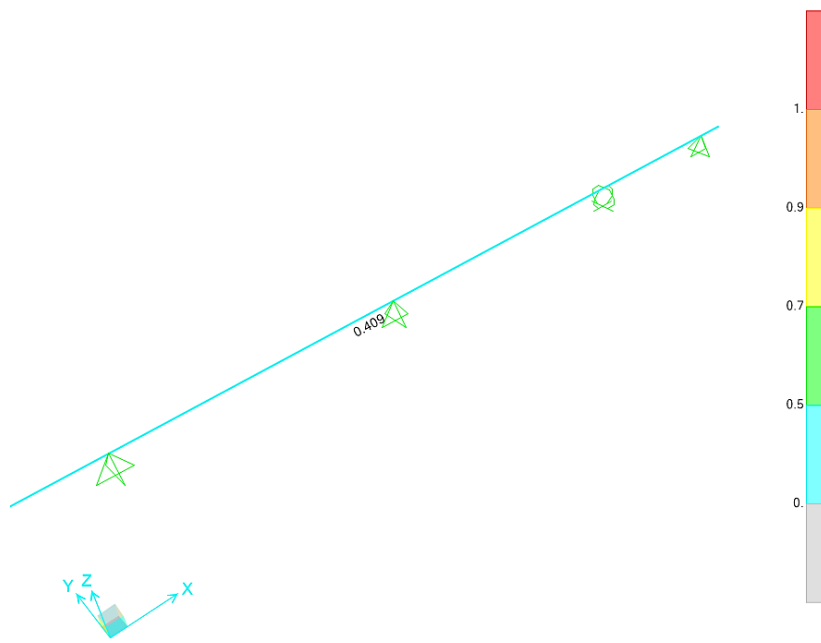


Figura 48. Asignación de cargas a viga C [Elaboración propia]



**Figura 49. Ratio de esfuerzos de viga [Elaboración propia]**

```

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 4 X Mid: 1445. Combo: UDSTL2 Design Type: Beam
Length: 2890. Y Mid: 500. Shape: C215x74 Frame Type: OMF
Loc : 1965. Z Mid: 0. Class: Non-Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.002 AlphaPr/Pe=0.005 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=2224.405 I33=14612733.82 r33=81.051 S33=135932.408 Av3=939.8
J=28873.537 I22=1054143.141 r22=21.769 S22=18646.145 Av2=1365.25
E=20389.019 Fy=25.311 Ry=1.5 z33=163013.533 Cw=8144270979.
RLLF=1. Fu=40.778 z22=33097.759

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo UDSTL2)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
1965. -127.2 -164046.736 238093.677 -182.347 2385.609 -6923.242

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)
D/C Ratio: 0.409 = 0.003 + 0.045 + 0.361
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-lb)
Factor L K1 K2 B1 B2 Cm
Major Bending 1. 1. 1. 1. 1. 1.
Minor Bending 1. 1. 1. 1. 1. 1.

LTB Lltb Kltb Cb
1. 1. 1.749

Pu phi*Pnc phi*Pnt
Force Capacity Capacity
Axial -127.2 20036.013 50670.736

Mu phi*Mn phi*Mn phi*Mn
Moment Capacity No LTB Cb=1
Major Moment -164046.736 3631240.798 3631240.798 2603249.425
Minor Moment 238093.677 659291.035

SHEAR CHECK
Vu phi*Vn Stress Status
Force Capacity Ratio Check
Major Shear 182.347 18659.791 0.01 OK
Minor Shear 2385.609 12844.88 0.186 OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS
VMajor VMajor
Left Right
Major (V2) 0. 0.

```

**Figura 50. Resultados de esfuerzos en viga C [Elaboración propia]**

Del resultado del análisis según AISC 360 – LRFD se tiene que el componente trabaja a una ratio de  $0.409 < 1 \dots \text{Ok}$ . Figura 50

```

AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Deflection Details)
Units : Kgf, mm, C

Frame : 4      X Mid: 1445.   Combo: UDSTL4   Design Type: Beam
Length: 2890.  Y Mid: 500.    Shape: C215x74  Frame Type: OMF
Loc : 0.      Z Mid: 0.     Class: Slender  Princpl Rot: 0. degrees

DEFLECTION CHECK (Combo UDSTL4)
Type      Consider Deflection Limit Ratio Status
Dead Load Yes      0.      24.083  0.      OK
Super DL+LL Yes    0.163  24.083  0.007   OK
Live Load Yes    0.163  8.028   0.02    OK
Total Load Yes    0.      12.042  0.      OK
Total-Camber No     0.      12.042  0.      OK

```

**Figura 51. Resultados de deflexión de viga C [Elaboración propia]**

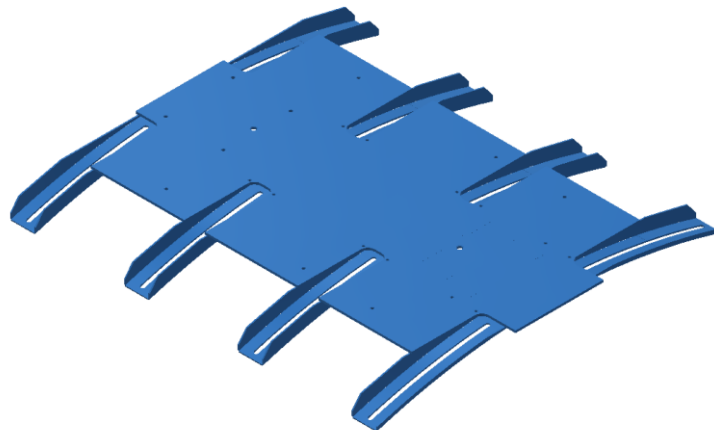
La deflexión máxima permitida para la carga viva es de  $L/360$ ,  $2890/360 = 8.03\text{mm}$

$$d_{\text{cal}} < d_{\text{max}}, 0.16 < 8.0 \dots Ok.$$

#### 7.4.2. Base fija

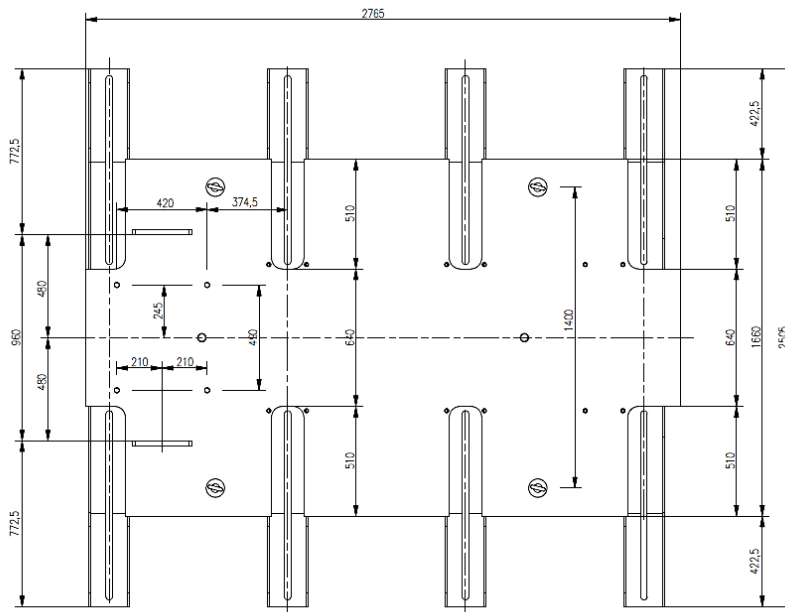
La base fija sujeta por los soportes “C”, se considera con una sujeción fija y se analiza para el caso más crítico a  $8.4^\circ$  respecto al eje vertical del molino. La configuración de la base fija es como se muestra en las figuras 52 y 53 de superficie plana para el desplazamiento del carro y perfiles curvos en la cara opuesta para el anclaje a las vigas “C” en el casco del molino.

El análisis del componente se realiza por el método de elementos finitos y el criterio de aceptación el esfuerzo equivalente de Von Misess.



**Figura 52. Modelado de base fija [Elaboración propia]**

La base fija está conformada principalmente (pista de carro) por planchas de acero ASTM A36 en espesores varios (3/4", 1/2", 3/8" y 1/4")



**Figura 53. Dimensiones principales de base fija [Elaboración propia]**

#### 7.4.2.1 Determinación de cargas

La carga se considera para el caso más crítico en el que el polo se encuentra desfasado en 8.4° respecto del eje del equipo ( $q_1+q_2+q_6/2+q_8$ ) Tabla 13. La carga principal es la del polo con los componentes móviles del dispositivo.

Cargas a 8.4° (Polo y segmentos móviles del dispositivo)				
Carga	32952N	Z=- 32598 N	Y= 4814 N	X= 0

**Tabla 16. Cargas asignadas a base (Polo y carro móvil) [Elaboración propia]**

#### 7.4.2.2 Propiedades del material

Propiedades	
Nombre	ASTM A36
Tipo de Modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error	Tensión máxima de Von Misses
Límite elástico	250 MPa
Límite de tracción	400 MPa

<b>Modulo elástico</b>	200000 MPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.26
<b>Densidad</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 17. Propiedades de materiales de base fija [Elaboración propia]**

#### 7.4.2.3 Análisis del modelo

<b>Nombre del objeto</b>	<i>Estructural estática</i>
<b>Definición</b>	
<b>Tipo de física</b>	Estructural
<b>Tipo de análisis</b>	Estructural estática
<b>Opciones</b>	
<b>Temperatura ambiente</b>	22. °C

**Tabla 18. Tipo de modelado [Elaboración propia]**

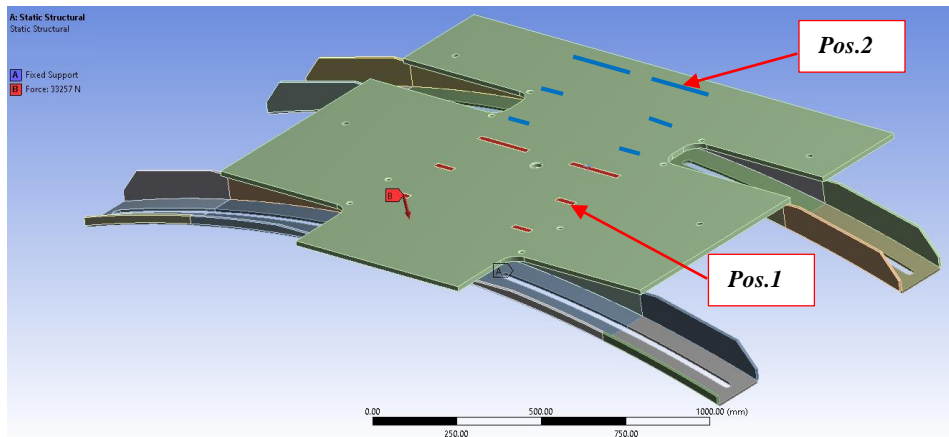
#### 7.4.2.4 Información de mallado de base

<b>Nombre del objeto</b>	Malla
<b>Defaults</b>	
Preferencia física	Mecánica
Orden del elemento	Programa controlado
<b>Dimensionamiento</b>	
Cuadro delimitador diagonal	2875.8 mm
Área de la superficie media	21786 mm <sup>2</sup>
Longitud de borde mínimo	0.5 mm
<b>Estadística</b>	
Nodos (Segmento A)	16008928
Elementos (Segmento A)	10216064

**Tabla 19. Datos de mallado [Elaboración propia]**

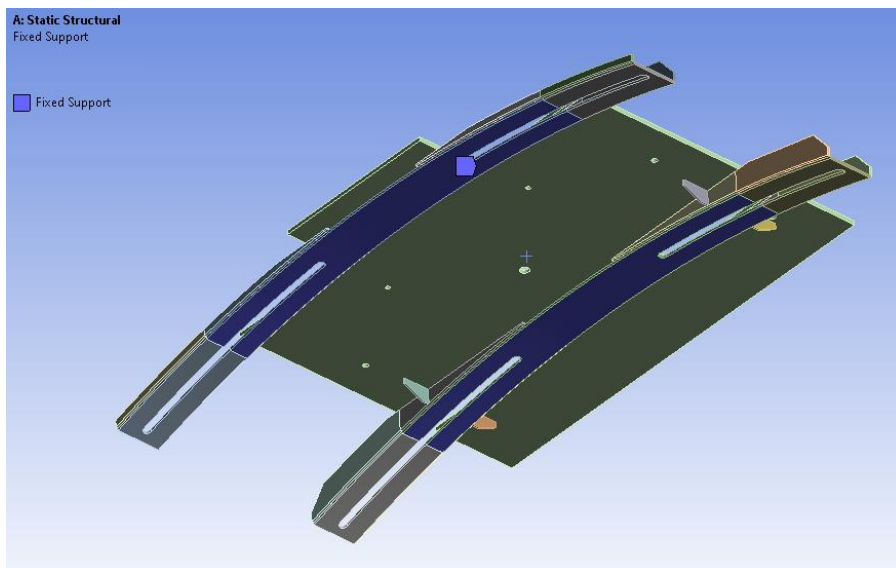
#### 7.4.2.5 Aplicación de cargas a la Base fija

La carga se transmite a la base por medio de las ruedas del carro del dispositivo, se considera las dos componentes de las fuerzas vertical y horizontal. Se verificará la simulación de esfuerzos en dos posiciones como se indica en la figura 54; la primera en medio de los apoyos y la segunda sobre un apoyo intermedio (Pos. 1 y Pos. 2).



**Figura 54. Ubicación de fuerzas sobre base fija [Elaboración propia]**

#### 7.4.2.6 Apoyos fijos y móviles



**Figura 55. Apoyos fijos de base fija [Elaboración propia]**

#### 7.4.2.7 Ratios de esfuerzos y deformaciones en la base fija

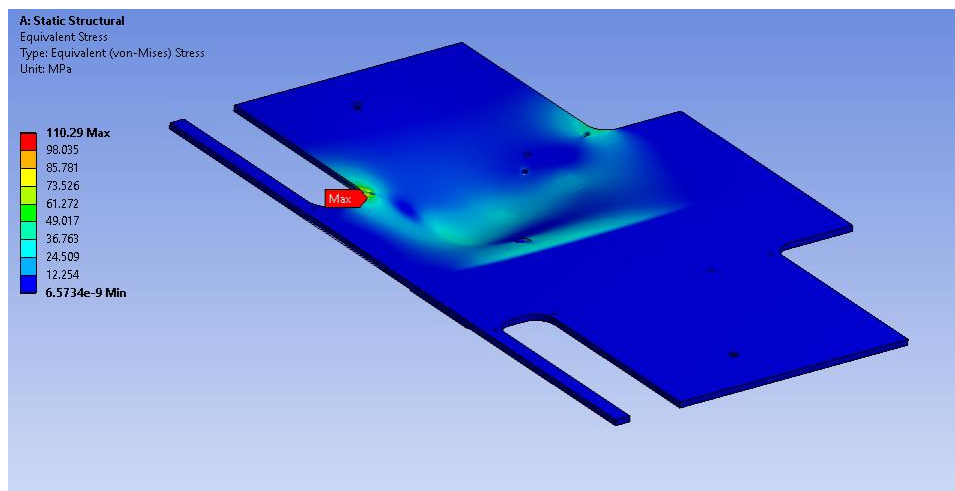
##### Posición 1

Los resultados del análisis son aceptables si el esfuerzo de Von mises no supera la fluencia del acero A36 y la deformación, los resultados se detallan en la siguiente tabla.

Nombre del objeto	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
<b>Tipo</b>	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
<b>Mínimo</b>	0. mm	6.57e-009 MPa
<b>Máximo</b>	0.36 mm	<b>110.29 MPa</b>
<b>Promedio</b>	0.045 mm... ok!	<b>3.32 MPa...ok!</b>

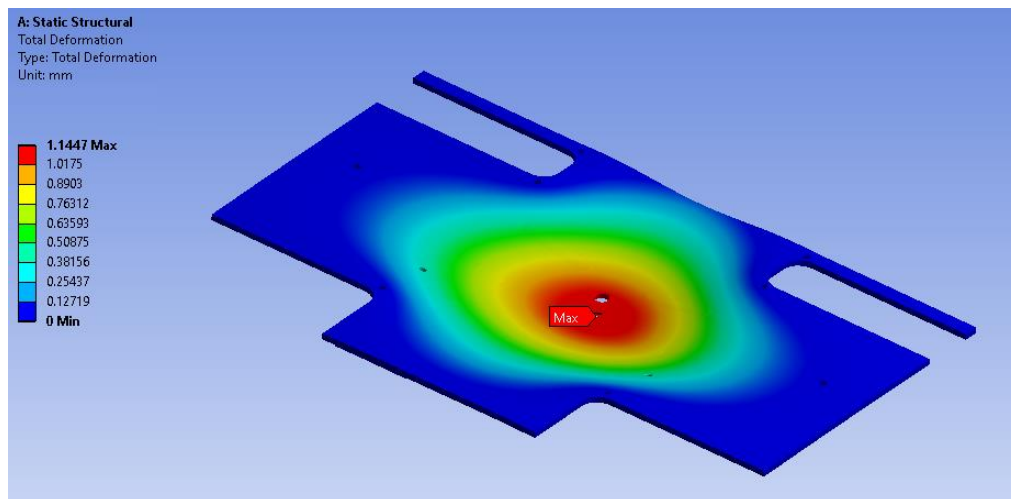
**Tabla 20. Resultados de análisis (Estático estructural FEA) [Elaboración propia]**

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 110.20 Mpa. El esfuerzo promedio del cuerpo es de según el análisis es de 3.32 Mpa < 250 Mpa del acero A36; y la deformación en la figura 57 de 1.14 mm ubicado en la zona central.



**Figura 56. Gráfico de esfuerzo equivalente en base fija [Elaboración propia]**





**Figura 57. Deformación máxima de base fija (Elementos finitos) [Elaboración propia]**

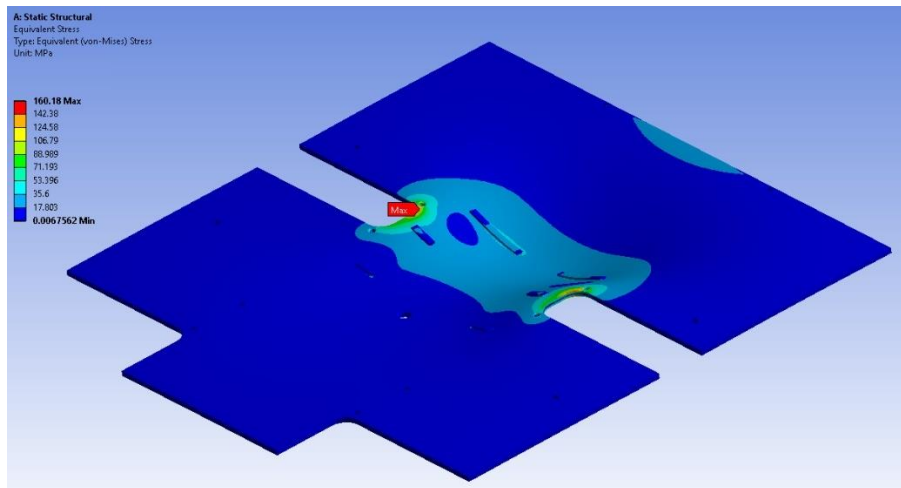
### Posición 2

Los resultados del análisis son aceptables si el esfuerzo de Von mises no supera la fluencia del acero A36 y la deformación, los resultados se detallan en la siguiente tabla.

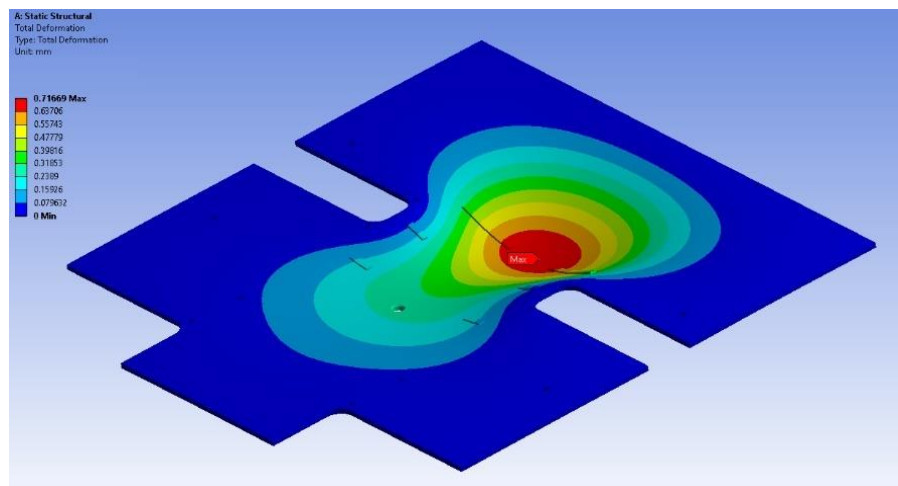
Nombre del objeto	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
Tipo	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
<b>Mínimo</b>	0. mm	6.75e-003 MPa
<b>Máximo</b>	0.717 mm	<b>160.18 MPa</b>
<b>Promedio</b>	0.11 mm... ok!	<b>4.47 MPa...ok!</b>

**Tabla 21. Resultados de análisis (Estático estructural FEA) [Elaboración propia]**

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 160.18 Mpa. El esfuerzo promedio del cuerpo es de según el análisis es de 4.47 Mpa < 250 Mpa del acero A36; y la deformación en la figura 59 de 0.71 mm ubicado en la zona central.



**Figura 58. Gráfico de esfuerzo equivalente en base fija [Elaboración propia]**

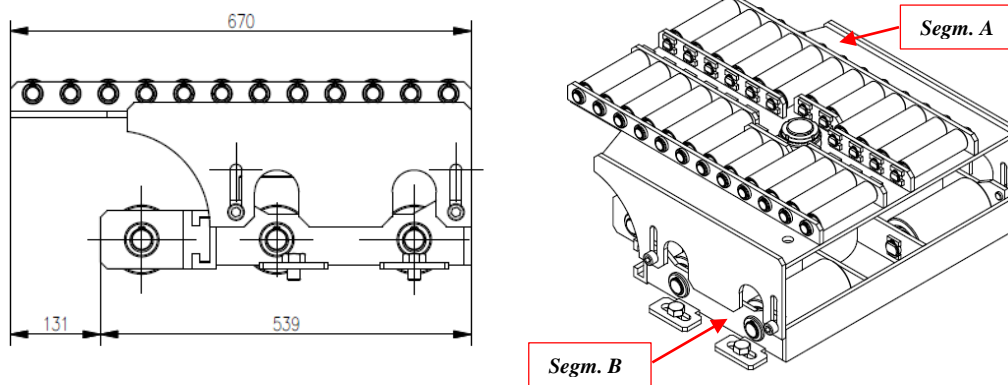


**Figura 59. Deformación máxima de base fija (Elementos finitos) [Elaboración propia]**

### 7.4.3. Carro Inferior

El carro inferior soporta el peso del polo y está en contacto por medio de ruedas a la base fija y por medio de rodillos al carro superior.

Está conformado por un cuerpo de acero y 06 ruedas inferiores y rodillos en la superficie superior, ambos componentes se unen por medio de un tornillo para regulación en altura. Los componentes son de acero ASTM A36 y rodillos en acero ASTM A53.



**Figura 60. Dimensiones generales del carro inferior [Elaboración propia]**

El análisis del componente se realiza por el método de elementos finitos y el criterio de aceptación es el esfuerzo equivalente de Von Mises respecto de la fluencia del material. La herramienta de apoyo para el análisis es el software Ansys.

#### 7.4.3.1 Determinación de cargas

La carga se considera para el caso más crítico en el que el polo se encuentra desfasado en  $8.4^\circ$  respecto del eje del equipo. Para el segmento A ( $q_1+q_2+q_6/2$ ) y para el segmento B ( $q_1+q_2+q_6/2+q_8/3$ )

Cargas a $8.4^\circ$ (Polo y segmentos móviles del dispositivo)				
Carga Segm. A	<b>31156 N</b>	Z=- 30821 N	Y= 4551 N	X= 0
Carga Segm. B	<b>31774 N</b>	Z=- 31433 N	Y= 4641 N	X= 0

**Tabla 22. Cargas asignadas a carro inferior [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.2 Propiedades del material

Propiedades	
<b>Nombre</b>	ASTM A36
<b>Tipo de Modelo</b>	Isotrópico elástico lineal
<b>Criterio de error</b>	Tensión máxima de Von Misses
<b>Límite elástico</b>	250 MPa
<b>Límite de tracción</b>	400 MPa
<b>Modulo elástico</b>	200000 MPa

<b>Coef. de Poisson</b>	0.26
<b>Densidad</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 23. Propiedades de material (estructura de carro) [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.3 Análisis del modelo

<b>Nombre del objeto</b>	<i>Estructural estática</i>
<b>Definición</b>	
<b>Tipo de física</b>	Estructural
<b>Tipo de análisis</b>	Estructural estática
<b>Opciones</b>	
<b>Temperatura ambiente</b>	22. °C

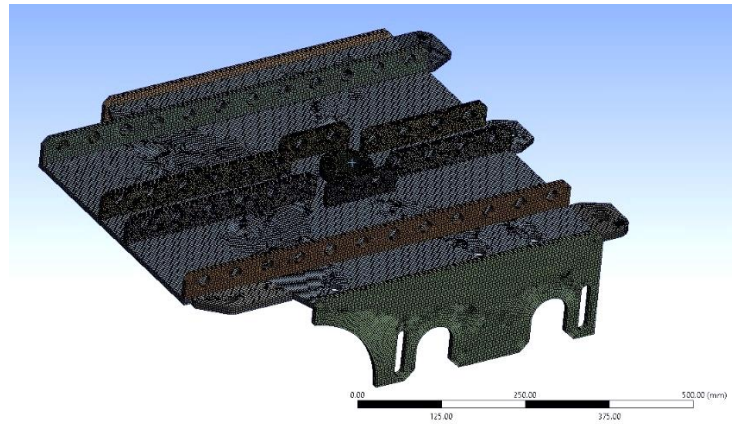
**Tabla 24. Datos de tipo de modelado [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.4 Información de mallado

- **Segmento A**

<b>Nombre del objeto</b>	Malla
<b>Defaults</b>	
Preferencia física	Mecánica
Orden del elemento	Programa controlado
<b>Dimensionamiento</b>	
Cuadro delimitador diagonal	981.2 mm
Área de la superficie media	5257.6 mm <sup>2</sup>
Longitud de borde mínimo	0.3 mm
<b>Estadística</b>	
Nodos (Segmento A)	1591698
Elementos (Segmento A)	458989

**Tabla 25. Datos de mallado (A) [Elaboración propia]**

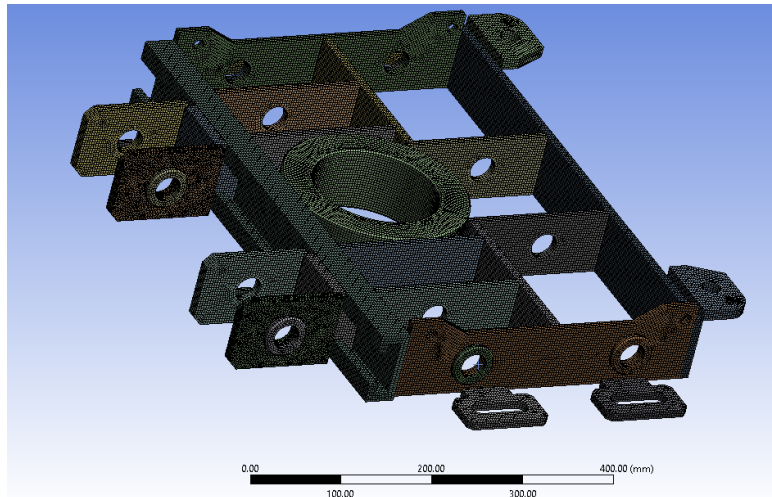


**Figura 61. Mallado de estructura de carro inferior (A) [Elaboración propia]**

- **Segmento B**

<b>Nombre del objeto</b>	Malla
<b>Defaults</b>	
Preferencia física	Mecánica
Orden del elemento	Programa controlado
<b>Dimensionamiento</b>	
Cuadro delimitador diagonal	952.7 mm
Área de la superficie media	3003.4 mm <sup>2</sup>
Longitud de borde mínimo	0.13 mm
<b>Estadística</b>	
Nodos (Segmento B)	1259799
Elementos (Segmento B)	321626

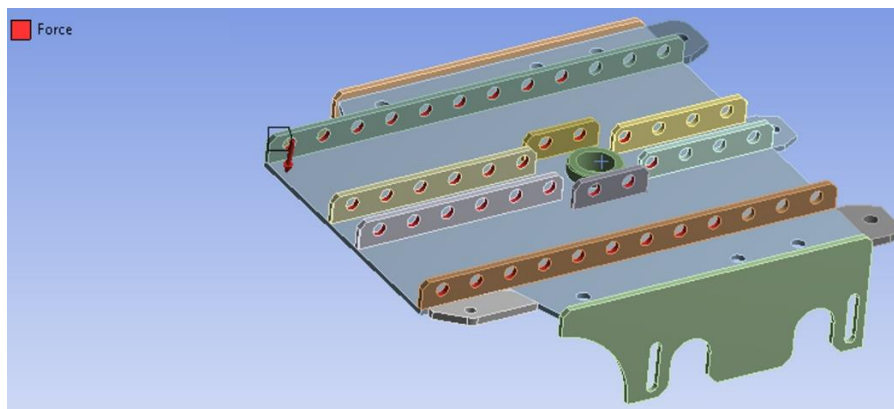
**Tabla 26. Datos de mallado (B) [Elaboración propia]**



**Figura 62. Mallado de carro inferior (B) [Elaboración propia]**

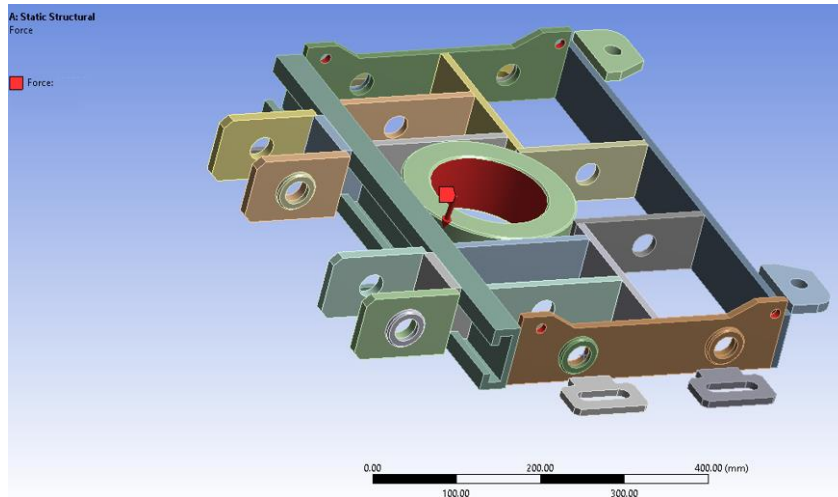
#### 7.4.3.5 Aplicación de cargas en los segmentos del carro inferior.

- Para el Segmento A la fuerza se transfiere en los apoyos de los rodillos, en un total de 09 de los 12 ejes de rodillos, esto porque la superficie de contacto del carro superior solo se apoya en esa cantidad.



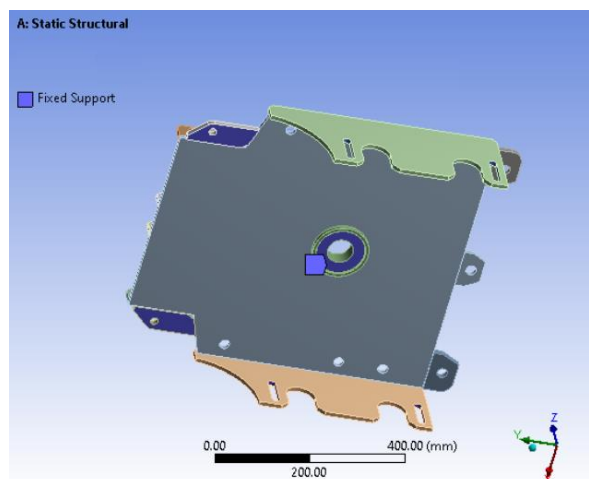
**Figura 63. Ubicación de cargas en estructura de carro (A) [Elaboración propia]**

- Para el segmento B del carro inferior la fuerza se transfiere del segmento A por medio del tornillo central y los 04 agujeros en las esquinas del segmento B

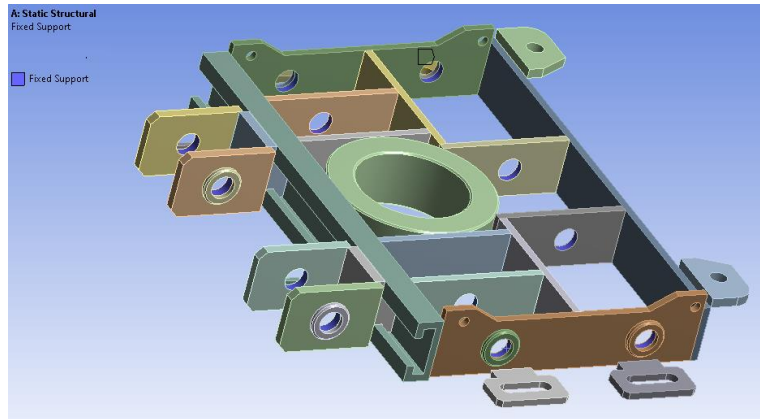


**Figura 64. Ubicación de cargas en estructura de carro (B) [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.6 Apoyos fijos y móviles



**Figura 65. Apoyos fijos de segmento (A) de carro [Elaboración propia]**



**Figura 66. Apoyos fijos de segmento B de carro inferior [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.7 Ratios de esfuerzos y deformaciones Segmento (A)

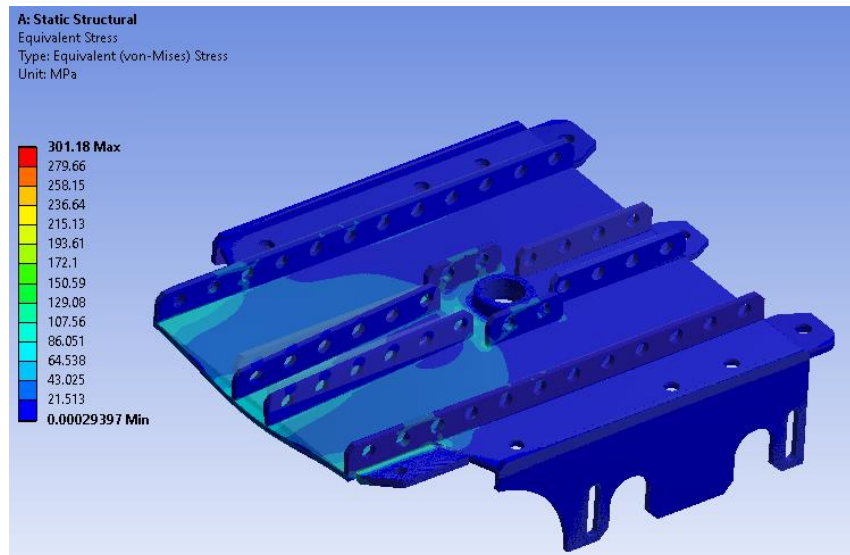
Los resultados del análisis son aceptables si el esfuerzo de Von mises no supera la fluencia del material y la deformación está dentro de lo permisible.

Nombre del objeto A	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
Tipo	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
<b>Mínimo</b>	0. mm	2.94e-004 MPa
<b>Máximo</b>	0.87 mm	<b>301.18 MPa</b>
<b>Promedio</b>	0.10 mm... ok!	<b>8.60 MPa...ok!</b>

**Tabla 27. Resultados de análisis FEA a carro superior. [Elaboración propia]**

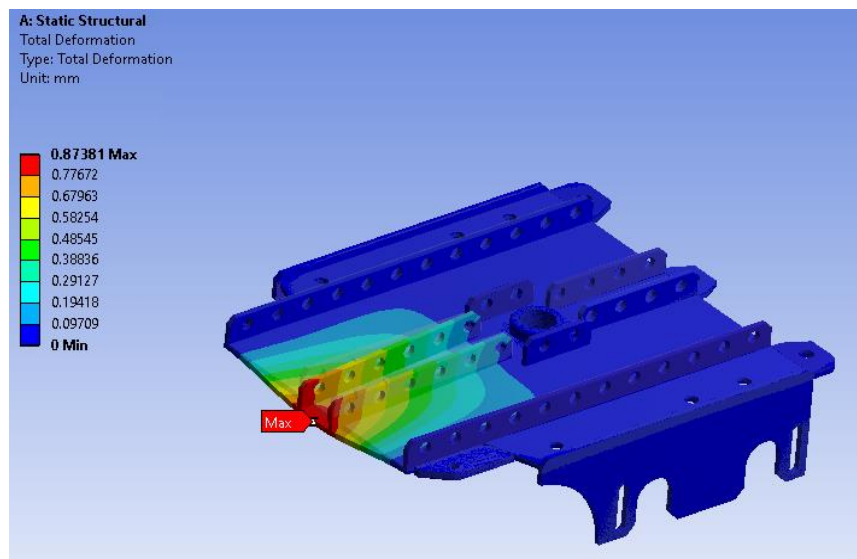
El esfuerzo máximo de Von Mises es de 301.18 Mpa en un filo de una cartela, sin embargo, este espacio será cubierto por soldadura E7018 o E70 S cuya fluencia supera este esfuerzo máximo, la fluencia de la soldadura esta alrededor de los 482 Mpa. El esfuerzo promedio del cuerpo según el análisis es de 8.6 Mpa < 250 Mpa (A36).





**Figura 67. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalentes (A) [Elaboración propia]**

La deformación máxima del segmento A se da en el centro como lo indica la figura 65 siendo su valor de 0.87mm...ok.



**Figura 68. Gráfico de ubicación de deformación máxima (A) [Elaboración propia]**

#### 7.4.3.8 Ratios de esfuerzos y deformaciones Segmento B

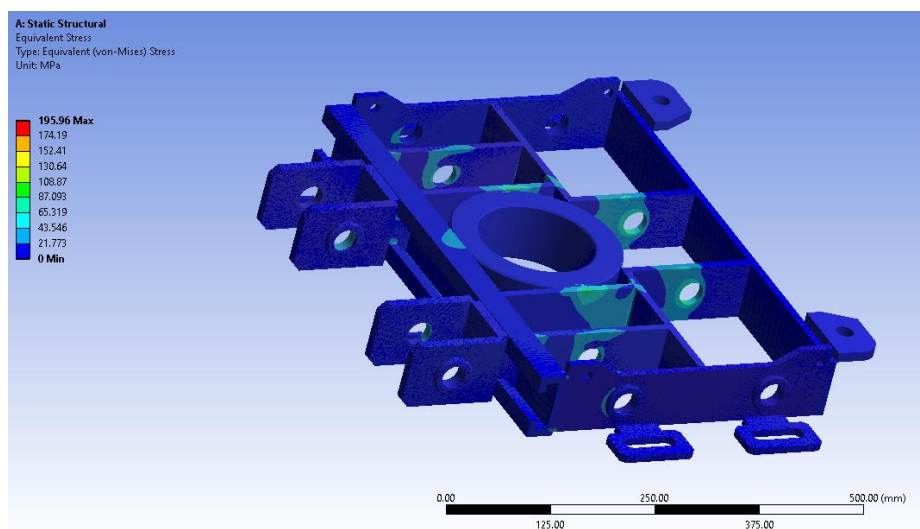
Resultados en el segmento B en la siguiente tabla:

Nombre del objeto B	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
Tipo	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
Mínimo	0. mm	2.94e-004 MPa
Máximo	0.119 mm	<b>195.96 MPa</b>
Promedio	0.032 mm... ok!	<b>6.88 MPa...ok!</b>

**Tabla 28. Resultados de análisis FEA a carro superior (B) [Elaboración propia]**

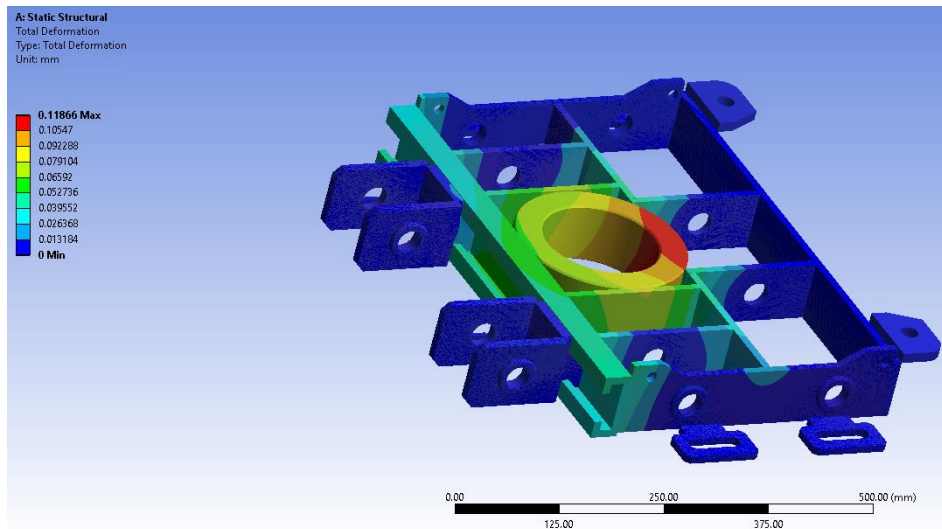
¡El esfuerzo máximo de Von Mises del segmento B es de 195 Mpa < 250 Mpa (A36)

... ok!



**Figura 69. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalente máximo en segmento (B) [Elaboración propia]**

La deformación máxima en todo el componente es de 0.12 mm, en la tuerca del tornillo, despreciable en el uso del dispositivo extractor.



**Figura 70. Gráfico de ubicación de deformación máxima [Elaboración propia]**

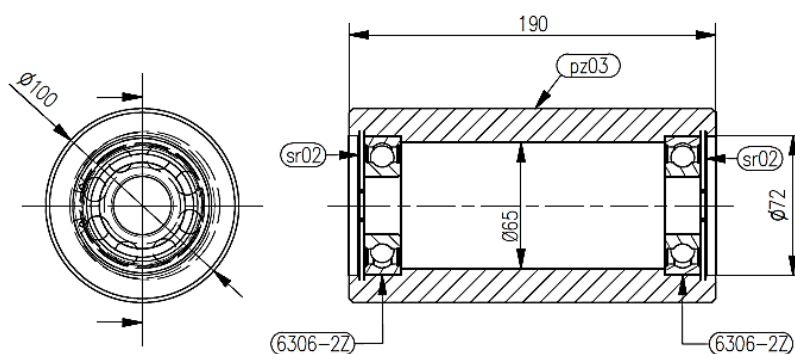
#### 7.4.3.9 Ruedas inferiores del carro inferior

Las ruedas inferiores soportan directamente el peso del carro superior e inferior y el polo. La carga se distribuye uniformemente sobre las ruedas ( $q_1+q_2+q_8+q_6/2$ ), Tabla 12.

Las ruedas están conformadas de acero ASTM A36 y rodamientos de bolas en cada lado.

Se verificará la resistencia de la rueda mediante la fatiga superficial debido al contacto

Figura 71.



**Figura 71. Dimensiones de ruedas de carro inferior [Elaboración propia]**

- **Esfuerzos en contacto cilíndrico**

### Huella de contacto.

Constante de Geometría y de Materiales

Constante de geometría “B” y la constante de materiales “m”.

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dónde:

R1: Radio de la rueda = 2”

R2: Radio de la pista de rodadura / Base fija (R2=∞).

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2''} + \frac{1}{\infty} \right) = 0.25$$

$$m_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1}; m_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$$

Dónde:

v: Razón de poisson (Acero 0.26)

E: Modulo de Young (29 000 ksi)

$$m_1 = m_2 = \frac{1 - 0.26^2}{E} = 0.00003215$$

Semi ancho de huella de contacto.

Esta dada por:

$$a = \sqrt{\frac{2 m_1 + m_2 F}{\pi B L}}$$

Dónde:

F: La carga aplicada sobre la rueda (3359 kg.) 7.39 Kips.

L: Ancho de la rueda ((2) x7.48" + (4) x2.76" = 26").

$$a = \sqrt{\frac{2(2)(0.00003215)7.39}{\pi \cdot 0.25 \cdot 26}}$$

$$a = 0.0068"$$

Este será el semi ancho que la rueda se deformará para soportar la carga.

$$\text{area} = 2aL$$

$$\text{area} = (2)(0.0068)(26")$$

$$\text{area} = 0.3547 \text{ inch}^2$$

Presión de contacto promedio

$$P_{\text{prom}} = \frac{F}{A} = \frac{7.39}{0.3547}$$

$$P_{\text{prom}} = 20.83 \text{ ksi.}$$

Presión de contacto máxima

$$P_{\text{max}} = \frac{2F}{\pi aL}$$

$$P_{\text{max}} = \frac{2(7.39)}{\pi(0.0068)26"}$$

$$P_{\text{max}} = 26.61 \text{ ksi.}$$

Esfuerzos normales máximos en el centro de la huella de contacto.

$$\sigma_x = \sigma_z = -P_{\text{max}}$$

$$\sigma_x = \sigma_z = -26.61 \text{ Ksi} < 35.0 \text{ Ksi ... Ok!!!}$$

$$\sigma_y = -2\nu P_{\text{max}}$$

$$\sigma_y = -2(0.26)26.61$$

$$\sigma_y = -13.84 \text{ ksi} < 36.0 \text{ ksi} \dots \text{Ok!!!}$$

Esfuerzos cortantes máximo y su ubicación (profundidad) se obtienen de:

$$\tau_{1-3 \text{ max}} = 0.304P_{\text{max}}$$

$$\tau_{1-3 \text{ max}} = 0.304(26.61) = 8.09 \text{ Ksi}$$

$$\tau_{1-3 \text{ max}} = 8.09 \text{ Ksi} < 36.0 \text{ Ksi} \dots \text{Ok!!!}$$

$$z_{@-\tau \text{ max}} = 0.786a = 0.786 (0.0068) = 0.0053" \dots \text{Ok!!!}$$

#### 7.4.3.10 Rodillos superiores del carro inferior

El carro superior (ASL-04) se apoya en su base a los rodillos del carro inferior (ASL-07), que cuenta con 12 ejes de rodillos, pero solo se apoya en 9 ejes.

Los rodillos están conformados por tubo  $\text{Ø}1 \frac{1}{4}$ " SCH80 ASTM A53 B (Limite de fluencia 35 Ksi). La carga aplicada es  $q_1+q_2+q_6/2$ .

Se verificará la resistencia de los rodillos mediante la fatiga superficial debido al contacto.

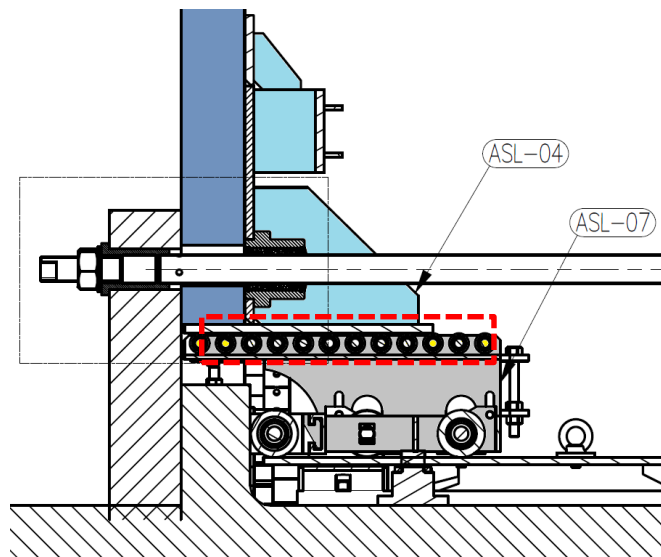
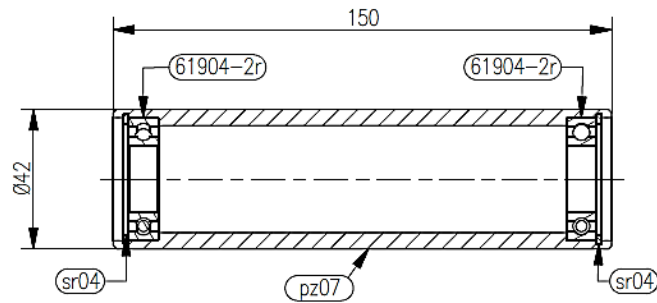


Figura 72. Sección de carro sujetador de Polo [Elaboración propia]



**Figura 73. Rodillos superiores de carro inferior [Elaboración propia]**

- **Esfuerzos en contacto cilíndrico**

**Huella de contacto.**

Constante de Geometría y de Materiales

Constante de geometría “B” y la constante de materiales “m”.

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dónde:

R1: Radio del rodillo = 0.625”

R2: Radio de la base, carro superior / Base fija (R2=∞).

$$B = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{0.625''} + \frac{1}{\infty} \right) = 0.8$$

$$m_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1}; m_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$$

Dónde:

v: Razón de poisson (Acero 0.26)

E1: Modulo de Young A36 (29 000 ksi)

$$m_1 = m_2 = \frac{1 - 0.26^2}{E} = 0.00003215$$

Semi ancho de huella de contacto.

Esta dada por:

$$a = \sqrt{\frac{2 m_1 + m_2 F}{\pi B L}}$$

Dónde:

F': La carga aplicada sobre la rueda (3179 kg.) 6.99 Kips.

L: Ancho de la rueda ((14) x6'' + (4) x4.8'') = 103.2''.

$$a = \sqrt{\frac{2 (2)(0.00003215) 6.99}{\pi 0.8 103.2''}}$$

$$a = 0.00186''$$

Este será el semi ancho que la rueda se deformará para soportar la carga.

$$\text{area} = 2aL$$

$$\text{area} = (2)(0.00186)(103.2'')$$

$$\text{area} = 0.384 \text{ inch}^2$$

Presión de contacto promedio

$$P_{\text{prom}} = \frac{F'}{A} = \frac{6.99}{0.384}$$

$$P_{\text{prom}} = 18.2 \text{ ksi.}$$

Presión de contacto máxima

$$P_{\text{max}} = \frac{2F'}{\pi aL}$$

$$P_{\text{max}} = \frac{2(6.99)}{\pi(0.00186)103.2''}$$

$$P_{\text{max}} = 23.18 \text{ ksi.}$$

Esfuerzos normales máximos en el centro de la huella de contacto.



$$\sigma_x = \sigma_z = -P_{\max}$$

$$\sigma_x = \sigma_z = -23.18 \text{ Ksi} < 35.0 \text{ Ksi} \dots \text{Ok!!!}$$

$$\sigma_y = -2\nu P_{\max}$$

$$\sigma_y = -2(0.26)23.18$$

$$\sigma_y = -12.05 \text{ ksi} < 35.0 \text{ ksi} \dots \text{Ok!!!}$$

Esfuerzos cortantes máximo y su ubicación (profundidad) se obtienen de:

$$\tau_{1-3 \max} = 0.304P_{\max}$$

$$\tau_{1-3 \max} = 0.304(23.48) = 7.05 \text{ Ksi}$$

$$\tau_{1-3 \max} = 7.05 \text{ Ksi} < 35.0 \text{ Ksi} \dots \text{Ok!!!}$$

$$z_{@-\tau \max} = 0.786a = 0.786 (0.00186) = 0.0015" \dots \text{Ok!!!}$$

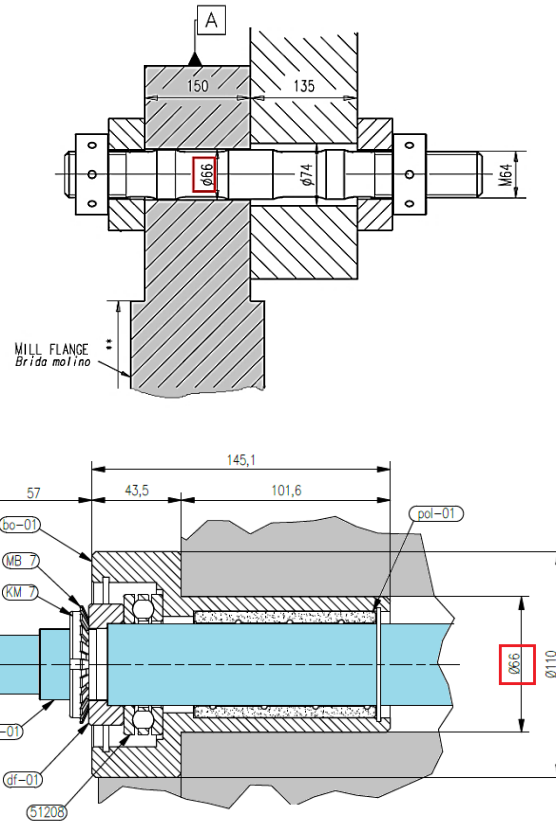
#### **7.4.4. Tornillos de Potencia**

##### **7.4.4.1 Tornillo de potencia horizontal**

El dispositivo extractor cuenta con dos tornillos de potencia para el accionamiento; uno móvil superior y un tornillo inferior fijo en sus extremos. Ambos tornillos son del mismo diámetro por defecto al considerar el diámetro de la perforación de la brida del molino Ø66 mm Figura 74b restando el espesor de los bujes concéntricos para el tornillo inferior se tiene un diámetro disponible de Ø52-50 mm, por lo que se selecciona un diámetro de tornillo de Ø50 mm o 2" en acero C45 – AISI 1045 (**53.6 Ksi**) por sus buenas prestaciones, se verificara la resistencia del tornillo.

- **Verificación de cargas**

Para fines de cálculo se considera que un solo tornillo realiza la extracción y el empuje del polo por medio del carro móvil (superior).



**Figura 74. (a) Diámetro libre de brida Ø66 mm (b) Agujero en brida con extremo de tornillo de potencia. [Elaboración propia]**

Calcularemos la fuerza de extracción  $P$ :

$$P = P_{rr} + P_f$$

Dónde:

$P_{rr}$ : Fuerza de rodadura (Ruedas del carro sobre la base fija)

$P_f$ : Fuerza de fricción en barras guías

$C_{rr}$ : Coeficiente de rodadura

$N$  : Fuerza normal, peso de polo y carro  $(q_1+q_2+q_6/2) = 6.994$  Kips

$R$  = Radio de rueda (2'' o 50 mm)

$\mu_r$ : Coeficiente de resistencia a la rodadura

$$P_{rr} = C_{rr}(N)$$

$$P_f = \mu(N)$$

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{R} = \frac{0.5}{50} = 0.01$$

$C_{rr}$	$\mu_t$	Descripción
0,0002 0,0010 <sup>1,2</sup>	a	0,5 mm Ruedas de ferrocarril sobre railes de acero
	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025 <sup>3</sup>		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0,005		Railes estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares <sup>3</sup>
0,006 a 0,01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa

**Tabla 29. Coeficientes de resistencia a la rodadura [11]**

Coeficientes de fricción en algunas combinaciones de materiales					
Material 1	Material 2	Estático		Dinámico	
		Seco	Lubricado	Seco	Lubricado
acero dulce	acero dulce	0.74		0.57	0.09
acero dulce	hierro fundido		0.183	0.23	0.133
acero dulce	aluminio	0.61		0.47	
acero dulce	latón	0.51		0.44	
acero duro	acero duro	0.78	0.11–0.23	0.42	0.03–0.19
acero duro	babbitt	0.42–0.70	0.08–0.25	0.34	0.06–0.16
teflón	teflón	0.04			0.04
acero	teflón	0.04			0.04
hierro fundido	hierro fundido	1.10		0.15	0.07
hierro fundido	bronce			0.22	0.077
aluminio	aluminio	1.05		1.4	

**Tabla 30. Coeficientes de fricción por deslizamiento [8]**

$$P_{rr} = 0.01x(6.994 \text{ kips}) = 69.9 \text{ lb}$$

$$P_f = \mu(N) = 0.09x6.994 = 629 \text{ lb}$$

Por lo tanto:

$$P = P_{rr} + P_f = 699 \text{ lb.}$$

Se hallará el par de torsión  $T_u$  para accionar el tornillo de potencia usando una rosca Acme ( $\alpha=14.5^\circ$ ) considerado un collarín de empuje de cojinete de bolas.

$$T_u = T_{su} + T_c$$

Se hallará el par de torsión para hacer girar el collarín  $T_c$  y el par de torsión del tornillo  $T_{su}$ :

$$T_c = \mu_c \cdot P \cdot \frac{d_c}{2}$$

$$T_{su} = \frac{P \cdot d_p}{2} \cdot \frac{(\mu \cdot \pi \cdot d_p + L \cdot \cos\alpha)}{(\pi \cdot d_p \cdot \cos\alpha - \mu \cdot L)}$$

Dónde:

$\mu_c$ : Coeficiente de fricción del cojinete de bolas (0.02)

$d_c$ : Diámetro medio del collarín del cojinete (2.6")

$d_p$ : Diámetro medio del collarín del cojinete (Ø1.875" Acme)

L: Avance para Ø2" (0.25")

$\mu$ : Coeficiente de fricción entre tornillo y tuerca (**acero y bronce 0.10**)

Por lo tanto:

$$T_u = T_{su} + T_c = 96 \text{ lb.in} + 18.17 \text{ lb.in} = \mathbf{114 \text{ lb.in}}$$

Esfuerzos en la rosca del tornillo Acme Ø2" de una entrada.

- **Esfuerzo Axial**

El esfuerzo axial estado dado por:

$$\sigma_t = \frac{P}{A_t}$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2$$

$\sigma_t$ : Esfuerzo axial

$P$ : Fuerza de extracción (730 lb.)

$A_t$ : Área de esfuerzo por tensión

$d_p$ : Diámetro de paso (1.875")

$d_r$ : Diámetro menor (1.75")

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{1.875" + 1.75"}{2} \right)^2 = 2.58 \text{ in}^2$$

Por lo que:

$$\sigma_t = \frac{699}{2.58} = 271 \text{ psi} < 53.6 \text{ Ksi}$$

<b>Dimensiones principales de cuerdas estándares Acme</b>					
Consulte la referencia 2 para información más completa sobre dimensiones y tolerancias					
Diámetro mayor (in)	Cuerdas por pulgada	Paso de la cuerda (in)	Diámetro de paso (in)	Diámetro menor (in)	Área de esfuerzo por tensión (in <sup>2</sup> )
0.250	16	0.063	0.219	0.188	0.032
0.313	14	0.071	0.277	0.241	0.053
0.375	12	0.083	0.333	0.292	0.077
0.438	12	0.083	0.396	0.354	0.110
0.500	10	0.100	0.450	0.400	0.142
0.625	8	0.125	0.563	0.500	0.222
0.750	6	0.167	0.667	0.583	0.307
0.875	6	0.167	0.792	0.708	0.442
1.000	5	0.200	0.900	0.800	0.568
1.125	5	0.200	1.025	0.925	0.747
1.250	5	0.200	1.150	1.050	0.950
1.375	4	0.250	1.250	1.125	1.108
1.500	4	0.250	1.375	1.250	1.353
1.750	4	0.250	1.625	1.500	1.918
2.000	4	0.250	1.875	1.750	2.58
2.250	3	0.333	2.083	1.917	3.142
2.500	3	0.333	2.333	2.167	3.976
2.750	3	0.333	2.583	2.417	4.909
3.000	2	0.500	2.750	2.500	5.412
3.500	2	0.500	3.250	3.000	7.670
4.000	2	0.500	3.750	3.500	10.321
4.500	2	0.500	4.250	4.000	13.364
5.000	2	0.500	4.750	4.500	16.800

**Tabla 31. Dimensiones de roscas estándares ACME [8]**

- **Esfuerzo cortante**

El esfuerzo cortante para el barrido de la rosca está dado por:

$$\tau_t = \frac{P}{A_s}$$

Donde el área  $A_s$  para la rosca del tornillo es el área del cilindro de su diámetro menor  $d_r$ .

$$A_{st} = \pi \cdot d_r \cdot w_i \cdot p$$

Y para el barrido de la tuerca en su diámetro mayor, el área de cortante de la rosca es:

$$A_{sn} = \pi \cdot d \cdot w_o \cdot p$$

Dónde:

$A_s$ : Área de cortante

$A_t$ : Área de esfuerzo por tensión

$d$ : Diámetro mayor ( $d_r + p = 2''$ )

$p$ : Paso (0.25")

$w$ : Factor de área para áreas de cortante de barrido en las cuerdas

Tabla		
Factores de área para áreas de cortante de barrido en las cuerdas		
Tipo de cuerda	$w_i$ (menor)	$w_o$ (mayor)
UNS/ISO	0.80	0.88
Cuadrada	0.50	0.50
Acme	0.77	0.63
Reforzada	0.90	0.83

**Tabla 32. Factores de Área para áreas de cortante [8]**

Por lo que:

$$A_{sn} = \pi \cdot d \cdot w_o \cdot p = \pi \cdot 2" \cdot 0,63 \cdot 0,25 = 0,989 \text{ in}^2 \text{ (Tuerca)}$$

$$A_{st} = \pi \cdot d_r \cdot w_i \cdot p = \pi \cdot 1,75" \cdot 0,77 \cdot 0,25 = 1,06 \text{ in}^2 \text{ (Tornillo)}$$

$$\tau_{tn} = \frac{699}{0,989} = 707 \text{ psi} < \mathbf{19.00 \text{ ksi}} \text{ (Tuerca de Bronce)}$$

$$\tau_{tt} = \frac{699}{1,06} = 659 \text{ psi} < \mathbf{53.6 \text{ ksi}} \text{ (Tornillo C45 o sae 1045)}$$

- **Verificación del tornillo de potencia como columna (Pandeo)**

Se toma las siguientes consideraciones del tornillo de potencia al ejercerse una carga de compresión sobre este y se analiza como columna en su mayor longitud, la carga concéntrica en el eje del tornillo superior.

Se tiene lo siguiente:

#### **Razón de esbeltez**

$$S_r = \frac{l}{k}$$

#### **Radio de giro**

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Dónde:

$l$ : Longitud de columna (98")

$l_{ef}$ : Longitud efectiva para columna empotrada - empotrada; según AISC 0.65  $l$ .

$I$ : Momento de inercia

$A$ : Área de la sección del tornillo (Radio  $r = 1$ " )

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot r^4}{4 \cdot \pi \cdot r^2}} = \frac{1''}{2} = 0.5''$$

$$S_r = \frac{0.65l_{ef}}{k} = \frac{0.65 * 98}{0.5} = 127.4 \dots \dots \text{Columna larga}$$

La columna larga (tornillo) se verificará su carga crítica ante una posible falla por pandeo, carga que debe ser menor a la fluencia del material.

### Carga crítica Pcr

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A}{S_r^2}$$

Dónde:

E: Módulo de elasticidad C45 (24000 ksi)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * \pi * r^2}{S_r^2} = \frac{\pi^3 * 24000 * 1^2}{127.4^2}$$

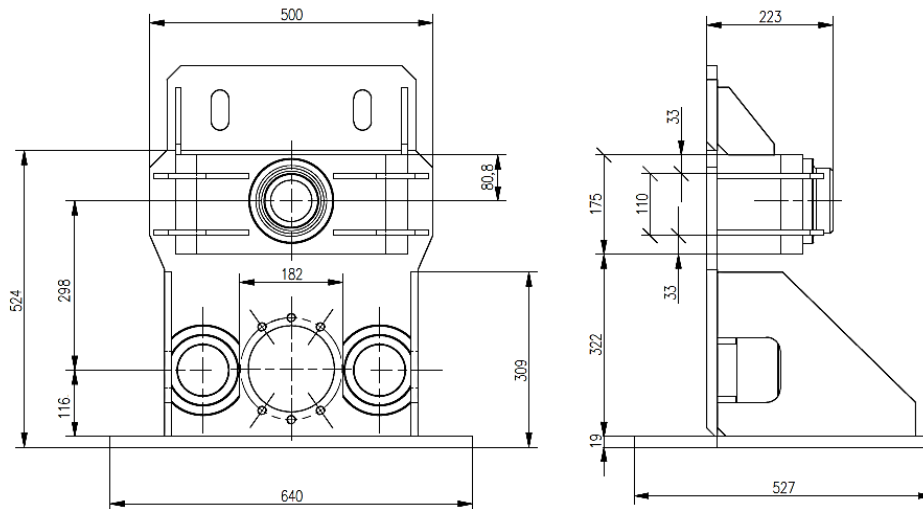
$$P_{cr} = 45.8 \text{ Ksi} < \mathbf{53.6 \text{ ksi}} \dots \dots \mathbf{Ok!!}$$

### 7.4.5. Carro Superior

El carro superior sujeta directamente el polo retirado de manera vertical así también se desplaza y fija en el carro inferior y es guiado horizontalmente por las barras guía paralelas; compuesto por una base y una pared vertical (sujeción del polo por medio de pernos M30)

Está conformado por un arreglo de planchas de acero, en su estructura cuenta con dos alojamientos verticales para los tornillos de potencia (Tuercas y apoyo móvil) y dos alojamientos horizontales para las barras. El arreglo es como se indica en la figura 75 en acero ASTM A36 (e = 3/4" – 3/8")





**Figura 75. Dimensiones principales del carro superior [Elaboración propia]**

El análisis del componente se realiza por el método de elementos finitos y el criterio de aceptación es el esfuerzo equivalente de Von Mises respecto de la fluencia del material. La herramienta de apoyo para el análisis es el software Ansys.

#### 7.4.5.1 Determinación de cargas

La carga se considera para el caso más crítico en el que el polo se encuentra desfasado en  $8.4^\circ$  respecto del eje del equipo. La carga directa sobre este componente es  $(q_1+q_6/2)$ .

Cargas a $8.4^\circ$ (Polo y segmentos móviles del dispositivo)				
Carga Polo	29724 N	Z= - 29405 N	Y= 4342 N	X= 0 N
Carga (Extracción)	3116 N	Z= 0 N	Y= 0 N	X= 3116 N

**Tabla 33. Cargas asignadas a carro superior [Elaboración propia]**

#### 7.4.5.2 Propiedades del material

Propiedades	
Nombre	ASTM A36
Tipo de Modelo	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error	Tensión máxima de Von Misses

<b>Límite elástico</b>	250 MPa
<b>Límite de tracción</b>	400 MPa
<b>Modulo elástico</b>	200000 MPa
<b>Coef. de Poisson</b>	0.26
<b>Densidad</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 34. Propiedades del material del carro superior [Elaboración propia]**

#### 7.4.5.3 Análisis del modelo

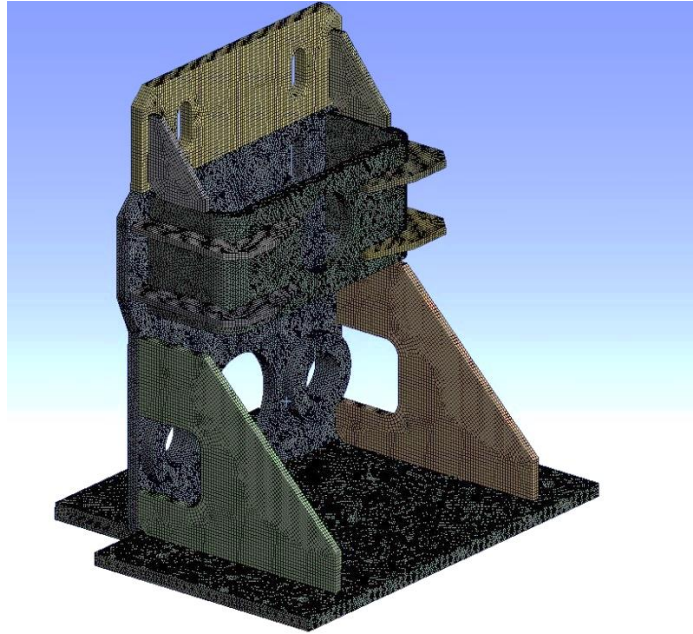
<b>Nombre del objeto</b>	<i>Estructural estática</i>
<b>Definición</b>	
<b>Tipo de física</b>	Estructural
<b>Tipo de análisis</b>	Estructural estática
<b>Opciones</b>	
<b>Temperatura ambiente</b>	22. °C

**Tabla 35. Datos del modelado [Elaboración propia]**

#### 7.4.5.4 Información de mallado

<b>Nombre del objeto</b>	Malla
<b>Defaults</b>	
Preferencia física	Mecánica
Orden del elemento	Programa controlado
<b>Dimensionamiento</b>	
Cuadro delimitador diagonal	1068.2 mm
Área de la superficie media	11182 mm <sup>2</sup>
Longitud de borde mínimo	6 mm
<b>Estadística</b>	
Nodos (Segmento)	1967854
Elementos (Segmento)	1235597

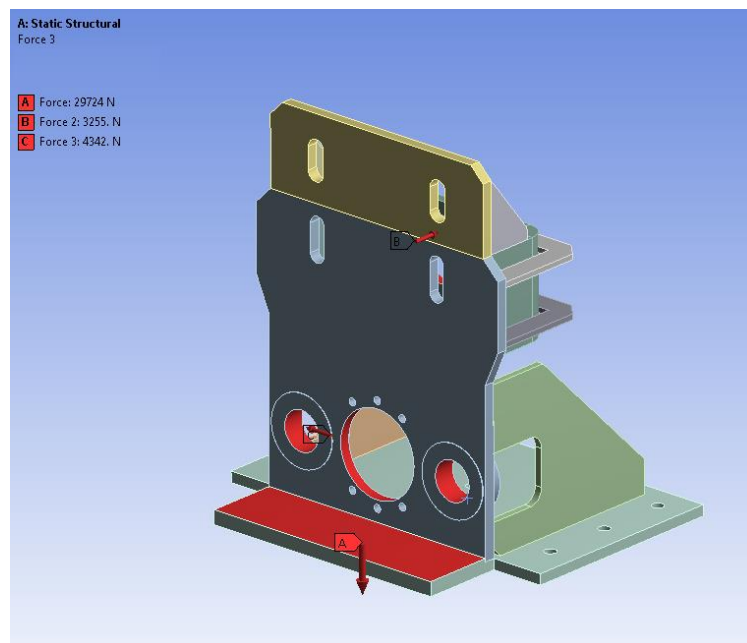
**Tabla 36. Datos de la malla [Elaboración propia]**



**Figura 76. Mallado de carro superior [Elaboración propia]**

#### **7.4.5.5 Aplicación de cargas en los segmentos del carro inferior.**

La mayor carga representada por el polo se indica en la figura 77 en la sección rectangular (rojo) y los demás componentes debido a la extracción, jalado por los tornillos de potencia.



**Figura 77. Cargas sobre estructura de carro superior [Elaboración propia]**

### 7.4.5.6 Apoyos fijos y móviles

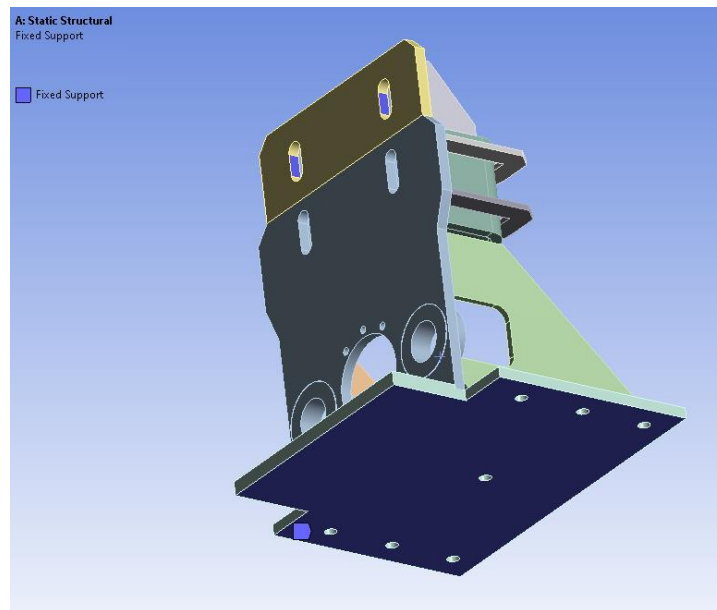


Figura 78. Apoyos fijos para simulación [Elaboración propia]

### 7.4.5.7 Ratios de esfuerzos y deformaciones del carro superior

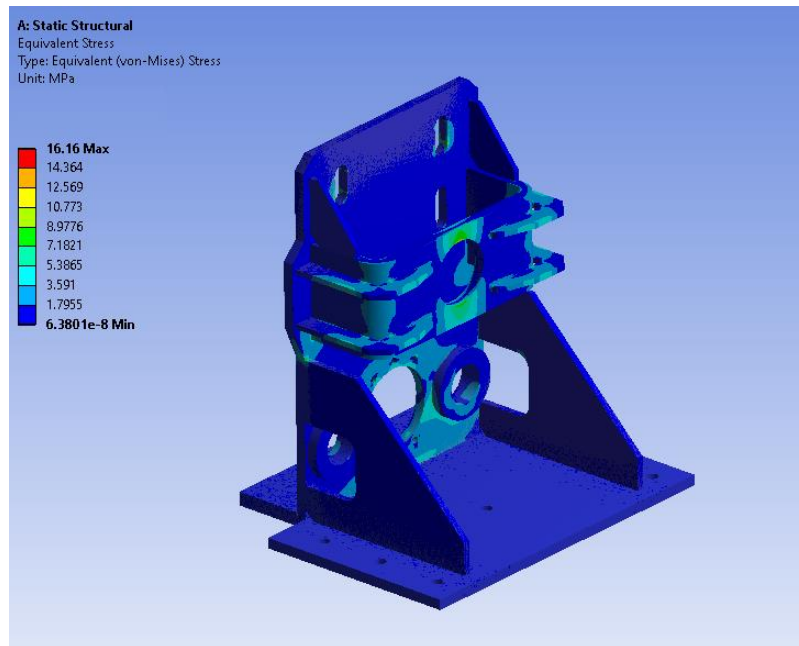
Los resultados del análisis son aceptables si el esfuerzo de Von mises no supera la fluencia del material y la deformación está dentro de lo permisible.

Nombre del objeto	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
Tipo	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
<b>Mínimo</b>	0. mm	6.38e-008 MPa
<b>Máximo</b>	0.635 mm	<b>16.16 MPa</b>
<b>Promedio</b>	0.079 mm... ok!	<b>0.56 MPa...ok!</b>

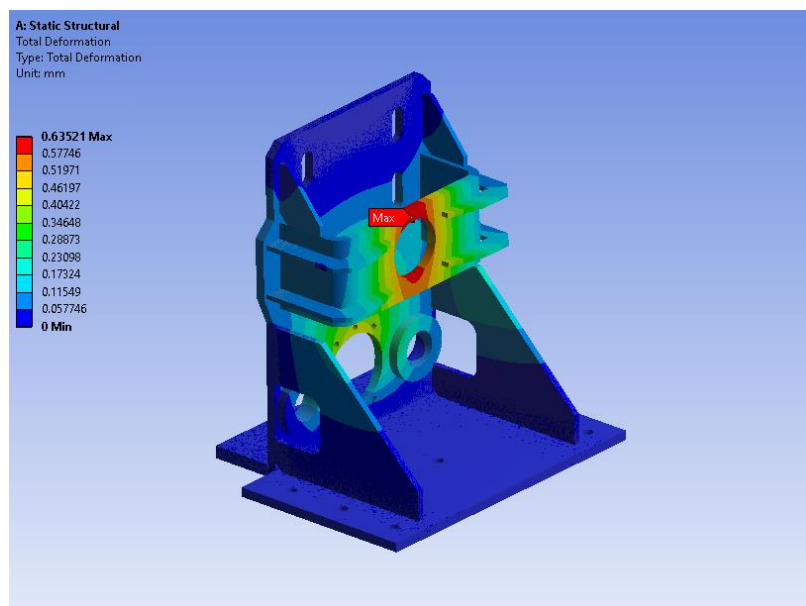
Tabla 37. Resultados análisis FEA a carro superior [Elaboración propia]

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 16.16 Mpa menor que 250 MPa (A36) Ok.

Ver figura 79 la distribución de esfuerzos equivalentes sobre el cuerpo de acero.



**Figura 79. Gráfico de distribución de esfuerzos equivalentes [Elaboración propia]**



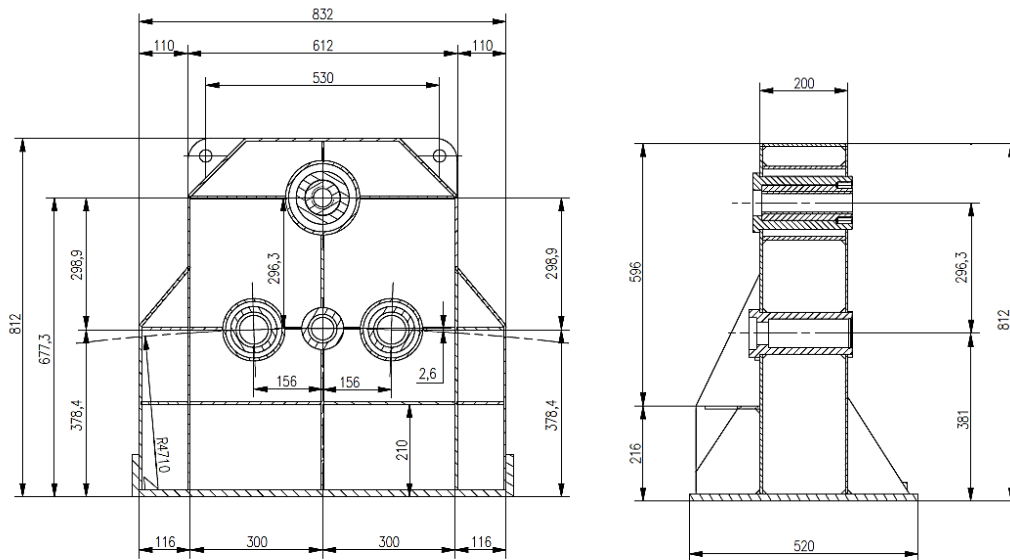
**Figura 80. Deformación máxima en estructura de carro superior [Elaboración propia]**

La deformación en el cuerpo del carro superior se debe en la zona del jalado por el tornillo de potencia con una deformación de 0.63 mm. Figura 80.

#### 7.4.6. Pórtico

El pórtico es el soporte de los accionamientos de los tornillos de potencia, también sirve de punto fijo de las barras guidoras que sujetan el polo en su desplazamiento horizontal.

Está conformado por un arreglo de planchas de acero, en su estructura cuenta con dos alojamientos verticales para los tornillos de potencia (Tuercas y apoyo móvil) y dos alojamientos horizontales para las barras. El arreglo es como se indica en la figura 81 en acero ASTM A36 ( $e = 1/4'' - 5/8''$ )



**Figura 81. Dimensiones principales de pórtico [Elaboración propia]**

Sus dimensiones principales se observan en la figura. El análisis del componente se realizará por elementos finitos en el software Ansys.

##### 7.4.6.1 Determinación de cargas

La carga se considera para el caso más crítico en el que el polo se encuentra desfasado en  $8.4^\circ$  respecto del eje del equipo. Las cargas asignadas son  $\text{Sen}(8.4) \cdot (q_1 + q_2 + q_6/2)$ ,  $q_7/2 + q_6/2$ , P extracción.

<b>Cargas a 8.4° (Polo y segmentos móviles del dispositivo)</b>				
Polo componente	4485 N	N/A	Y= 4485 N	X= 0 N
Carga (Barras y tornillos)	785 N	Z =- 785 N	Y= 0 N	X= 0 N
P Extracción	3255 N	Z = 0 N	Y= 0 N	X= 3255 N

**Tabla 38. Cargas asignadas a Pórtico [Elaboración propia]**

#### 7.4.6.2 Propiedades del material

<b>Propiedades</b>	
<b>Nombre</b>	ASTM A36
<b>Tipo de Modelo</b>	Isotrópico elástico lineal
<b>Criterio de error</b>	Tensión máxima de Von Misses
<b>Límite elástico</b>	250 MPa
<b>Límite de tracción</b>	400 MPa
<b>Modulo elástico</b>	200000 MPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.26
<b>Densidad</b>	7850 kg/m3

**Tabla 39. Propiedades del material del pórtico [Elaboración propia]**

#### 7.4.6.3 Análisis del modelo

<b>Nombre del objeto</b>	<i>Estructural estática</i>
<b>Definición</b>	
<b>Tipo de física</b>	Estructural
<b>Tipo de análisis</b>	Estructural estática
<b>Opciones</b>	
<b>Temperatura ambiente</b>	22. °C

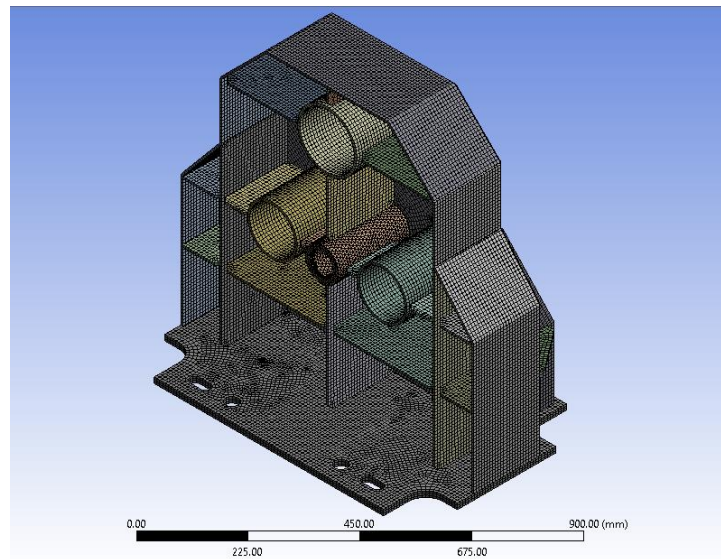
**Tabla 40. Datos del modelado [Elaboración propia]**

#### 7.4.6.4 Información de mallado

<b>Nombre del objeto</b>	Malla
<b>Defaults</b>	
<b>Preferencia física</b>	Mecánica
<b>Orden del elemento</b>	Programa controlado

<b>Dimensionamiento</b>	
Cuadro delimitador diagonal	1365 mm
Área de la superficie media	30615 mm <sup>2</sup>
Longitud de borde mínimo	3 mm
<b>Estadística</b>	
Nodos (Segmento)	549450
Elementos (Segmento)	239380

**Tabla 41. Datos del mallado [Elaboración propia]**

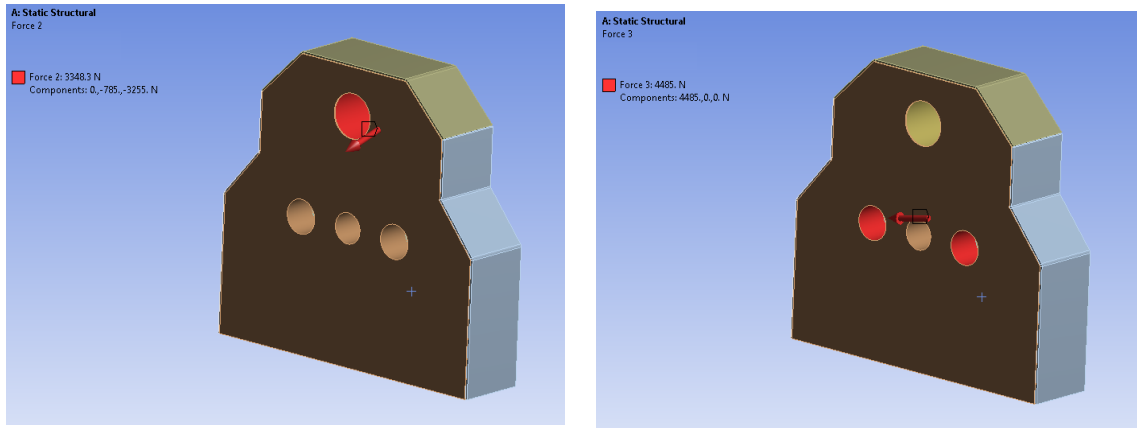


**Figura 82. Mallado de pórtico [Elaboración propia]**

#### **7.4.6.5 Aplicación de cargas en los segmentos del carro inferior.**

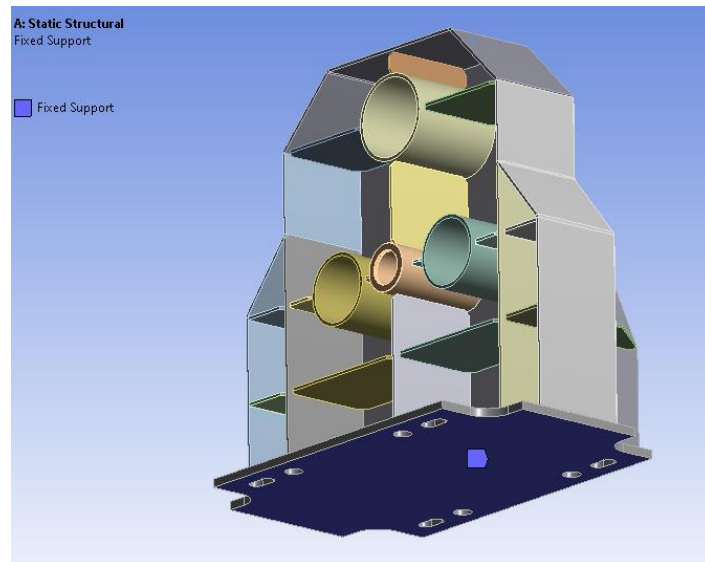
Se aplican las cargas según la tabla 38.





**Figura 83. Cargas sobre estructura de pórtico [Elaboración propia]**

#### 7.4.6.6 Apoyos fijos y móviles



**Figura 84. Asignación de apoyo fijo de pórtico [Elaboración propia]**

#### 7.4.6.7 Ratios de esfuerzos y deformaciones en Pórtico.

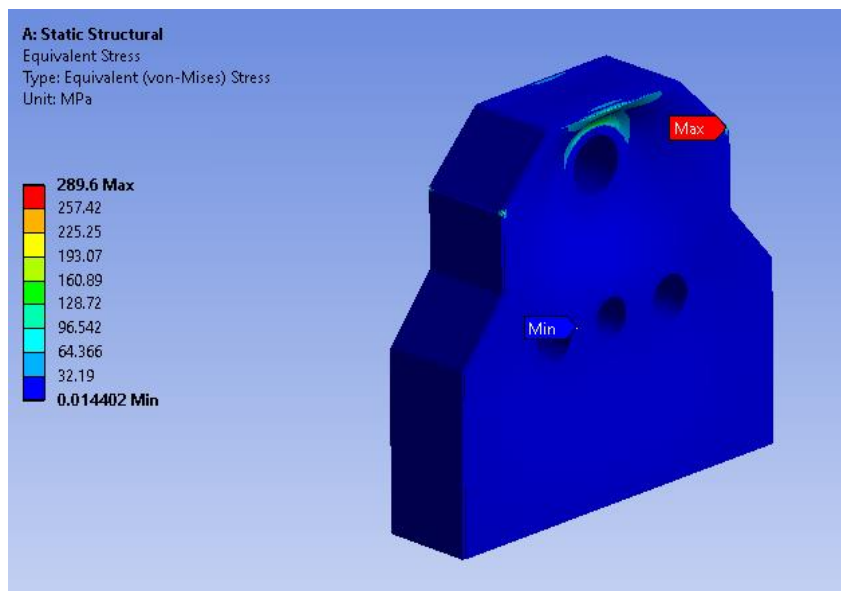
Los esfuerzos máximos y deformaciones se detallan en la tabla 42.

Nombre del objeto	Deformación total	Tensión equivalente
<b>Definición</b>		
Tipo	Deformación total	Tensión Equivalente (von-Mises)
<b>Resultados</b>		
Mínimo	0.0 mm	1.44e-002 MPa
Máximo	0.5 mm	<b>289.6 MPa</b>

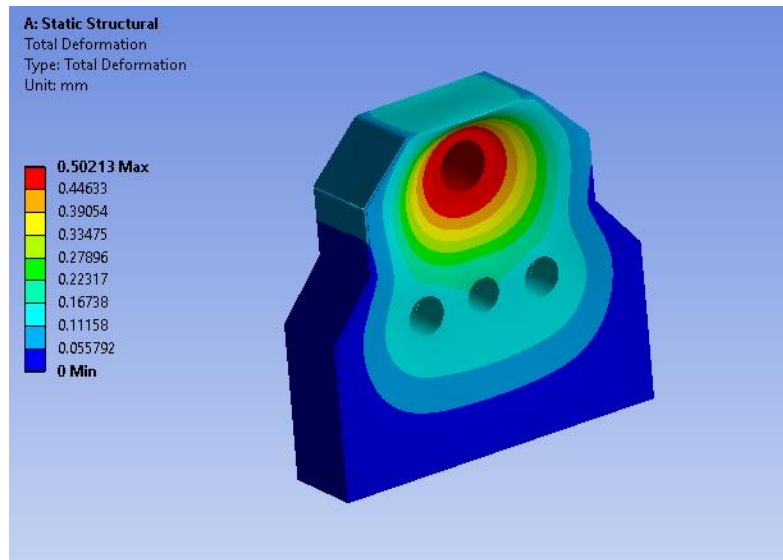
<b>Promedio</b>	0.14 mm... ok!	<b>4.9 MPa...ok!</b>
-----------------	----------------	----------------------

**Tabla 42. Resultados del análisis FEA del pórtico [Elaboración propia]**

El esfuerzo máximo de Von Mises es de 289.6 Mpa en el filo de una cartela como se indica en la figura 85, esta arista será rellenada con soldadura cuya fluencia es 482 Mpa, también el esfuerzo promedio en el análisis estructural estático es de 4.9 Mpa < 250 Mpa (ASTM A36). La máxima deformación del arreglo es de 0.5mm.



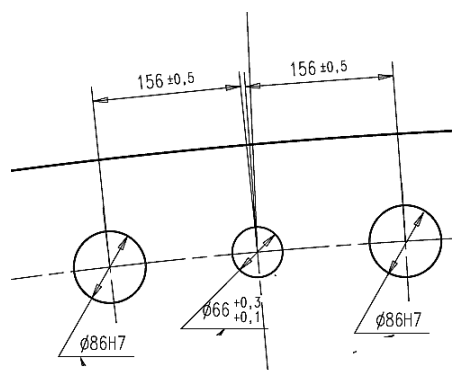
**Figura 85. Gráfico de esfuerzo equivalente de Von Mises. [Elaboración propia]**



**Figura 86. Ubicación de deformación máxima de pórtico. [Elaboración propia]**

#### 7.4.7. Barras Guías

Las barras horizontales guían el desplazamiento horizontal del carro por medio de las perforaciones del polo, sujetos en los extremos de manera fija al pórtico y a la brida del molino ( $L = 2.45$  m). El diámetro disponible de las perforaciones del polo es de  $\varnothing 86$  mm en los lados y  $\varnothing 66$  mm el central; para uniformizar el diámetro de las barras y del tornillo de potencia se elige el menor diámetro. Figura 84



**Figura 84. Diámetros típicos de brida del molino por polo [19]**

Las barras guía están conformadas por tubos ASTM A53.

### 7.4.7.1 Cargas asignadas

Las cargas asignadas se descompondrán en dos componentes debido a la inclinación máxima en la que trabaja el dispositivo:

- **Carga axial**

Debido a la fricción entre la barra guía y el desplazamiento del polo.

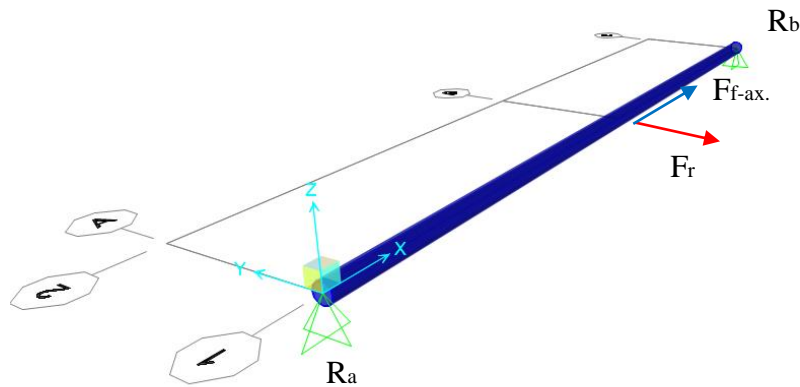
- **Carga perpendicular**

Debido a la componente horizontal a 8.4° debido al peso del polo y los componentes móviles en contacto del dispositivo

La carga se distribuye sobre dos barras, por lo tanto, cada una asume la mitad de carga en el medio de toda la longitud  $(q_1+q_2+q_6/2+q_8)/2$ .

Cargas a 8.4° del eje vertical (Polo y carro superior)				
$P_{friccion} *$ 0.04 (Cos 8.4)	3359/2 kg.	(Z=3322) *	N/A	Xr=66.4 Kg.
$q_{1+2+6/2+8}$ (Sen 8.4)	3359/2 kg.	N/A	Y= 232 Kg.	X= 0 Kg.

**Tabla 43. Cargas asignadas a barras guía. [Elaboración propia]**



**Figura 87. Modelado de barra guía [Elaboración propia]**

#### 7.4.7.2 Cálculo máxima deflexión en el eje (método doble integración)

Se tiene la siguiente resultante de la componente horizontal debido a la carga del polo y componentes.

Se tiene:  $F_R$ : Fuerza resultante

Fh8.4: Componente horizontal ( $3359/2 * \text{Sen}8.4^\circ = 245 \text{ kg.}$ )

Ffricción - p 8.4: Componente horizontal ( $3359/2 * \text{Cos}8.4^\circ * 0.09 = 149.5 \text{ kg.}$ ), contacto entre ruedas del dispositivo y la mesa fija.

$$F_R = F_{h8.4^\circ} - F_{friccion\ 8.4^\circ}$$

$$F_R = 95.4 \text{ kg (Fuerza que provoca flexion)}$$

Por el método de la doble integración se hallará la máxima deflexión en la mitad de la barra guía.

$$EI * \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (a)$$

$$EI * \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (b)$$

$$EI * y = \iint M dx dx + C_1 * x + C_2 \quad (c)$$

Para hallar los coeficientes C1 y C2 se reemplazará en la ecuación (c) los valores en el punto A  $y = 0$  cuando  $x = 0$ , en el punto B  $y = 0$  cuando  $x = 2.45 \text{ m}$  (Apoyos fijos Fig.87)

$$EI * \frac{d^2y}{dx^2} = M = 47.7x - 95.4(x - 1.22) \dots (a)$$

$$EI * \frac{dy}{dx} = \frac{47.7}{2}x^2 - \frac{95.4}{2}(x - 1.225)^2 + C_1 \dots (b)$$

$$EI * y = \frac{47.7}{6}x^3 - \frac{95.4}{6}(x - 1.225)^3 + C_1x + C_2 \quad (c)$$

Se halla que  $C_2 = 0$  y  $C_1 = -35.7 \text{ kg.m}^3$

$$EI * y_{max} = \frac{47.7}{6}x^3 - \frac{95.4}{6}(x - 1.225)^3 - 35.7x$$

Para  $x = 2.45/2 \text{ m}$  se tendrá la máxima deflexión.

$$EI * y_{max} = \frac{47.7}{6}(1.225)^3 - \frac{95.4}{6}(1.225 - 1.225)^3 - 35.7 * 1.225$$

$$EI * y_{max} = 21.93 \text{ kg.m}^3$$

Para obtener una menor deflexión se depende directamente del momento de inercia de la sección a elegida, el módulo de elasticidad es similar para todos los aceros.

Se tiene los siguientes valores, el módulo de elasticidad y momento de inercia en distintas secciones:

E: Modulo de elasticidad ( $20.4 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$ ) – ASTM A53

I: Momento de inercia de la sección.

$$I_{\text{Tubo } \emptyset 1.5" \text{ SCH80}} = 1.63 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{Tubo } \emptyset 2" \text{ SCH80}} = 3.61 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{Tubo } \emptyset 2" \text{ SCH160}} = \mathbf{4.84 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

Seleccionando la sección  $\emptyset 2''$  SCH160 se tiene:

$$y_{max} = \frac{21.93}{EI} = \frac{21.93}{20.4 \times 10^9 * 4.84 \times 10^{-7}} = 0.002 \text{ m ( 2 mm de deflexion)}$$

Según las recomendaciones ASME no se debe exceder las siguientes deflexiones en los elementos de máquina.

**Ejes de herramientas  $y \leq 0.83 \text{ mm/m}$ ; para  $2.45\text{m}$  se tendrá  $y \leq 2.1 \text{ mm}$**

Ejes con engranajes rectos  $y \leq 0.127 \text{ mm}$

Ejes con engranajes cónicos y  $\leq 0.076$  mm

### 7.4.7.3 Diseño de barra basado en su resistencia (Ejes) para esfuerzos combinados

Para esfuerzos combinados de tracción/compresión y flexión:

$$S_c = \frac{F_a}{A} \pm \frac{My}{I}$$

Para cargas de flexión en ejes de sección hueca se tiene:

$$S_c = 4 \frac{F_{axial}}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} + 32 \frac{M_b * d_o}{\pi(d_o^4 - d_i^4)}$$

Donde:

Sc: Esfuerzo total resultante

Mb: Momento flector en el centro de la barra  $Fr * L/2$  (95.5 x 1.22 kg.m)/ punto 7.4.7.2.

Faxial: Fuerza axial (  $P_{friccion} * 0.04$  (Cos 8.4) = 66.4kg.)

do: Diámetro exterior de sección hueca (0.060 m)

di: Diámetro interior de sección hueca (0.042 m)

Se tiene:

$$S_c = 4 \frac{66.4}{\pi(0.06^2 - 0.043^2)} + 32 \frac{32 * 95.4 * 1.22 * 0.06}{\pi(0.06^4 - 0.043^4)}$$

$$S_c = 7.50 * \frac{10^6 kg}{m^2} \text{ o } 10.6 Ksi$$

Comparamos el esfuerzo obtenido con la fluencia del material ASTM A53:

Sy: Fluencia de ASTM A53, 35 Ksi o 24.61 x10 E6 kg/m2

Syd: Esfuerzo de diseño según Código ASME para ejes 0.3 Sy por lo tanto.

$$S_{yS} = 0.3 * S_y \approx S_c$$

$$S_{yS} = 10.5 ksi \approx 10.6 Ksi \dots ok$$

El resultado es aceptable porque solo se usa un 30% de la fluencia del material en el diseño y un coeficiente de relación deflexión en una relación L/1225 muy superior al usado en estructuras metálicas L/360 también según el método de diseño AISC – ASD

que solo usa un 60 % de la fluencia y AISC-LRFD en un 90%.

#### 7.4.8. Selección de rodamientos

##### 7.4.8.1 Tornillos horizontales

Según la figura 74, el tornillo de potencia inferior del extractor de polo se encuentra fijo en sus extremos y a su vez esta rueda en sus extremos por medio de dos rodamientos axiales por la orientación de la fuerza en acción.

Se tiene los siguientes datos de trabajo.

- $RPM$ : Revoluciones por minuto (10 RPM a 60 RPM)
- $D_{disp E}$ : Diámetro disponible externo ( $\text{Ø}70$  mm)
- $d_{disp i}$ : Diámetro eje ( $\text{Ø}40$  mm)
- $F_a$ : Fuerza axial de extracción (320 kg.)

Se calculará la carga dinámica equivalente del rodamiento donde para un rodamiento axial se tiene:

$$P = F_a$$

#### Vida Útil

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} * L_{10}$$

#### Donde:

$P$ : Carga dinámica equivalente del rodamiento (3.14 KN)

$p$ : Exponente de la ecuación de la vida; para rodamientos de bolas igual a 3.

$C$ : Capacidad de carga dinámica básica (KN)

$L_{10}$ : Vida nominal básica (confiabilidad del 90%) en millones de revoluciones.

$L_{10h}$ : Vida nominal SKF (confiabilidad del 90%) en horas de funcionamiento.



Por las dimensiones de diámetros disponibles externo y eje se selecciona el rodamiento axial de bola de simple efecto 51208

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Factor de carga mínima A	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática $C_0$			Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	-	r. p. m.		kg	-
35	52	12	19,9	51	1,86	0,013	5 600	7 500	0,08	51107
	62	18	35,1	73,5	2,7	0,028	4 000	5 600	0,22	51207
	68	24	49,4	96,5	3,55	0,048	3 400	4 800	0,39	51307
	90	32	76,1	137	5,1	0,15	2 600	3 600	0,79	51407
40	60	13	25,5	63	2,32	0,02	5 000	7 000	0,12	51108
	68	19	44,2	96,5	3,6	0,058	3 800	5 300	0,28	51208
	78	26	61,8	122	4,5	0,077	3 000	4 300	0,53	51308
	90	36	95,6	183	6,8	0,26	2 400	3 400	1,1	51408

**Tabla 44. Rodamientos axiales de bolas SKF [18]**

Se tiene:

$$L_{10} = \left( \frac{44.2}{3.14} \right)^3 = 2789 \text{ millones de rev.}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 60} * 2789 = 774774 \text{ hrs}$$

Los rodamientos axiales 51208, se usarán en el tornillo superior e inferior por usarse barras de diámetros similares y se consideró como si una sola barra soportara toda la carga axial de extracción.

#### 7.4.8.2 Tonillo vertical

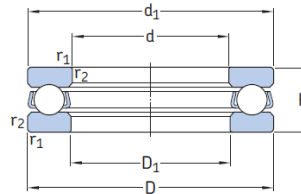
Los rodamientos para el tornillo vertical serán axiales por transmitir carga en un solo sentido.

Se calculará la carga estática equivalente  $n < 10$  RPM; Se tiene los siguientes datos de trabajo.

- $RPM$ : Revoluciones por minuto ( $n < 10$  RPM)
- $D_{disp E.}$ : Diámetro disponible externo ( $\varnothing 105$  mm)
- $d_{disp i.}$ : Diámetro eje ( $\varnothing 80$  mm)
- $F_a$ : Fuerza axial vertical máxima posición “12” (3238 kg/ 31.2 KN)
- $P_0$ : Carga estática equivalente del rodamiento

$$P_0 = F_a = 31.2 \text{ KN}$$

Por las dimensiones disponible se selecciona el rodamiento axial 51116.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Factor de carga mínima A	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	H	C	$C_0$			Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	-	r. p. m.		kg	-
75	100	19	44,2	134	4,9	0,11	3 200	4 300	0,4	51115
	110	27	63,7	170	6,2	0,17	2 400	3 400	0,83	51215
	135	44	163	390	14	0,79	1 700	2 400	2,6	51315
	160	65	251	610	20,8	1,9	1 300	1 800	6,75	51415 M
80	105	19	44,9	140	5,1	0,12	3 000	4 300	0,42	51116
	115	28	76,1	208	7,65	0,22	2 400	3 400	0,91	51216
	140	44	159	390	13,7	0,79	1 700	2 400	2,7	51316
	170	68	302	750	25	2,3	1 200	1 700	7,95	51416 M
85	110	19	44,9	146	5,4	0,14	3 000	4 300	0,44	51117
	125	31	97,5	275	9,8	0,39	2 200	3 000	1,2	51217
	150	49	174	405	14	1,1	1 600	2 200	3,55	51317
	180	72	286	750	24	2,9	1 200	1 600	9,45	51417 M
90	120	22	59,2	208	7,5	0,22	2 600	3 800	0,67	51118
	135	35	112	290	10,4	0,55	2 000	2 800	1,7	51218
	155	50	182	440	14,6	1,3	1 500	2 200	3,8	51318
	190	77	307	815	25,5	3,5	1 100	1 500	11	51418 M

Tabla 45. Rodamientos axiales de bolas SKF [18]

Se tiene:

Capacidad de carga estática requerida

$$C_0 = s_0 * P_0$$

Donde:

$C_0$ : Capacidad de carga estática básica

$s_0$ : factor de seguridad estática

Valores orientativos para el factor de seguridad estática $s_0$								
Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios					Rodamientos fijos		
	Requisitos de rendimiento (p. ej., funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones)							
	sin importancia		normal		sup.			
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar  $s_0 \geq 4$ .

**Tabla 46. Factores de seguridad estatica [18]**

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

$$s_0 = \frac{140 \text{ KN}}{31.2 \text{ KN}} = 4.4 > 0.5 \dots OK!$$

## 7.4.9. Pernería

### 7.4.9.1 Cálculo de pernos de sujeción de mesa fija.

La base fija se encuentra sujeta por medio de 08 pernos en total, 04 pernos por lado a los canales C, Fig.52, para fines de cálculo consideramos la carga sobre 02 pernos en un lado.

La carga está conformada por el peso del dispositivo extractor de polo y el peso del polo; bajo esta consideración de carga se analiza en la posición más crítica a  $8.4^\circ$  del eje vertical del molino al polo a extraer, aquí la posición de los extremos de sujeción de la mesa fija a los pernos queda a  $21^\circ$ .

Las cargas están dadas por:

$q_1$ : Carga debido al polo (3000 kg.)

$q_2, q_3, q_4, q_6, q_7$  y  $q_8$ : Peso de dispositivo extractor de Polo (1270 kg.)

La carga total a fijar por los pernos es de  $q_{total} = 4270 \text{ kg}$ . Se descompone la carga total en dos componentes, perpendicular (normal) y una tangencial (cortante) a  $21^\circ$  para lo cual se considerará un factor de seguridad 2.

### Área requerida de esfuerzo a cortante

Consideramos un perno SAE de grado 2 se tiene según la tabla 4.

$S_p$ : Resistencia limite mínima a la tracción 33 Ksi

$S_y$ : Resistencia fluencia mínima a la tracción 36 Ksi

$S_p$ : Resistencia ultima a la tracción 60 Ksi

$N_s$ : factor de seguridad

$$N_s = \frac{S_{ys}}{S_s} = \frac{0.575 * S_y}{\frac{q_{total} * \text{sen } 21^\circ}{2 * A_{req}}}$$

$$A_{req} = \frac{N_s * q_{total} * \text{sen } 21^\circ}{2 * 0.575 * S_y} = \frac{2 * 9.4 \text{ kips} * \text{sen } 21^\circ}{2 * 0.575 * 36 \text{ ksi}}$$

$$A_{req} = 0.163 \text{ pulg}^2$$

DIAMETRO NOMINAL d (pulg)	SERIE DE PASO BASTO - UNC			SERIE DE PASO FINO - UNF			ALTURA DE LA TUERCA H (pulg)
	PASO P hilos pulg	AREA DE ESFUERZO DE TRACION A <sub>T</sub> (pulg <sup>2</sup> )	AREA DE RAIZ A <sub>T</sub> (pulg <sup>2</sup> )	PASO P hilos pulg	AREA DE ESFUERZO DE TRACCION A <sub>T</sub> (pulg <sup>2</sup> )	AREA DE RAIZ A <sub>T</sub> (pulg <sup>2</sup> )	
1/4	20	0.0318	0.0269	28	0.0364	0.0326	7/32
5/16	18	0.0524	0.0454	24	0.0580	0.0524	17/64
3/8	16	0.0775	0.0678	24	0.0878	0.0809	21/64
7/16	14	0.1063	0.0933	20	0.1187	0.1090	3/8
1/2	13	0.1419	0.1257	20	0.1599	0.1486	7/16
9/16	12	0.1820	0.1620	18	0.2030	0.1890	31/64
5/8	11	0.2260	0.2020	18	0.2560	0.2400	35/64
3/4	10	0.3340	0.2030	16	0.3730	0.3510	41/64
7/8	9	0.4620	0.4190	14	0.5090	0.4800	3/4
1	8	0.6060	0.5510	14	0.6630	0.6250	55/64
1 1/4	7	0.9690	0.8900	12	1.0730	1.0240	1 1/6
1 1/2	6	1.4050	1.2940	12	1.5810	1.5210	1 9/32

**Tabla 47. Tabla de dimensiones de esfuerzos en pernos según el diámetro [8]**

Según la tabla 47, tenemos que un perno de Ø5/8” sería el adecuado con un área de raíz (0.202) por encima de lo requerido. En el diseño por fines de ensamblaje se consideró pernos de Ø1”UNC Grado 8.

## **CAPÍTULO VIII PROCEDIMIENTO DE CAMBIO DE POLO DEL ROTOR DE UN MOTOR GMD PARA MOLINO DE BOLAS**

### **8.1. Introducción**

El procedimiento a continuación ilustra la maniobra de cambio de polo y el uso del dispositivo extractor, no se detalla el trabajo eléctrico-instrumentista en las desconexiones tampoco la preparación de accesos temporales y desmontaje de tapas o cover's del molino solo se hará mención de ellas en el proceso. Los detalles de dimensiones y componentes están en los planos.

### **8.2. Instrucciones de Seguridad**

Todos los requerimientos de seguridad por parte de la unidad minera (Reglamentos y estándares) y el reglamento nacional son cumplidos al realizar las labores de mantenimiento en el GMD.

### **8.3. Procedimiento de Cambio de Polo de un motor GMD para un molino de bolas**

#### **8.3.1. Ubicación de polos en el GMD**

Antes de la detención del equipo y bloqueo, el o los polos deben de ubicarse en la parte superior del motor GMD (Posición 12 de las agujas de un reloj analógico), **ver punto**

#### **6.3.2.**

#### **8.3.2. Habilitado de accesos temporales normados.**

Los accesos son provistos por medio de andamios normados, ellos facilitan el acceso seguro del personal técnico a la parte superior del cilindro del molino; aquí es importante resaltar la configuración y distribución de componentes de los andamios, estos no deben ocasionar interferencias al realizar el desmontaje y montaje de componentes del molino, del dispositivo extractor y los polos.

Los andamios brindan un recinto seguro al personal y a la vez proveen puntos de anclaje.

Los accesos de andamios en el lado de alimentación se muestran en la figura 88, y de manera similar en el lado de descarga (solo acceso).

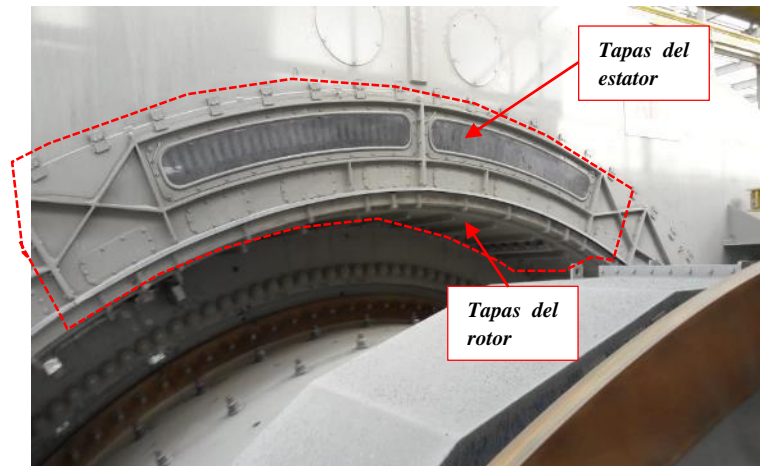


**Figura 88. Acceso temporal de andamios normados [15]**

### **8.3.3. Desmontaje de Tapas del estator y tapa del rotor del GMD**

El segmento del rotor, el polo dañado debe de quedar completamente descubiertos, de tal forma que el dispositivo extractor de polo sea montado sobre el casco del molino; dentro de las actividades comprendidas están las siguientes:

- Retiro de conectores entre los polos a desmontar
- Retiro de empalmes del sello de polvo
- Desmontaje de tapas de sello de polvo
- Desmontaje de segmento de tapas del estator (Izaje).
- Retiro de pines de tapas del rotor
- Desmontaje de segmento de tapas de rotor (izaje).



**Figura 89. Segmentos de tapas del estator y rotor [ 15]**

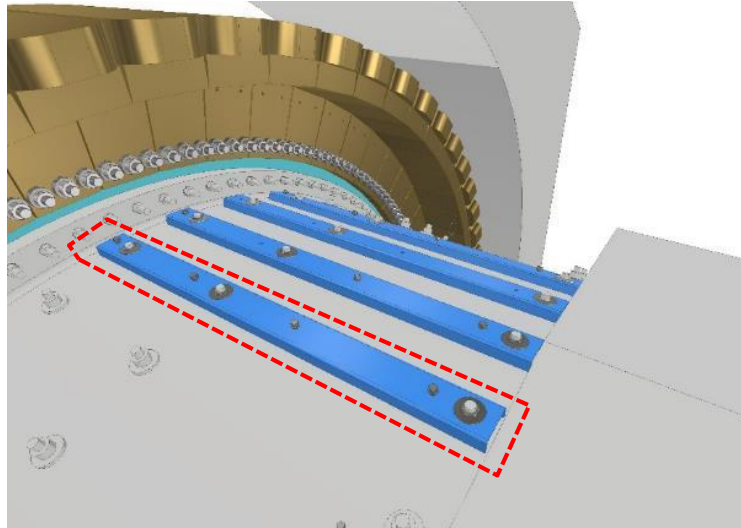


**Figura 90. Segmento de motor GMD sin tapas [Elaboración propia]**

#### **8.3.4. Instalación de Canales C (Anclaje de base fija)**

Los canales C van previo al montaje de la base fija del dispositivo extractor de polo, instalados sobre el cilindro del molino alineado a tres pernos ( $\varnothing 2''$ ) sobresalientes de los lifter's internos en el casco del molino; para sujeción de las vigas C, se colocan volandas y tuercas planas. En total se colocan cuatro canales distribuidos de manera igual a partir del eje del polo o par de polos a desmontar.



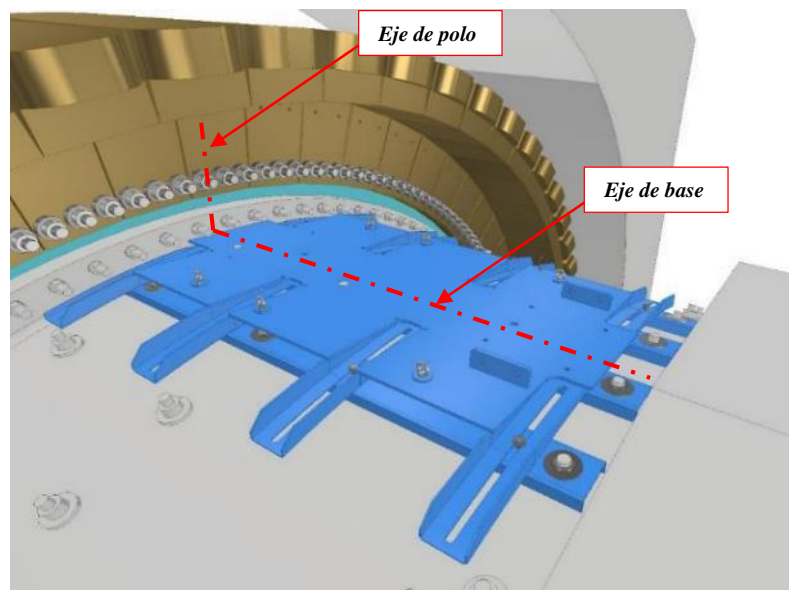


**Figura 91. Montaje de soportes de sujeción “C” [15]**

### 8.3.5. Montaje de base fija

La base fija se sujeta en los canales C por medio de ocho pernos de  $\text{Ø}1''$ , esta se coloca en su ubicación con el apoyo de un equipo de izaje; la base fija cuenta con cuatro puntos de sujeción en cada lado con una carrera radial de 0.7m, para poder alinearse a dos polos respectivamente.

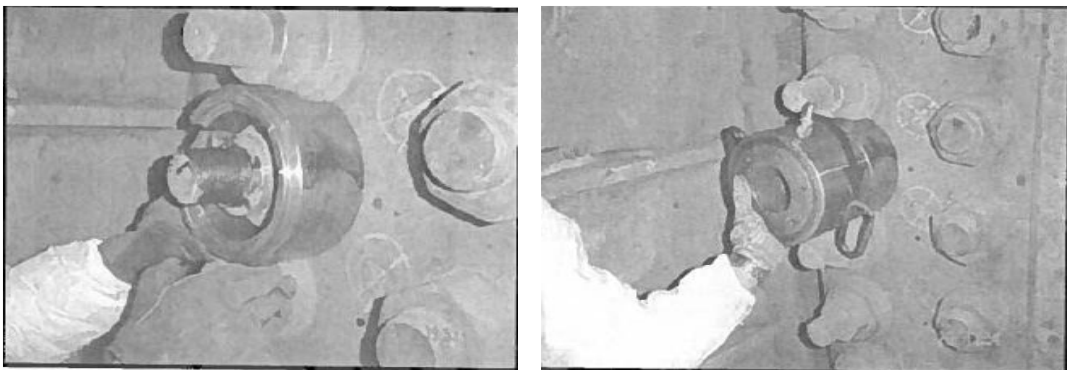
A diferencia de los canales C, la base fija debe estar alineada al eje vertical del polo que se retirara o al bulón central que sujeta al polo en la brida del molino.



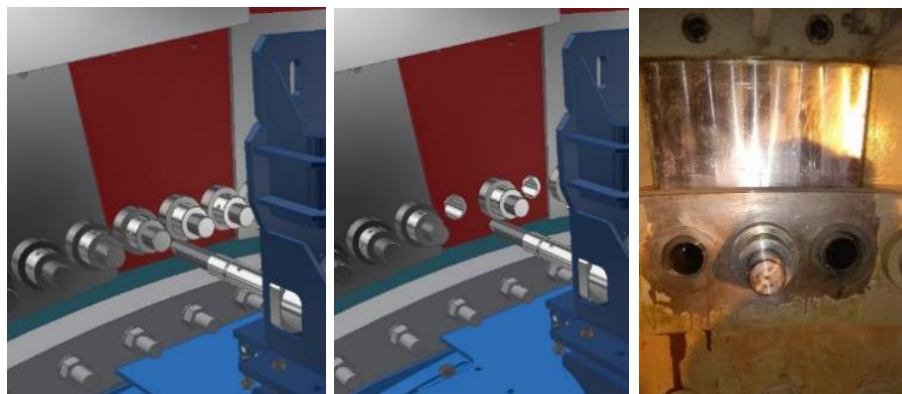
**Figura 92. Montaje de base fija [15]**

### 8.3.6. Desmontaje de bulones laterales

Un polo esta sujeta a la brida del molino por medio de 03 bulones M64 de tuerca circular. Los dos bulones laterales deben de retirarse para la instalación de unas barras guiadoras y sujeción del polo a desmontar. Para el retiro de los bulones se usa una tuerca elongadora accionada por una bomba hidráulica a una determinada presión; también se debe retirar unos bujes excéntricos de los orificios de los bulones



**Figura 93. Colocación de tuerca elongadora en bulones [17]**



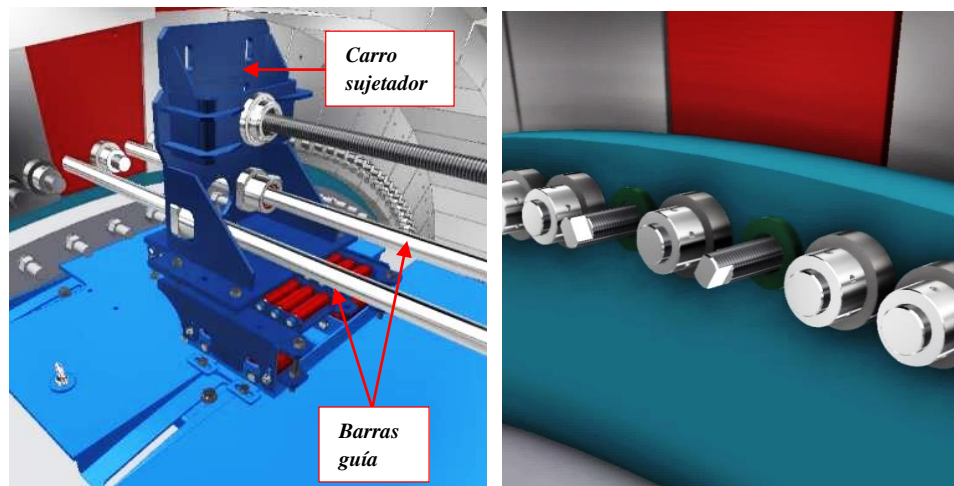
**Figura 94. Retiro de bulones laterales de Polo [15]**

### 8.3.7. Sujeción del Polo con el dispositivo extractor.

El carro sujetador del polo como el pórtico opuesto, deben estar sujetos en la base fija, el carro sujeto de manera temporal a la base (04 pernos Ø3/4") para evitar que se deslice sin control.

Dada esta condición se procede a ensamblar el dispositivo extractor colocando las barras guías atravesando el pórtico, el carro y la brida del molino del lado de la descarga

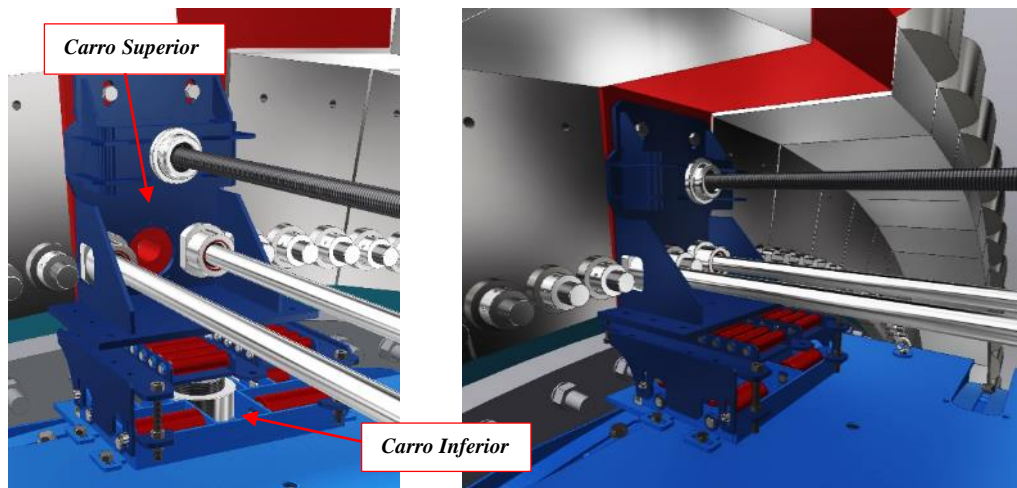
como se observa en la figura 95.



**Figura 95. (a) barras guía atraviesan carro y polo (b) Extremo de barras detrás de brida del molino [15]**

Las barras guías son cilíndricas lisas y en sus extremos cuentan con rosca y se aseguran colocando volandas y tuercas  $\text{Ø}2''$ . El bulón central que se sujeta el polo a la brida se desajusta mas no se retira hasta sujetar el polo con el carro superior.

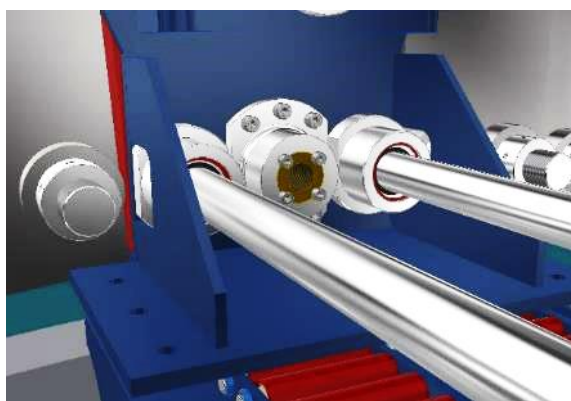
El carro sujetador se desplaza hasta pegar con la brida secundaria del molino y se inmoviliza colocando lo pernos de sujeción a la base (04 und.  $\text{Ø}3/4''$ ). El carro sujetador tiene dos componentes, el inferior (fijo) y el superior. El carro superior libre se moverá hasta pegar superficialmente su cara vertical con la del polo; el carro superior sujeta la base del polo y adicional a eso sujeta el polo a su estructura por medio de dos pernos M30 (a). Si requiere regularse la altura (0 a 15 mm) se usa el tornillo vertical (entre el carro inferior y superior).



**Figura 96. (a) Sujeción del polo a desmontar (b) Retiro de bulón central [15]**

El polo sujetado no necesita más el bulón central dejado anteriormente, se retira como se observa en la figura 96 (b)

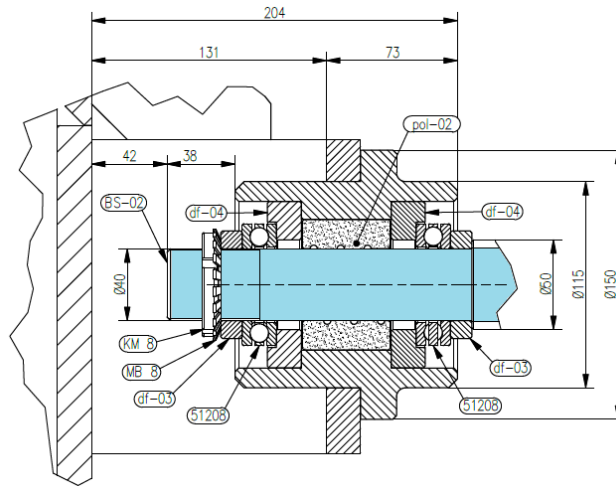
Entre los dos bujes inferiores del carro superior se coloca la masa que contiene la tuerca inferior del tornillo de potencia sujeto con 06 pernos a la placa del carro superior. Hecho esto se empieza colocando el tornillo de potencia inferior roscándolo sobre la tuerca hasta pasar la brida del lado de descarga.



**Figura 97. (a) Sujeción del polo a desmontar (b) Retiro de bulón central [15]**

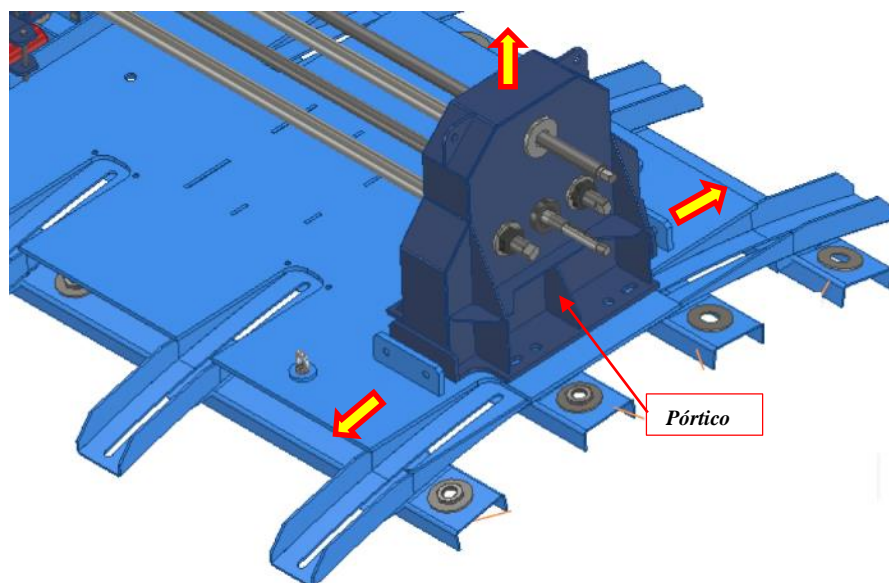
Al pasar la brida la distancia que indica en la figura 98 se coloca un buje un rodamiento de bolas axial asegurado con una tuerca de seguridad, del extremo opuesto (En el pórtico) se repite la misma tarea quedando listo el tornillo inferior.





**Figura 100. Aseguramiento de extremo del tornillo de potencia del carro superior [Elaboración propia]**

Finalmente, antes de iniciar el accionamiento de los tornillos de potencia se verificará el paralelismo y horizontalidad de las barras guía, tornillos de potencia superior e inferior, absorbiendo cualquier diferencia en la base del pórtico que puede regularse en altura y el desplazamiento lateral en ambas direcciones, regulando a través de sus botadores laterales y verticales por medio de pernos.

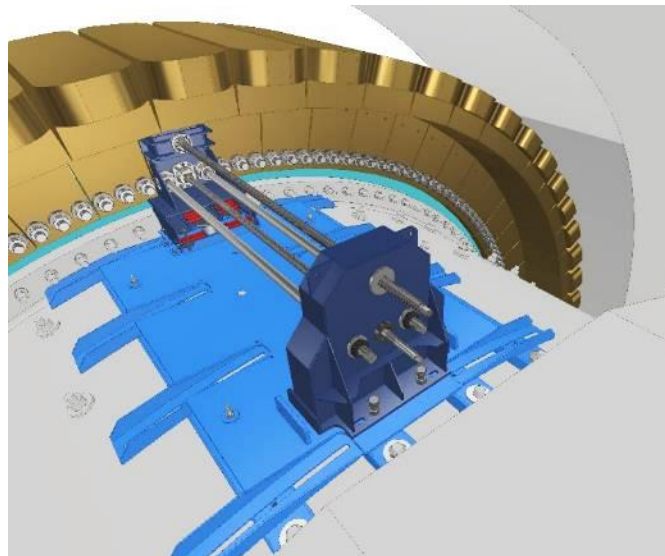


**Figura 101. Nivelación de pórtico [Elaboración propia]**

### 8.3.8. Extracción de Polo

Para la extracción del polo se accionan los tornillos de potencia del extremo del pórtico por dos técnicos de manera simultánea; al ocurrir el despegue del polo de la brida se debe verificar la horizontalidad de la cabeza del polo, por precaución y cuidado de los componentes del estator. Entre el polo y los componentes del estator existe un airgap o entrehierro que es una distancia de 19 mm aproximadamente, esta diferencia debe verificarse hasta que toda la cabeza del polo quede libre del estator.

Las barras guidoras ayudan a mantener el polo en su ubicación vertical durante toda la extracción es decir no habrá una rotación lateral y los tornillos superior e inferior cumplen la función de extraer el polo dañado y a la vez evitar el volteo frontal.



**Figura 102. Ensamble completo de dispositivo extractor de Polo [15]**



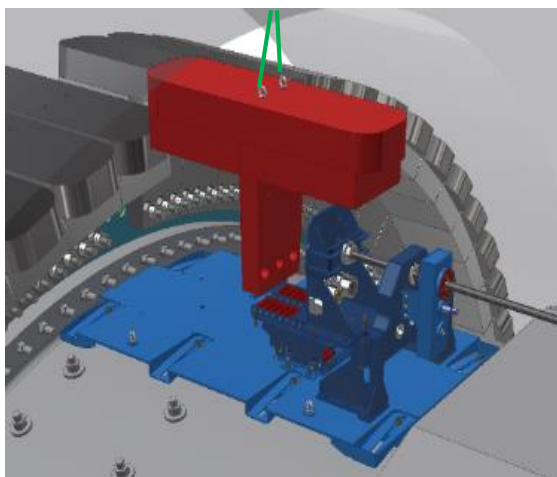
**Figura 103. Extracción de polo con dispositivo [15]**

Ambos tornillos de potencia son accionados por dos pistolas de impacto de manera coordinada. Por manipularse un elemento de peso considerable (2.5 Ton.) la velocidad de jalado es baja y constante (4 a 6 cm/ min) y cada cierto tramo se verifica la verticalidad del polo al dispositivo.

La carrera que debe recorrer el polo para ser desmontado es de 1.5m, ubicado el carro sujetador en esta posición es fijado por medio de cuatro pernos de  $\text{Ø}3/4''$  a la base fija de manera temporal.

Para el retiro del polo con el apoyo de un equipo de Izaje (Puente grúa), primero se hará una retenida del polo colocándose dos cáncamos M30 en la cabeza y por medio de aparejos se unirán al gancho del equipo de izaje, al estar asegurado se retirará las barras guías, los tornillos de potencia y los dos pernos M30 que unían el carro sujetador con la parte vertical del polo. De esta manera el polo desmontado queda completamente libre y es izado hasta su ubicación de acopio respectivo.





**Figura 104. Izaje de polo con equipo de izaje [15]**

### **8.3.9. Montaje de Polo en GMD**

Los pasos para el montaje del Polo son básicamente las mismas que se realizaron en el desmontaje de manera inversa. El polo nuevo o inspeccionado se fijará nuevamente en el carro sujetador y se ensamblará el dispositivo con sus componentes (Barras guidoras, tornillos de potencia, pernos de sujeción).

Una vez ubicado el polo “nuevo” en su posición, junto a los otros polos del rotor se realizará el alineamiento, es decir el espacio lateral y el airgap superior con respecto a las barras del estator realizado por técnicos electricistas.

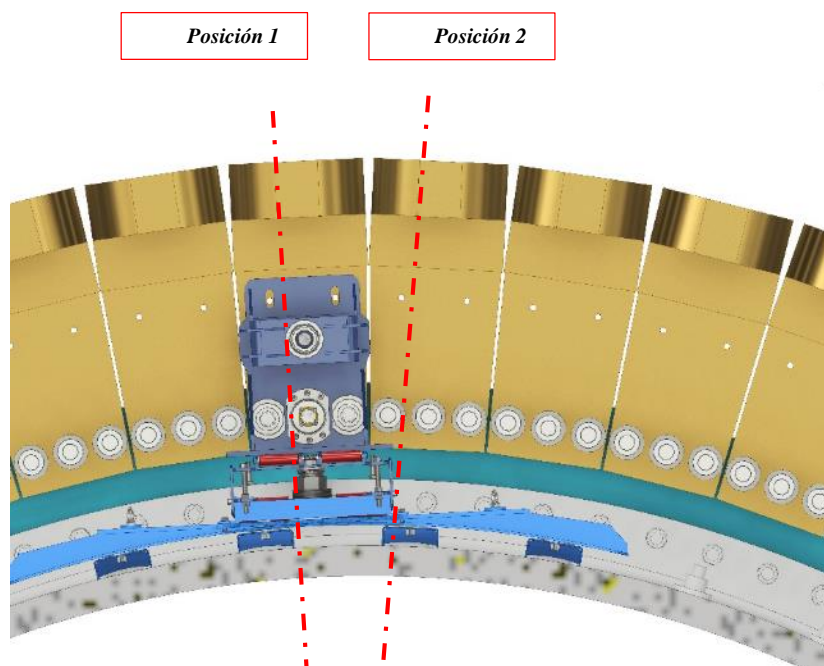
Para el alineamiento el polo, debe estar sujetado por medio del bulón central con un torque por debajo del requerido, entonces se procederá a desmontar el dispositivo extractor. Completado el alineamiento se torqueara los bulones según lo indicado en el manual del fabricante del motor anular.



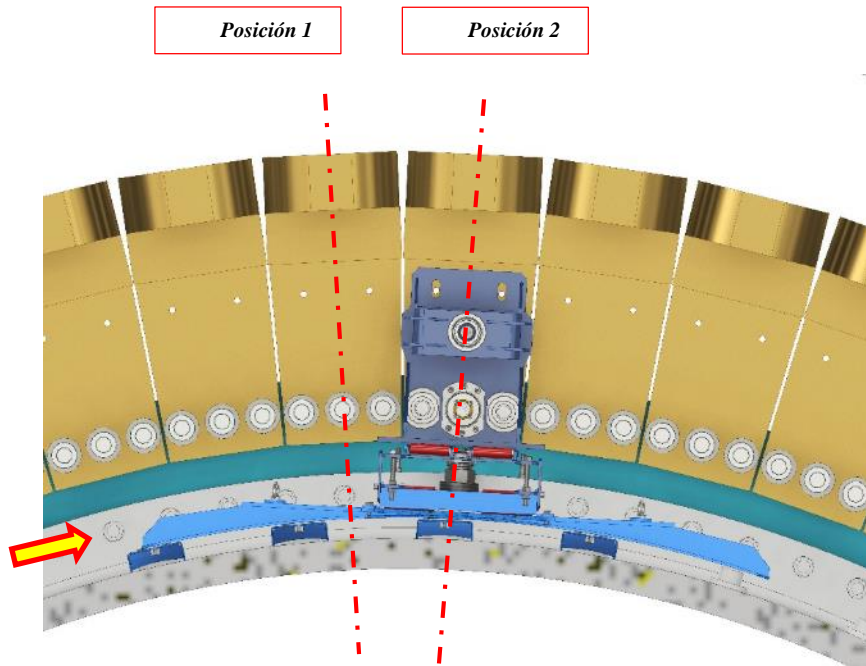
**Figura 105. Barras guidoras [Elaboración propia]**

### **8.3.10. Posiciones de mesa fija**

Como se indicó en el punto 8.3.5 la mesa fija del dispositivo extractor debe quedar alineada al polo que se va a retirar; en las figuras 106 y 107 se muestra el desplazamiento radial de la mesa para dos ubicaciones distintas sin mover la ubicación de los canales C que sirven de anclaje a la mesa.



**Figura 106. Ubicación de mesa para polo posición 1 [15]**



**Figura 107. Ubicación de mesa para polo posición 2 [15]**

La carrera radial de la mesa permite el giro en grados respecto del eje central del motor del molino.

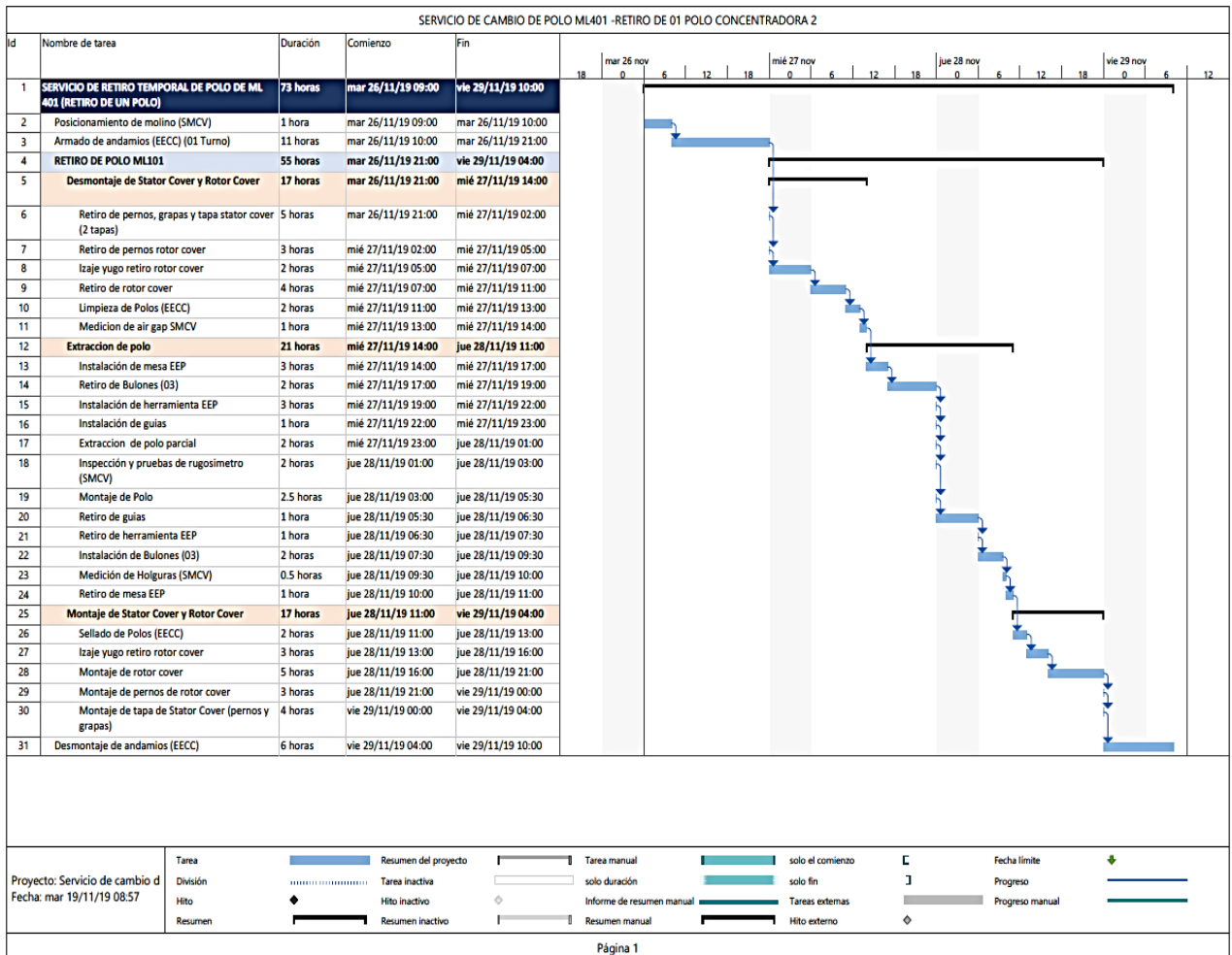
#### **8.4. Cronograma de tiempo de cambio de Polos - Referencial**

Para la realización de la maniobra completa del cambio de polo del motor anular de un molino hay tareas que le anteceden, necesarias para ejecutar y posicionar el dispositivo extractor, como se detallan en el cronograma referencial de la figura 108.

Una de las tareas importantes el posicionado del rotor del motor en la posición 12, también el habilitado de accesos por medio de andamios normados los cuales deberán estar correctamente modulados en tal forma que no generen interferencias estructurales al abrir el molino (desmontaje de rotor y stator cover's) y posterior posicionamiento del dispositivo.

En referencia al cronograma se requiere un tiempo de detención del equipo de 69 - 73 horas efectivas lo que permite realizarse en 6 turnos de 12 horas aproximadamente (3 días).

El dispositivo al extraer horizontalmente solo el componente dañado (polo) permite reducir el tiempo de detención del equipo a que si se tuviera que desmontar todo el estator del motor (desplazamiento horizontal hasta descubrir el anillo de polos en todo el perímetro del motor).



**Figura 108. Cronograma de Cambio de polo, referencia Molino ML 401 en Concentradora C2 [Elaboración propia]**

## CAPÍTULO IX ASPECTO ECONOMICO

### 9.1. Presupuesto

Se tiene dos presupuestos, en el primero detalla la fabricación del dispositivo extractor de Polo y en el segundo el servicio de cambio de Polo en la concentradora C2 para SMCV.

- Diseño y fabricación de Dispositivo Extractor de Polo

#### PRESUPUESTO RESUMEN

**Servicio:** Diseño y Fabricacion de Dispositivo extractor de Polo para GMD de Molino de bolas C2

**Propietario:** Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A

**Ubicación:** Car. Variante Tinajones Km 25 - Asentamiento Minero

**Contratista:** Proyectos de Ingenieria y servicios SCRL

N°	Descripcion	Und	Cant.	Monto
1	Toma de mediciones en Campo Diseño de Dispositivo Extractor de Polo para motor anular de molino de bolas de Concentradora C2. Fabricacion de dispositivo Extractor de Polo	Glb.	1	S/. 47,728.86
<b>Gastos Generales</b>				<b>S/. 3,818.31</b>
<b>Utilidad</b>				<b>S/. 5,727.46</b>
<b>Costo total S/</b>				<b>S/. 57,274.63</b>
<b>Costo Total US\$</b>				<b>17355.95</b>

**Figura 109. Presupuesto de fabricación de Dispositivo [Elaboración propia]**

- Presupuesto por el servicio de cambio de 01 Polo con el Dispositivo Extractor de Polo con equipos y herramientas principales; las herramientas especializadas propias del molino no se consideran.

**PRESUPUESTO RESUMEN**

**Servicio:** Servicio de Cambio de Polo en Molino de bolas ML-401 Concentradora C2

**Propietario:** Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A

**Ubicación:** Car. Variante Tinajones Km 25 - Asentamiento Minero

**Contratista:** Proyectos de Ingenieria y servicios SCRL

N°	Descripcion	Und	Cant.	Monto
1	Preparativos y Post para Cambio de 01 Polo ML 401 Desmontaje de 02 Stator Cover y 01 Rotor Cover Montaje y desmontaje de Dispositivo Extractor de polo Cambio de 01 polo del rotor del ML401 Montaje de 02 Stator Cover y 01 Rotor Cover	Gib.	1	S/. 35,487.25
<b>Gastos Generales</b>				S/. 2,838.98
<b>Utilidad</b>				S/. 4,258.47
<b>Costo total S/</b>				S/. 42,584.70
<b>Costo Total US\$</b>				12904.45

**Figura 110. Presupuesto de maniobra de cambio de Polo en SMCV  
[Elaboración propia]**

## CONCLUSIONES

1. Se logró el diseño e implementación de un dispositivo extractor de Polo para el cambio e inspección de polos de los motores anulares GMD, para los molinos bolas específicamente de la concentradora C2 en Sociedad Minera Cerro Verde ubicada en Arequipa.
2. El dispositivo extractor de polos permite el mantenimiento eléctrico (Maniobra mecánica) del motor anular específicamente por las fallas en los polos del rotor (2.5 Ton. cada uno), el polo dañado se sujeta y extrae horizontalmente por el lado de alimentación sin la necesidad de una tarea mayor que sería el desmontaje completo del estator incurriendo en un mayor tiempo de mantenimiento y mayor tiempo de detención del equipo afectando directamente en la disponibilidad del equipo.
3. El dispositivo extractor se adecua a la complejidad del equipo (Molino de bolas) y la disposición de otros equipos en el área húmeda de la concentradora C2; el dispositivo no debe ser usado en otros molinos similares ya que el dimensionamiento de los componentes depende de las dimensiones propias del molino (Diámetro de casco, distribución de pernos de lifters etc.)
4. En un cambio polo en SMCV, el tiempo necesario para realizar el cambio de un polo haciendo el uso del dispositivo extractor en condiciones normales de trabajo, se logró en 55 horas efectivas mecánicas (2.5 días aproximadamente), logrando un menor tiempo de detención para el mantenimiento eléctrico del motor en el molino de bolas. En la tabla 48 se muestra el tiempo de la actividad de cambio de polo con el dispositivo (Tiempo real) y el cambio sin el dispositivo desmontando el estator del molino (Tiempo estimado).

<b>Resumen de horas para el cambio de Polos en motor GMD/ML401 (01 und.)</b>							
<b>Actividades (Con dispositivo Extractor)</b>				<b>Actividades (Retiro de Estator)</b>			
1	Detencion de quipo	2	Horas	1	Detencion de equipo	2	Horas
2	Habilitado de accesos con andamios	8	Horas	2	Habilitado de accesos con andamios	24	Horas
3	Maniobra de cambio de Polo	55	Horas	3	Desmontaje de Estator	60	Horas
4	Retiro de andamios de acceso	6	Horas	4	Maniobra de cambio de Polo	36	Horas
5	Arranque de equipo	1.5	Horas	5	Montaje de Estator	60	Horas
6				6	Retiro de Andamios	18	Horas
7				7	Arranque de equipo	1.5	Horas
<b>Total</b>		<b>72.5</b>	<b>Horas</b>	<b>Total</b>		<b>201.5</b>	<b>Horas</b>

**Tabla 48. Resumen de horas (Elaboración propia)**

Las actividades de desmontaje de estator en este tipo de motores son para realizar un mantenimiento mayor en el estator o reemplazo total; en un cambio de estator se mueven componentes haciendo un total de 420 toneladas en un tiempo de 25 a 32 días a más; por tal razón no es factible desmontar el estator para el cambio de un solo polo del rotor.

5. La configuración del dispositivo extractor elimina el riesgo del personal técnico de laborar junto a una carga suspendida durante el desmontaje y montaje del polo respectivo que si se incurriría al usar otro tipo de herramienta (C- Frame); la maniobra con el dispositivo permite cumplir con el reglamento de seguridad y salud ocupacional 024-2016 EM y su modificatoria y estándares de la compañía minera SMCV (SSOst031).
6. Se puede suplir los requerimientos de mantenimiento en las compañías mineras con soluciones de ingeniería como el diseño de dispositivos, herramientas, a un tiempo de respuesta menor y menor costo.



## LISTA DE REFERENCIAS

Pagina web PRODISE. [www.prodise.com.pe](http://www.prodise.com.pe) [1]

Sociedad Minera Cerro Verde, *Manual de operaciones Concentradora C2*. [2]

*Ranking de los principales productores de cobre a nivel mundial 2019*.

[https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-](https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-cobre-a-nivel-mundial/)

[cobre-a-nivel-mundial/](https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-cobre-a-nivel-mundial/) [3]

Hugo Ángel Díaz Salcedo Memoria descriptiva de experiencia profesional “*Análisis hidráulico en régimen permanente del sistema de transporte de relaves de la planta concentradora C2 de Sociedad minera Cerro verde*”. [4]

Alejandro Hernán López Salazar Memoria “*Detección de anomalías en molino de bolas usando modelos no paramétricos*” [5]

Renato Nicolás Sandoval Marmolejo Memoria *Análisis de utilización de motores de inducción de rotor bobinado en el accionamiento de un molino de bolas*. [6]

Equipo de planta ejecuto en tiempo record *Mantenimiento del SAG. CODELCO*.

[https://www.codelco.com/equipo-de-planta-ejecuto-en-tiempo-record-](https://www.codelco.com/equipo-de-planta-ejecuto-en-tiempo-record-mantenion-del-sag/prontus_codelco/2014-06-12/131210.html)

[mantencion-del-sag/prontus\\_codelco/2014-06-12/131210.html](https://www.codelco.com/equipo-de-planta-ejecuto-en-tiempo-record-mantenion-del-sag/prontus_codelco/2014-06-12/131210.html) [7]

Robert L. Norton. *Diseño de máquinas, Un enfoque Integrado* Cuarta edición [8]

Andrew Pytel –Ferdinand I. Singer *Resistencia de materiales*, Cuarta edición. [9]

Código de soldadura de acero AWS D1.1/d1.1M:2015 [10]

WIKIPEDIA “*Resistencia a la rodadura*”.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_a\\_la\\_rodadura](https://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura) [11]

Coeficientes de fricción. <https://www.skf.com/pe/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/selection-and-application/friction/index.html>

[12]

*Manual de aceros especiales Bohler. Versión MAE16-107.*[13]

*Catálogo de productos y servicios Comercial del acero. COMASA.*[14]

*PETS “Cambio de polo en molino de bolas ML401 en Concentradora C2 – Prodis*  
*SCRL.*[15]

M, Ahrens ABB - *Beneficios comerciales y técnicos de un molino sin engranajes* library  
e.abb.com [16]

Compañía minera Antamina S.A. - *PETS Cambio de Polo en rotor de molinos* [17]

SKF - Manual de selección de rodamientos [18]

Alstom Motores GMD [19]

Anillos Seeger, [www.rulemanesdemayo.com.ar](http://www.rulemanesdemayo.com.ar) [20]

[http://srgtyp.com/materiales-compuestos/tecnologia/12/analisis-por-elementos-finitos-](http://srgtyp.com/materiales-compuestos/tecnologia/12/analisis-por-elementos-finitos-fea-.html)  
[fea-.html](http://srgtyp.com/materiales-compuestos/tecnologia/12/analisis-por-elementos-finitos-fea-.html) *Análisis por elementos finitos.*[21]

Estándar SMCV de izaje SSOst0031 *Estándar de equipos y elementos de izaje, 024-2016*  
EM.[22]

*El accionamiento sin engranajes para molinos GMD-ABB* [23]

*Mineral processing, Video tutorial de molinos de bolas –*  
<https://www.facebook.com/Mining.process/videos/1030120693841260> [24]

Universidad de los Andes, *Elementos de maquinas II* [25]

## **ANEXOS**

- A. Anexo 1: Estructura de Costos de fabricación y cambio de dispositivo extractor de Polo.**
- B. Anexo 2: Diagrama de Gantt “Cambio de Polo en Molino ML-401”**
- C. Anexo 3: Planos de Ingeniería de detalle de Dispositivo extractor de Polo**

**PRESUPUESTO RESUMEN**

**Servicio:** Diseño y Fabricacion de Dispositivo extractor de Polo para GMD de Molino de bolas C2  
**Propietario** Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A  
**Ubicación** Car. Variante Tinajones Km 25 - Asentamiento Minero  
**Contratista:** Proyectos de Ingenieria y servicios SCRL

<b>N°</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Und</b>	<b>Cant.</b>	<b>Monto</b>	
1	Toma de mediciones en Campo Diseño de Dispositivo Extractor de Polo para motor anular de molino de bolas de Concentradora C2. Fabricacion de dispositivo Extractor de Polo	Glb.	1	S/.	47,728.86
<b>Gastos Generales</b>				S/.	3,818.31
<b>Utilidad</b>				S/.	5,727.46
<b>Costo total S/</b>				S/.	57,274.63
<b>Costo Total US\$</b>					17355.95

**ESTRUCTURA DE COSTOS**

**FABRICACIÓN DISPOSITIVO EXTRACTOR DE POLO**

ITEM	MATERIALES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Planchas A36	Kg.	1500.00	2.90	4350.00	
2.00	Barras AISI C45 Ø2"	Kg.	199.65	3.80	758.67	
3.00	Barras A36	Kg.	30.00	3.20	96.00	
4.00	Tubo SCH 80	Kg.	30.00	3.30	99.00	
5.00	Bronce	Kg.	25.00	7.50	187.50	
6.00	Soldadura	Kg.	35.00	10.50	367.50	
7.00	Discos de corte - desbaste	U.	5.00	9.27	46.35	
8.00	Pintura	Gal.	1.50	223.00	334.50	
9.00	Rodamientos 61904r	Und.	48.00	40.00	1920.00	
10.00	Rodamiento 7230	Und.	12.00	160.00	1920.00	
11.00	WD-40	Und.	4.00	23.05	92.20	
12.00	Cancamos M24	Und.	4.00	185.00	740.00	
13.00	Perneria Varios	Und.	1.00	500.00	500.00	
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>11411.72</b>
ITEM	MANO DE OBRA	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Supervisor (d)	Hr	8.00	35.19	281.52	
2.00	Dibujante (d)	Hr	63.00	18.99	2392.50	
3.00	Ayudante mecanico (d)	Hr	8.00	17.19	137.51	
4.00	Calculista (d)	Hr	48.00	22.76	1092.48	
5.00	Supervisor de planta	Hr	22.50	30.30	681.82	
6.00	Supervisor de calidad	Hr	20.00	21.14	422.80	
7.00	Operario (f)	Hr	90.00	21.51	3872.43	
8.00	Soldador (f)	Hr	90.00	21.67	3900.06	
9.00	Oficial (f)	Hr	90.00	17.07	4608.05	
10.00	Tornero Operario (f)	Hr	90.00	21.51	7744.85	
9.00	Tornero operario (p)	Hr	25.50	21.51	1097.01	
10.00	Oficial (p)	Hr	25.50	17.07	1740.82	
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>27971.84</b>
ITEM	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	CANTIDAD (Hr)	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Computadora	56	3.00	1.00	168.00	
2.00	Camioneta Pick Up	8	1.00	37.50	300.00	
3.00	Equipos de medicion	8	1.00	30.00	240.00	
4.00	Maquina de soldar Inversora	3	30.00	10.15	304.50	
5.00	Equipo de plasma (no incluyen electrodos ni toberas)	2	24.00	29.00	696.00	
6.00	Esmeril angular 7"	3	64.00	1.85	118.40	
7.00	Prensa hidráulica	1	16.00	23.20	371.20	
8.00	Torno 3000 a 4500 mm bancada y 880 mm volteo	1	36.00	43.50	1566.00	
9.00	Torno de 1000 a 1500 mm bancada y 880 mm volteo	1	70.00	17.40	1218.00	
10.00	Fresa universal	1	24.00	23.20	556.80	
11.00	Mandrinadora	1	16.00	29.00	464.00	
12.00	Taladro radial	2	32.00	14.50	464.00	
13.00	Montacarga 4 ton	1	16.00	43.50	696.00	
14.00	Equipo de pintado air-less	16	16.00	10.15	162.40	
<b>TOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>						<b>7325.30</b>
ITEM	GASTOS POR TRANSPORTE	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Transporte Arequipa- SMCV (Camion grua)	Viaje	1.00	1020.00	1020.00	
<b>TOTAL GASTOS POR TRANSPORTE</b>						<b>1020.00</b>
<b>COSTO DIRECTO S/.</b>						<b>47728.86</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>						<b>3818.31</b>
<b>UTILIDAD</b>						<b>5727.46</b>
<b>COSTO TOTAL S/.</b>						<b>57274.63</b>
<b>COSTO TOTAL US\$</b>						<b>17355.95</b>
<b>COSTO UNITARIO US\$</b>						<b>17355.95</b>

**PRESUPUESTO RESUMEN**

**Servicio:** Servicio de Cambio de Polo en Molino de bolas ML-401 Concentradora C2

**Propietario:** Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A

**Ubicación:** Car. Variante Tinajones Km 25 - Asentamiento Minero

**Contratista:** Proyectos de Ingeniería y servicios SCRL

<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Cant.</b>	<b>Monto</b>
1	Preparativos y Post para Cambio de 01 Polo ML 401 Desmontaje de 02 Stator Cover y 01 Rotor Cover Montaje y desmontaje de Dispositivo Extractor de polo Cambio de 01 polo del rotor del ML401 Montaje de 02 Stator Cover y 01 Rotor Cover	Glb.	1	S/. 35,487.25
<b>Gastos Generales</b>				<b>S/. 2,838.98</b>
<b>Utilidad</b>				<b>S/. 4,258.47</b>
<b>Costo total S/</b>				<b>S/. 42,584.70</b>
<b>Costo Total US\$</b>				<b>12904.45</b>

**ESTRUCTURA DE COSTOS**

**CAMBIO DE POLO CON DISPOSITIVO EXTRACTOR**

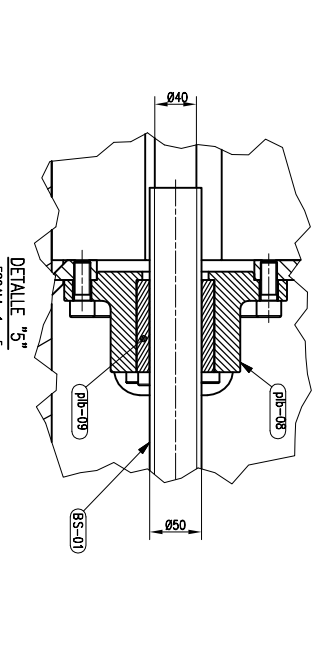
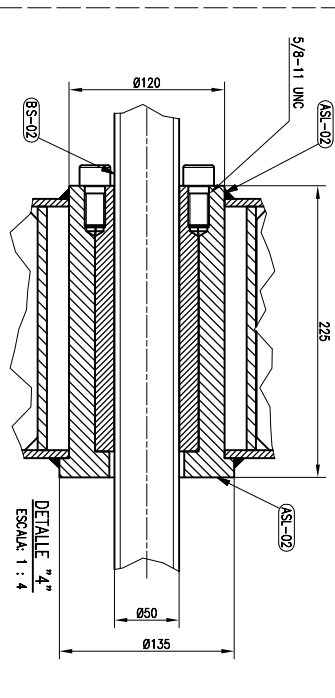
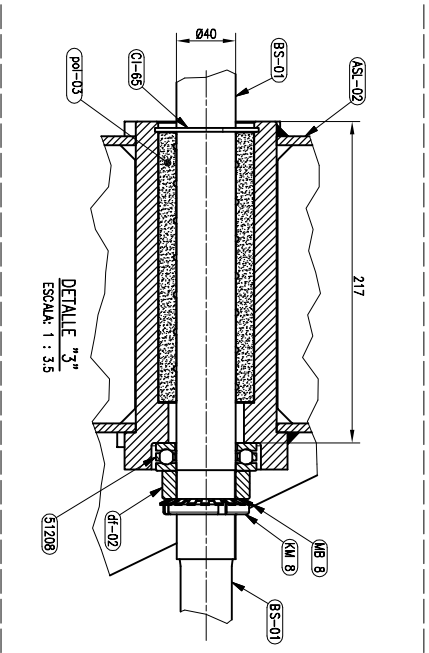
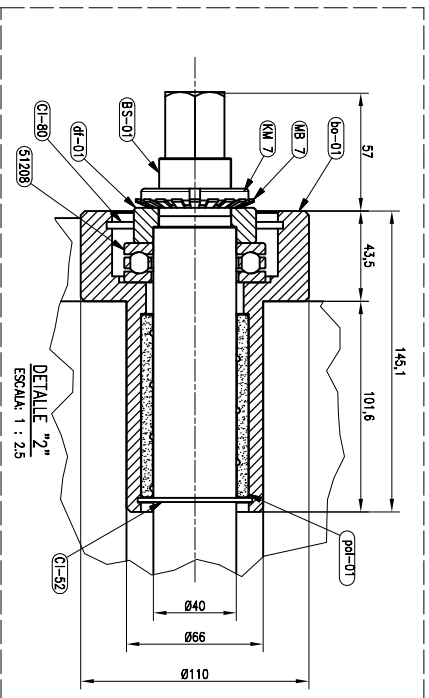
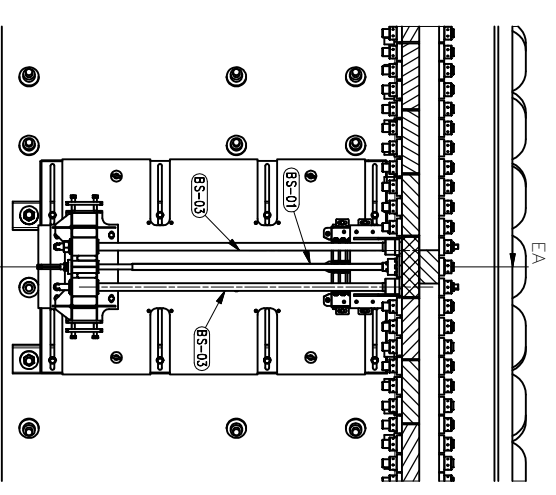
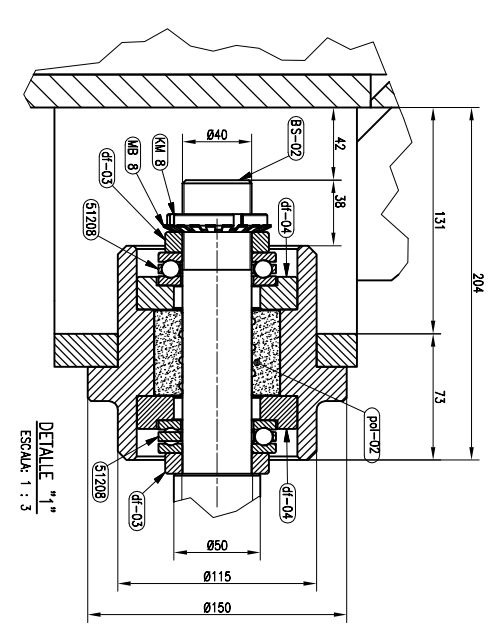
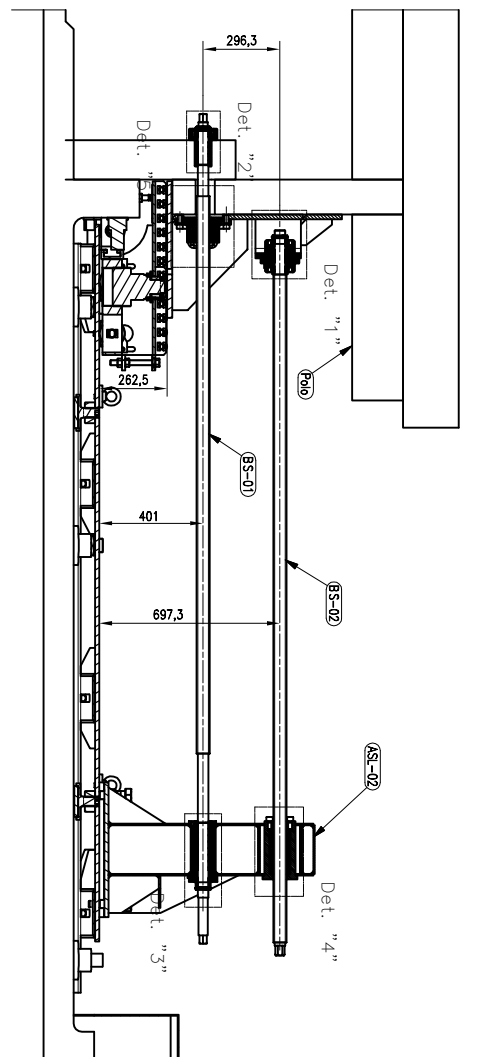
ITEM	MATERIALES	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Discos de desbaste 7"	U.	4.00	9.27	37.08	
2.00	Disco de Corte 7"	U.	6.00	9.50	57.00	
3.00	Waype	Kg.	5.00	6.20	31.00	
4.00	WD-40	Unid	6.00	23.30	139.80	
5.00	Pulifan 4"	Unid	8.00	10.00	80.00	
6.00					0.00	
<b>TOTAL MATERIALES</b>						<b>344.88</b>
ITEM	MANO DE OBRA	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Supervisor de seguridad (p)	Hr.	14.00	35.19	492.60	
2.00	Supervisor (p)	Hr.	14.00	39.19	548.60	
3.00	Mecanico lider (p)	Hr.	14.00	30.89	432.45	
4.00	Mecanico (p)	Hr.	14.00	26.48	741.41	
5.00	Ayudante (p)	Hr.	14.00	19.66	550.44	
6.00	Supervisor de seguridad	Hr.	26.00	35.19	1829.64	
7.00	Supervisor Campo	Hr.	26.00	39.19	2037.64	
8.00	Mecanico lider	Hr.	26.00	30.89	3212.47	
9.00	Soldador	Hr.	26.00	31.57	1641.70	
10.00	Mecanico	Hr.	26.00	26.48	9638.35	
11.00	Ayudante mecanico	Hr.	26.00	19.66	2044.50	
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>						<b>23169.80</b>
ITEM	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	CANTIDAD	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Esmeril angular 7"	2	36.00	1.85	133.20	
2.00	Maquina de soldar Inversora	1	36.00	10.15	365.40	
3.00	Camión grúa de 7 ton (Arequipa)	1	14.00	145.00	2030.00	
4.00	Cáncamos M36	8	60.00	0.47	225.00	
5.00	Comba de 4 lb con mangos de fibra	4	60.00	0.35	84.70	
6.00	Escalera telescópica (aluminio o FRP) 10 metros	2	60.00	2.35	281.60	
7.00	Escariador neumático	2	20.00	2.78	111.22	
8.00	Eslingas 5 TON x 4 m	6	60.00	0.47	170.94	
9.00	Eslingas 2 TON x 4 m	7	60.00	0.23	97.02	
10.00	Extension alimentacion maquina de soldar trifasica 30m	3	36.00	4.54	490.05	
11.00	Extension corriente con enchufe y caja metalica (2 x 12 AWG)	6	60.00	0.33	119.63	
12.00	Gata hidraulica 10 TN	4	60.00	3.75	900.90	
13.00	Gata hidraulica 3 TN	2	60.00	1.94	232.56	
14.00	Grilletes 1"	12	60.00	0.18	129.36	
15.00	Grilletes 3/4"	8	60.00	0.10	49.28	
16.00	Grilletes 1/2"	8	60.00	0.05	24.64	
17.00	Llave francesa de 18"	3	60.00	0.86	154.77	
18.00	Pistola de Impacto Neumática c/encastre 3/4"	4	60.00	4.89	1173.60	
19.00	Unidad de poder hidraulica manual c/mangueras 10,000 psi	4	48.00	2.65	509.23	
20.00	Tecla cadena de 3 t	4	60.00	3.29	790.00	
21.00	Juego de llaves Mixtas 1/2" - 1-1/2"	3	60.00	3.41	614.46	
22.00	Dado de 75mm	2	60.00	1.01	121.50	
23.00	Dado de 19mm o 3/4"	4	60.00	0.45	107.50	
24.00	Radio	4	48.00	0.50	96.00	
<b>TOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>						<b>9012.55</b>
ITEM	VARIOS	UNID.	CANT.	P.U	PARCIAL	TOTAL
1.00	Transporte Arequipa- SMCV	Viaje	6.00	320.00	1920.00	
2.00	Alimentación	U.	80.00	13.00	1040.00	
<b>TOTAL GASTOS POR TRANSPORTE</b>						<b>2960.00</b>
<b>COSTO DIRECTO S/.</b>						<b>35487.23</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>						<b>2838.98</b>
<b>UTILIDAD</b>						<b>4258.47</b>
<b>COSTO TOTAL S/.</b>						<b>42584.68</b>
<b>COSTO TOTAL US\$</b>						<b>12904.45</b>
<b>COSTO UNITARIO US\$</b>						<b>12904.45</b>



SERVICIO DE CAMBIO DE POLO ML401 -RETIRO DE 01 POLO CONCENTRADORA 2

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Gantt Chart											
					18	0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12
1	<b>SERVICIO DE RETIRO TEMPORAL DE POLO DE ML 401 (RETIRO DE UN POLO)</b>	<b>73 horas</b>	<b>mar 26/11/19 09:00</b>	<b>vie 29/11/19 10:00</b>	[Gantt bar for task 1]											
2	Posicionamiento de molino (SMCV)	1 hora	mar 26/11/19 09:00	mar 26/11/19 10:00	[Gantt bar for task 2]											
3	Armado de andamios (EECC) (01 Turno)	11 horas	mar 26/11/19 10:00	mar 26/11/19 21:00	[Gantt bar for task 3]											
4	<b>RETIRO DE POLO ML101</b>	<b>55 horas</b>	<b>mar 26/11/19 21:00</b>	<b>vie 29/11/19 04:00</b>	[Gantt bar for task 4]											
5	<b>Desmontaje de Stator Cover y Rotor Cover</b>	<b>17 horas</b>	<b>mar 26/11/19 21:00</b>	<b>mié 27/11/19 14:00</b>	[Gantt bar for task 5]											
6	Retiro de pernos, grapas y tapa stator cover (2 tapas)	5 horas	mar 26/11/19 21:00	mié 27/11/19 02:00	[Gantt bar for task 6]											
7	Retiro de pernos rotor cover	3 horas	mié 27/11/19 02:00	mié 27/11/19 05:00	[Gantt bar for task 7]											
8	Izaje yugo retiro rotor cover	2 horas	mié 27/11/19 05:00	mié 27/11/19 07:00	[Gantt bar for task 8]											
9	Retiro de rotor cover	4 horas	mié 27/11/19 07:00	mié 27/11/19 11:00	[Gantt bar for task 9]											
10	Limpieza de Polos (EECC)	2 horas	mié 27/11/19 11:00	mié 27/11/19 13:00	[Gantt bar for task 10]											
11	Medicion de air gap SMCV	1 hora	mié 27/11/19 13:00	mié 27/11/19 14:00	[Gantt bar for task 11]											
12	<b>Extraccion de polo</b>	<b>21 horas</b>	<b>mié 27/11/19 14:00</b>	<b>jue 28/11/19 11:00</b>	[Gantt bar for task 12]											
13	Instalación de mesa EEP	3 horas	mié 27/11/19 14:00	mié 27/11/19 17:00	[Gantt bar for task 13]											
14	Retiro de Bulones (03)	2 horas	mié 27/11/19 17:00	mié 27/11/19 19:00	[Gantt bar for task 14]											
15	Instalación de herramienta EEP	3 horas	mié 27/11/19 19:00	mié 27/11/19 22:00	[Gantt bar for task 15]											
16	Instalación de guias	1 hora	mié 27/11/19 22:00	mié 27/11/19 23:00	[Gantt bar for task 16]											
17	Extraccion de polo parcial	2 horas	mié 27/11/19 23:00	jue 28/11/19 01:00	[Gantt bar for task 17]											
18	Inspección y pruebas de rugosimetro (SMCV)	2 horas	jue 28/11/19 01:00	jue 28/11/19 03:00	[Gantt bar for task 18]											
19	Montaje de Polo	2.5 horas	jue 28/11/19 03:00	jue 28/11/19 05:30	[Gantt bar for task 19]											
20	Retiro de guias	1 hora	jue 28/11/19 05:30	jue 28/11/19 06:30	[Gantt bar for task 20]											
21	Retiro de herramienta EEP	1 hora	jue 28/11/19 06:30	jue 28/11/19 07:30	[Gantt bar for task 21]											
22	Instalación de Bulones (03)	2 horas	jue 28/11/19 07:30	jue 28/11/19 09:30	[Gantt bar for task 22]											
23	Medición de Holguras (SMCV)	0.5 horas	jue 28/11/19 09:30	jue 28/11/19 10:00	[Gantt bar for task 23]											
24	Retiro de mesa EEP	1 hora	jue 28/11/19 10:00	jue 28/11/19 11:00	[Gantt bar for task 24]											
25	<b>Montaje de Stator Cover y Rotor Cover</b>	<b>17 horas</b>	<b>jue 28/11/19 11:00</b>	<b>vie 29/11/19 04:00</b>	[Gantt bar for task 25]											
26	Sellado de Polos (EECC)	2 horas	jue 28/11/19 11:00	jue 28/11/19 13:00	[Gantt bar for task 26]											
27	Izaje yugo retiro rotor cover	3 horas	jue 28/11/19 13:00	jue 28/11/19 16:00	[Gantt bar for task 27]											
28	Montaje de rotor cover	5 horas	jue 28/11/19 16:00	jue 28/11/19 21:00	[Gantt bar for task 28]											
29	Montaje de pernos de rotor cover	3 horas	jue 28/11/19 21:00	vie 29/11/19 00:00	[Gantt bar for task 29]											
30	Montaje de tapa de Stator Cover (pernos y grapas)	4 horas	vie 29/11/19 00:00	vie 29/11/19 04:00	[Gantt bar for task 30]											
31	Desmontaje de andamios (EECC)	6 horas	vie 29/11/19 04:00	vie 29/11/19 10:00	[Gantt bar for task 31]											

Proyecto: Servicio de cambio d Fecha: mar 19/11/19 08:57	Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha límite	
	División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
	Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
	Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			



REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/07/19	DIBUJO PARA REVISION				
B	14/07/19	DIBUJO PARA FABRICACION				
0	14/07/19	DIBUJO PARA FABRICACION				
1	25/07/19	DIBUJO PARA MONTAJE				
2	25/07/19	DIBUJO PARA MONTAJE				

APROBADO	FECHA	REVISADO	FECHA
	2/09/2019		

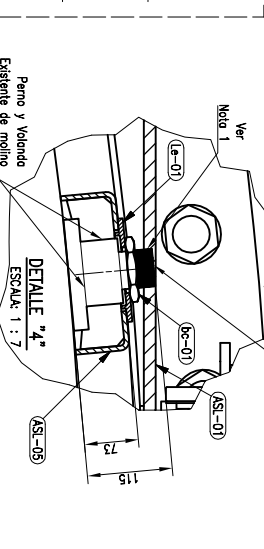
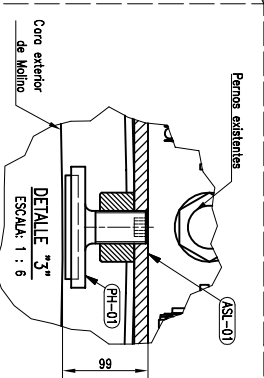
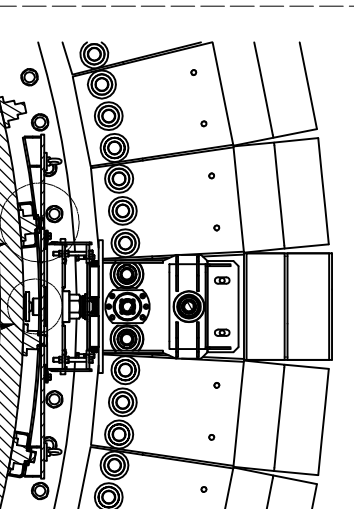
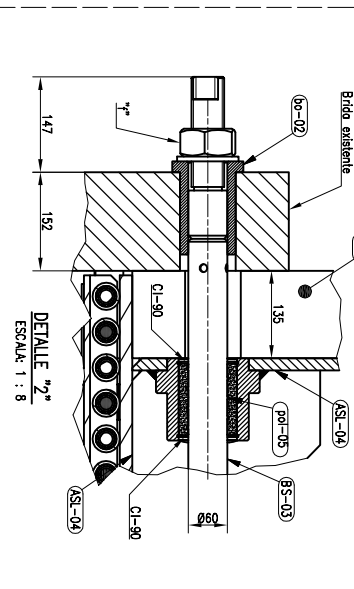
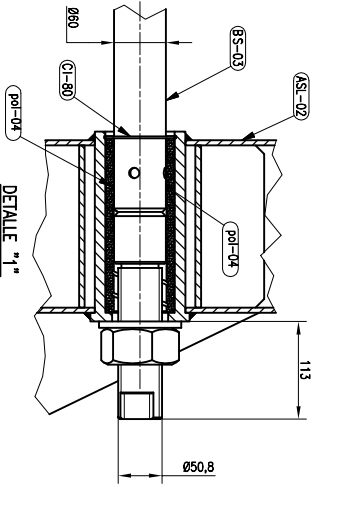
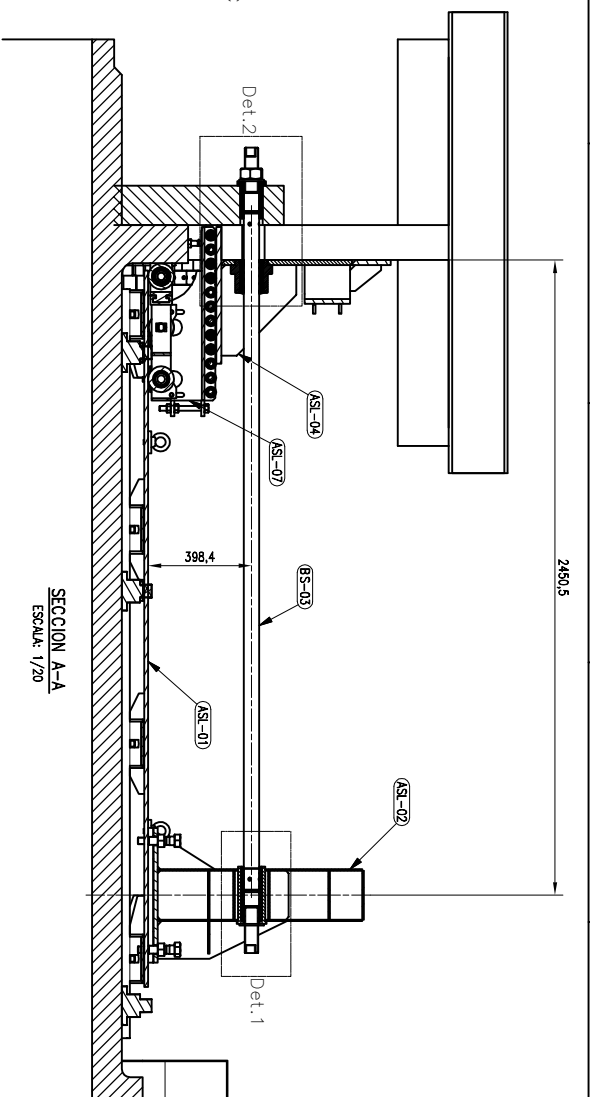
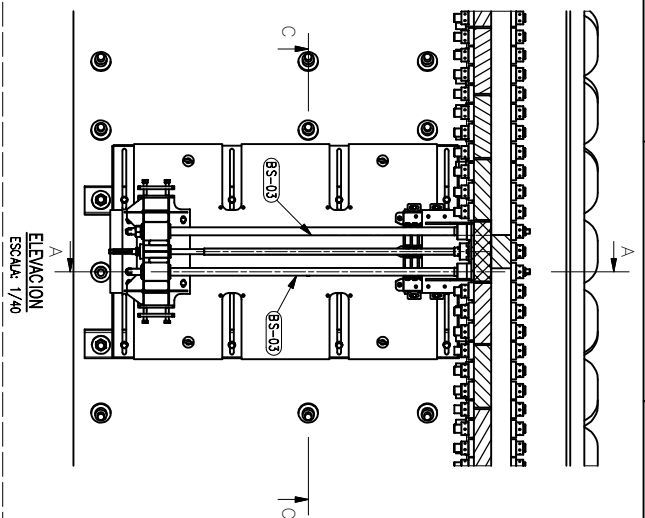
  

INDICIOS	INDICADORES
PLANTA CONCENTRADORA	PR000-E-015-ME-02
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO	
MECANICO	
ACCESORIOS CAMBIO DE POLO C2	
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	

<p>Departamento de Ingeniería y Proyectos TELÉFONO: (044) 35-21-19</p>
----------------------------------------------------------------------------

COMPONENTES	NUMERO	CAMBIO DE POLO
ASI-01	Asim A-36	CANT
ASI-02	Asim a-36	1
ASI-04	Asim A-36	1
ASI-05	Asim A-36	2
ASI-07	Asim A-36	1
bc-01	Asim A-36	8
bo-01	Asim A-36	1
bo-02	Asim A-36	2
BS-01	Eje $\emptyset$ 2" SAE-1045	1
BS-02	Eje $\emptyset$ 2" SAE-1045	1
BS-03	TI880 $\emptyset$ 2" SCH. 80	2
Lh-01	Pl. 5/8" Asim a-36	8
Pl-01	Asim A-36	2
d-01	PL. 3/4" Asim a-36	1
d-02	PL. 3/4" Asim a-36	1
d-03	PL. 1/2" Asim a-36	2
d-04	PL. 3/4" Asim a-36	2
pol-01	Poliamida	1
pol-02	Poliamida	1
pol-03	Poliamida	1
pol-04	Poliamida	2
pol-05	Poliamida	2
Su-01	Asim a-36	2
plb-08	Asim A-36	1
plb-09	Bronce	1



**NOTAS:**  
1. Una vez ensamblado los elementos ASI-05La-01 y bc-01 el perno existente del molino sera cortado hasta el nivel exterior de la tuerca bc-01

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	DIBUJO PARA REVISION				
B	14/02/19	DIBUJO PARA FABRICACION				
0	14/02/19	DIBUJO PARA FABRICACION				
1	25/02/19	DIBUJO PARA MONTAJE				
2	25/07/19	DIBUJO PARA MONTAJE				

APROBADO	FECHA	REVISADO	FECHA
[Signature]	2/09/2019	[Signature]	2/09/2019
[Signature]	2/09/2019	[Signature]	2/09/2019
[Signature]	2/09/2019	[Signature]	2/09/2019

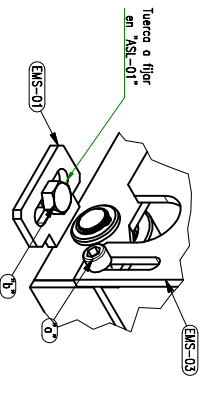
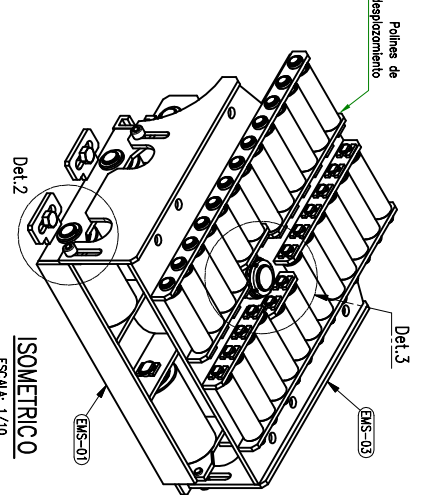
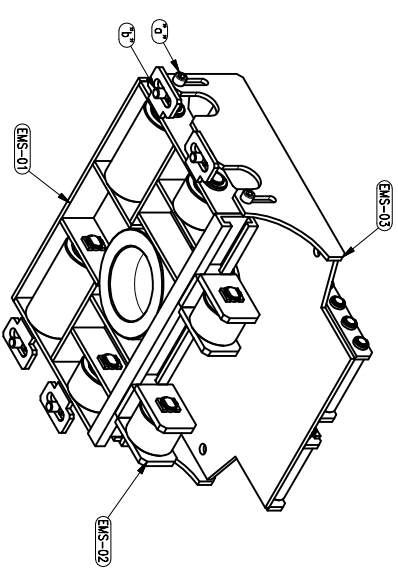
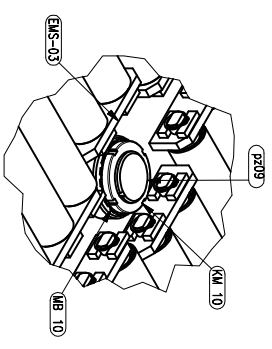
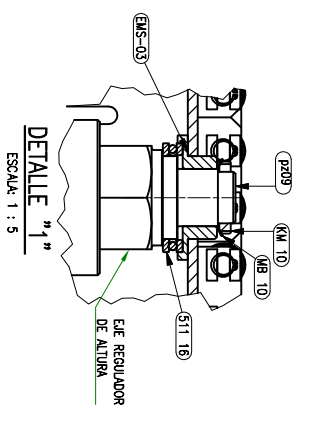
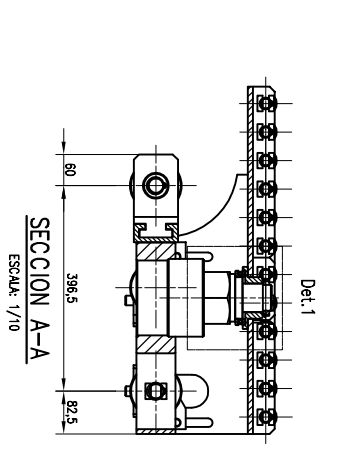
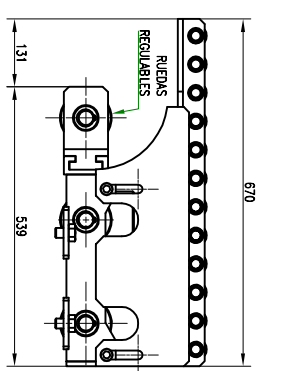
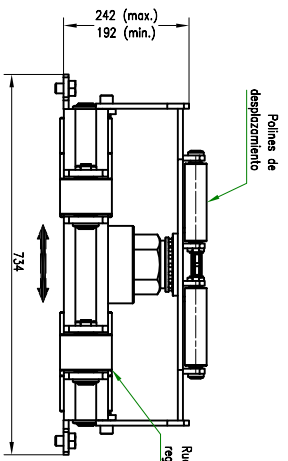
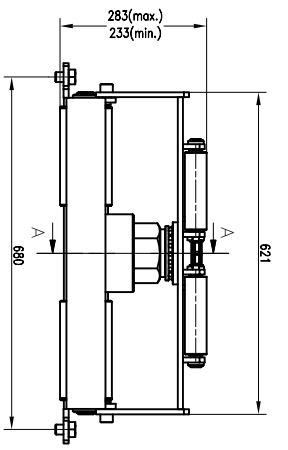
  

PROYECTO	INDICACIONES
PLANTA CONCENTRADORA	PR000-E-015-ME-01
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO	
MECANICO	
ACCESORIOS CAMBIO DE POLO C2	
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	

**OPRODISE** S.R.L.  
 Departamento de Ingeniería y Proyectos  
 TELÉFONO: (054) 35-21-15



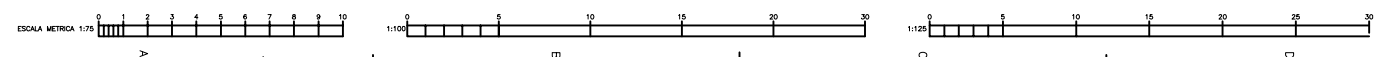




1. ESPECIFICACIONES TECNICAS:
- PERFILES LAMINADOS ASTM A 36 / A 53
  - PLANCHAS ESTRUCTURALES ASTM A-56
  - SOLDADURA CONCRETE A LA A.W.S. D:11
  - ELECTRODOS E7018
  - FILETE MINIMO ESPESOR DE PLANCHAS MAS DELGADA EXCEPTO DIDA LO CONTRARIO
  - SSPC-SP3

CONDICION	MATERIAL	CANT.
ASL-01 / CANT. 01 / LISTA PARA 01		
Carro inferior		1
Carro regulable		2
Carro superior		1
Tuerca de seguridad Ø50mm		1
Volanda de seguridad Ø50mm		1
A.36		1
Redamiento axial / Ø80 x Ø105 x 19		1
Perno hex. seqlet 05/8"x1" - UNC		4
Perno hex. 03/4"x1" - UNC		4

- NOTAS:
- 1.- Fijar el carro en la mesa "ASL-01"
  - 2.- Un indicador de nivel está en el eje de fijación del carro, retirar la fijación del perno "p209"
  - 3.- El eje "p209" requirirá la altura deseada.
  - 4.- Una vez obtenida la altura deseada con el eje regulador, se fijan los elementos "EMS-01" y "EMS-03" con el perno "S11 16"
  - 5.- Utilizar una llave de 4" para regular el eje "p209"
  - 6.- El elemento "EMS-02" se adecua según ubicación de pernos existentes del molino



REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	16/02/19	CAMBIO PARA REVISION				
B	16/02/19	CAMBIO PARA REVISION				
0	16/02/19	CAMBIO PARA REVISION				
1	22/02/19	CAMBIO PARA REVISION				

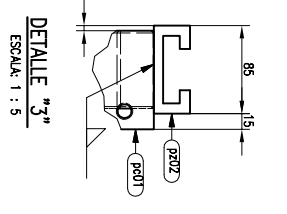
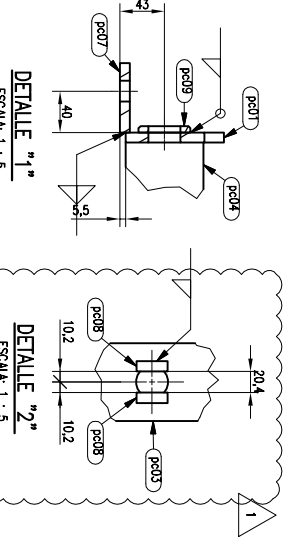
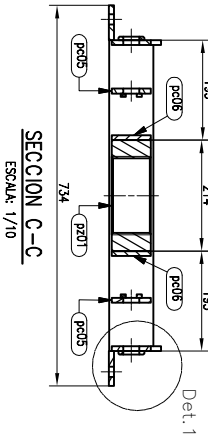
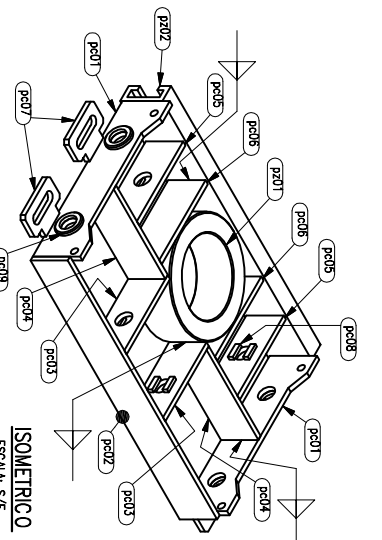
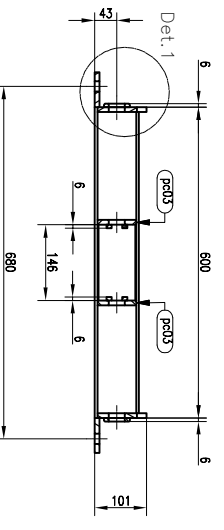
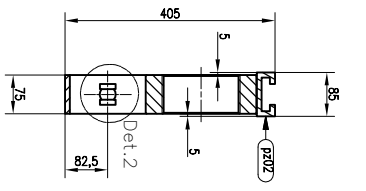
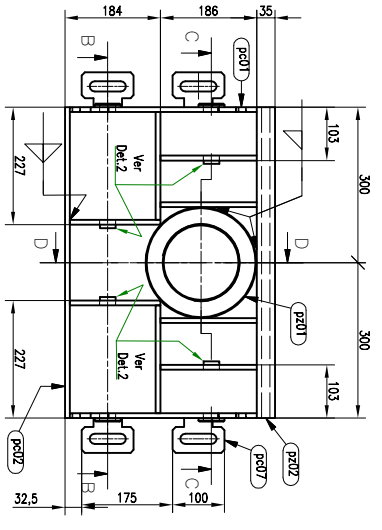
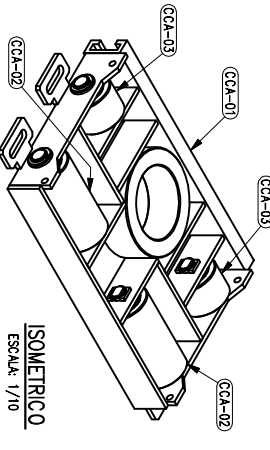
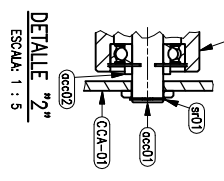
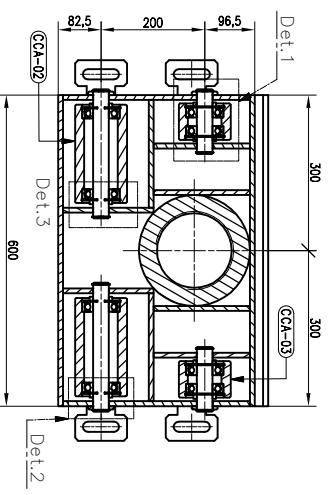
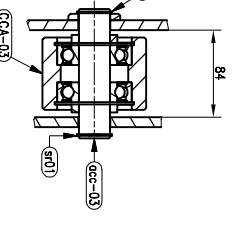
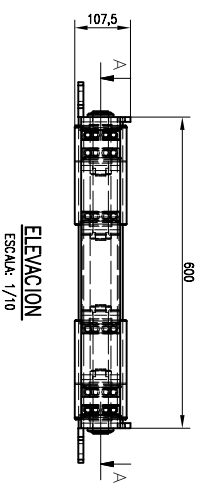
PROYECTO	FECHA
22/02/2019	22/02/2019
PROYECTO POR:	PROYECTO POR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:
REVISOR:	REVISOR:

PLANTA CONCENTRADORA  
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO

MECANICO  
CAMBIO DE POLO C2  
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES

PR000-E-015-ME-01

OPRODISE S.R.L.  
Departamento de Ingeniería y Proyectos  
TEL: (0352) 33-21-19



CCCA-01 / 01 UNID. / LISTA PARA 01	CODIGO	MATERIAL	CANT.
	p01	Pl. 3/8"-A36	2
	p02	Pl. 3/8"-A36	1
	p03	Pl. 3/8"-A36	2
	p04	Pl. 3/8"-A36	2
	p05	Pl. 3/8"-A36	2
	p06	Pl. 3/8"-A36	2
	p07	Pl. 3/8"-A36	4
	p08	Pl. 1/4"-A36	8
	p09	Pl. 1/4"-A36	4
	p201	ASTM A56	1
	p202	Pl. 35mm-A36	1

NOTA:  
-Toda las estructura es soldado.

EMIS-01 / CANT 01 / LISTA PARA 01		
CODIGO	MATERIAL	CANT.
CCA-01	BASE 1	1
CCA-02	RUEDA 1	2
CCA-03	RUEDA 2	2
gcc01	Barra Ø30mm-A 36	2
gcc-03	Barra Ø30mm-A 36	2
gcc02	POLIAMIDA	8
s01	Seeger Ext. Ø30mm	8

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISE.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	LIMBO PARA REVISION				
B	14/02/19	LIMBO PARA FABRICACION				
D	15/02/19	LIMBO PARA FABRICACION				
1	22/02/19	LIMBO PARA FABRICACION				

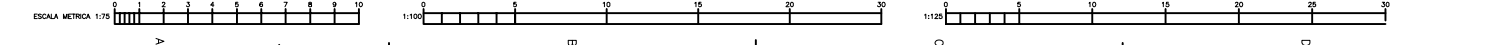
PROYECTO	INDICIOS
PLANTA CONCENTRADORA INGENIERIA Y MANTENIMIENTO	PLANTA CONCENTRADORA INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
MECANICO	MECANICO
CAMBIO DE POLO C2	CAMBIO DE POLO C2
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES
PR000-E-015-ME-02	PR000-E-015-ME-02

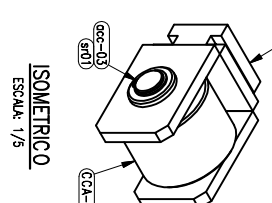
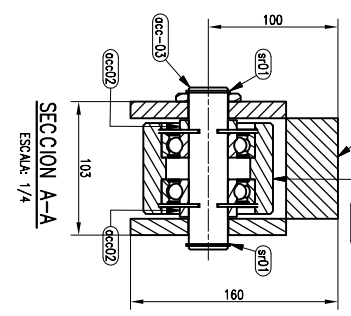
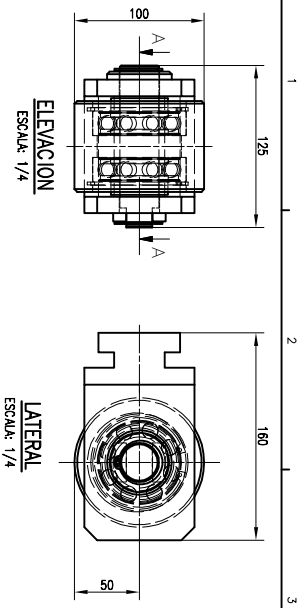
  

FECHA	TECNICO	REVISOR	REVISOR
22/02/2019			
22/02/2019			
22/02/2019			
22/02/2019			

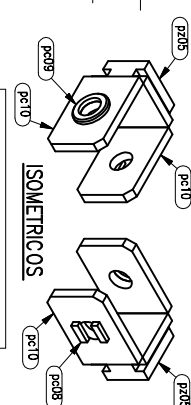
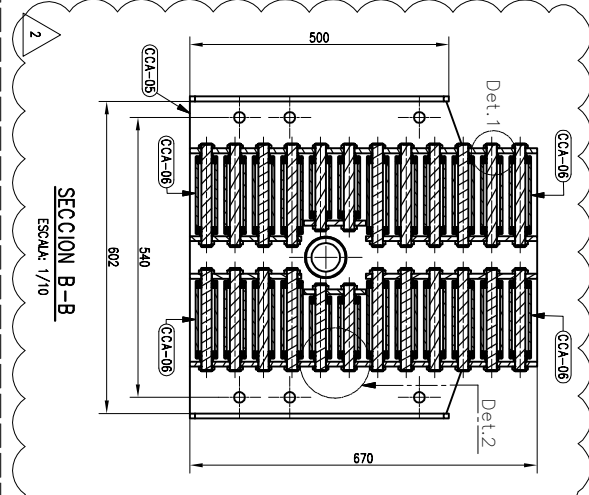
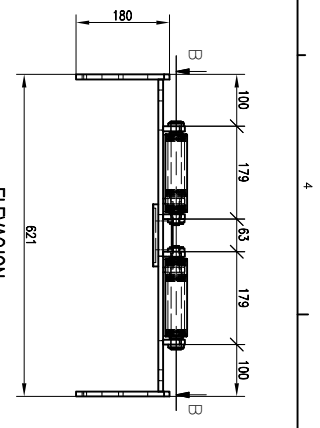
  

INDICACIONES
ESCALA
INDICACIONES

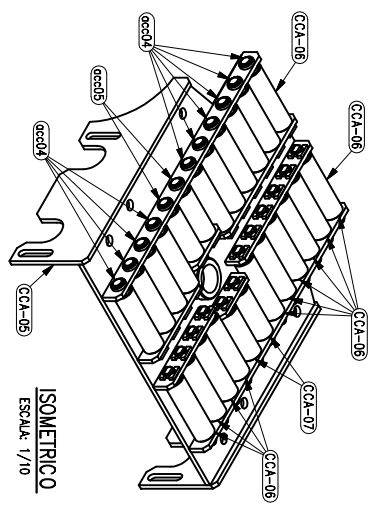
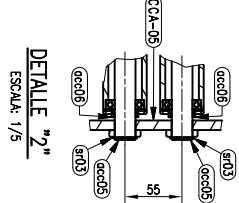
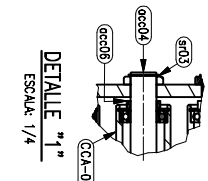
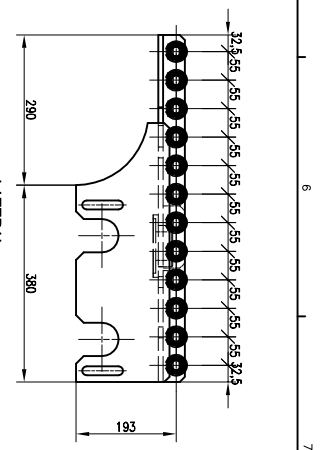




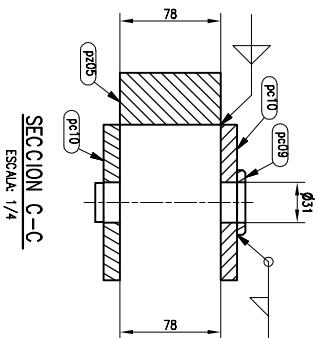
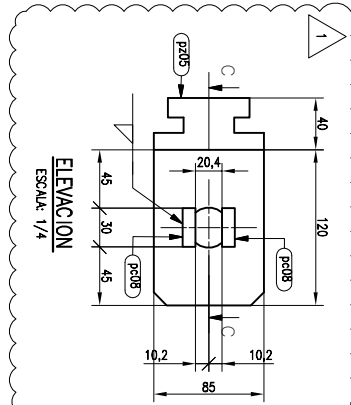
EAS-02 / 02 UNID. / LISTA PARA 1			
CODIGO	MATERIAL	CANT.	
acc02	POLIAMIDA	2	
dec-03	Barro Ø30mm-A-36	1	
CCA-03	RUEDA 2	1	
CCA-04	ESTRUCTURA	1	
srt01	Saeiger Ext. Ø30mm	2	



CCA-04 / 02 UNID. / LISTA PARA 01			
CODIGO	MATERIAL	CANT.	
pc08	Pl. 1/4" - A36	2	
pc09	Pl. 1/4" - A36	1	
pc10	Pl. 1/2" - A36	2	
pc11	A36	1	



EAS-03 / 01 UNID. / LISTA PARA 01			
CODIGO	MATERIAL	CANT.	
CCA-05	ESTRUCTURA	1	
CCA-06	RUEDA	20	
acc04	Barro Ø7/8"-A36	20	
acc05	polimido	48	
srt03	DIN 471 - 20x1.2 (Esterio)	48	
CCA-07	RUEDA	4	



REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	EMUNDO PARA REVISION				
B	14/02/19	EMUNDO PARA FABRICACION				
0	15/02/19	EMUNDO PARA FABRICACION				
1	22/02/19	EMUNDO PARA FABRICACION				
2	27/02/19	EMUNDO PARA FABRICACION				

APROBADO		REVISADO		INVENTA	
VALIDADO POR:	FECHA:	VALIDADO POR:	FECHA:	VALIDADO POR:	FECHA:
	22/02/2019		22/02/2019		22/02/2019
CHIL Y MCO	22/02/2019				

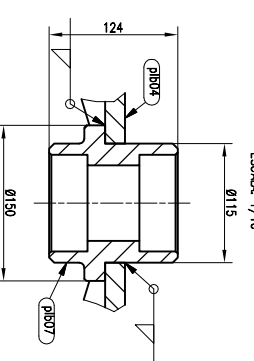
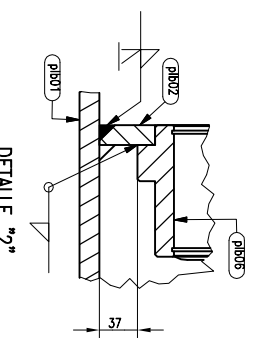
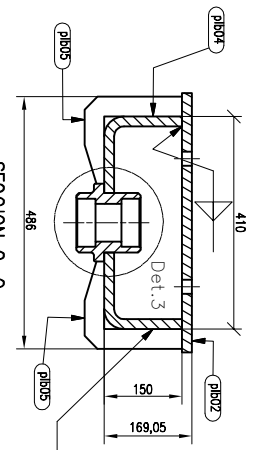
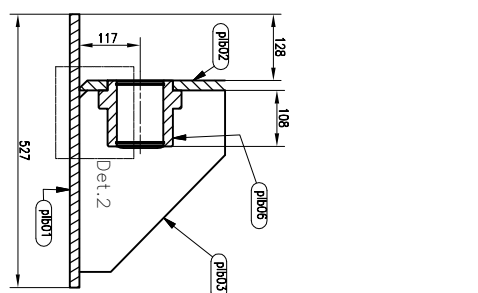
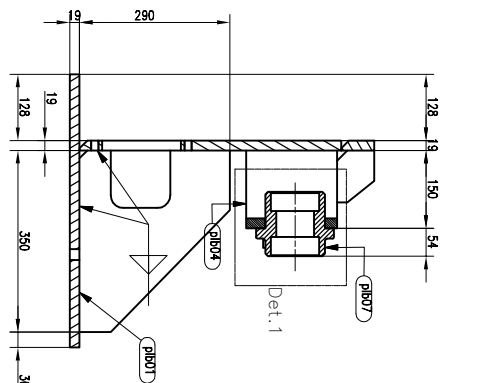
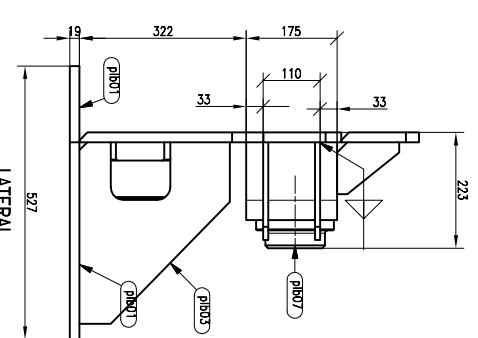
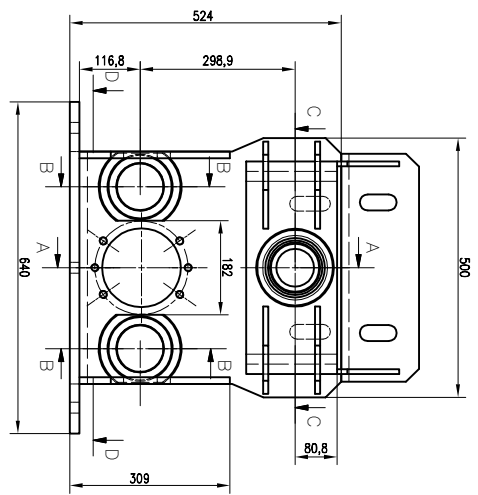
PLANTA CONCENTRADORA		MECANICO	
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO		CAMBIO DE POLO C2	
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES		PR000-E-015-ME-03	

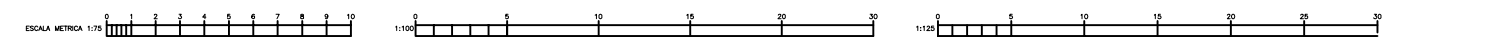
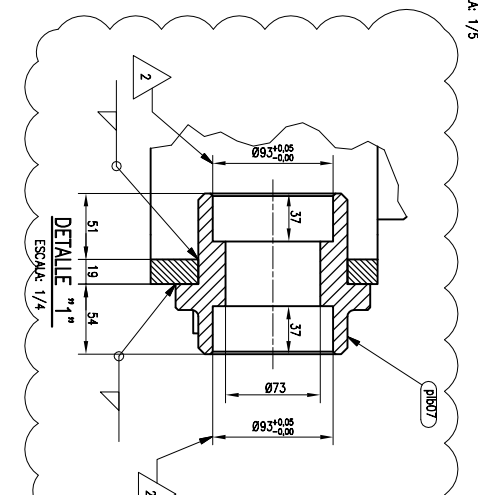
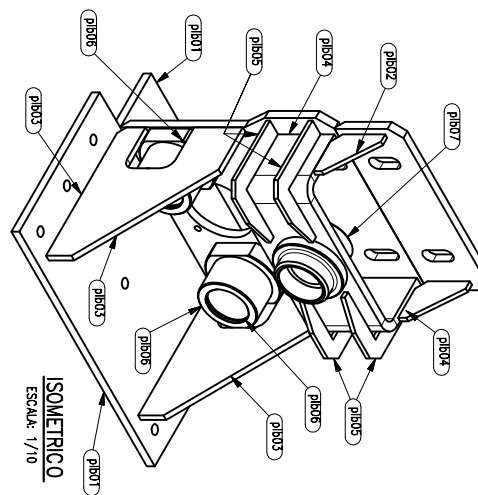
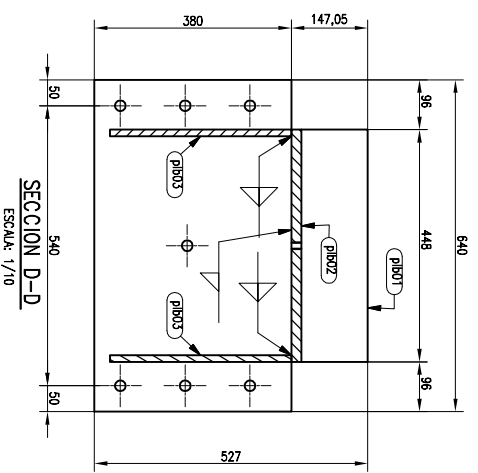
Departamento de Ingeniería y Proyectos  
 TELÉFONO: (054) 35-21-15







CODIGO	MATERIAL	CANT.
AL5-04	Sub estructura / CANT 01	
plb07	Barra de 06" A36	1
plb04	Pl. de 3/4" A36	1
plb05	Pl. de 3/8" A36	4
plb02	Pl. de 3/4" A36	1
plb06	Barra de 08" A36	2
plb01	Pl. de 3/4" A36	1
plb03	Pl. de 1/2" A36	2
NM-01	PL. 3/4" - A 36	1
NM-02	PL. 3/8" - A 36	2



REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISE.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	LIMBO PARA REVISION				
B	14/02/19	LIMBO PARA FABRICACION				
D	15/02/19	LIMBO PARA FABRICACION				
1	18/02/19	SE ACERCO MUEBROS				
2	25/07/19	SE INCREMENTA DIAMETRO				

APROBADO	FECHA	REVISADO	FECHA
	25/07/2019		
	25/07/2019		
	25/07/2019		
	25/07/2019		
	25/07/2019		
	25/07/2019		

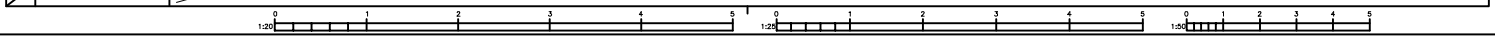
INDICIOS

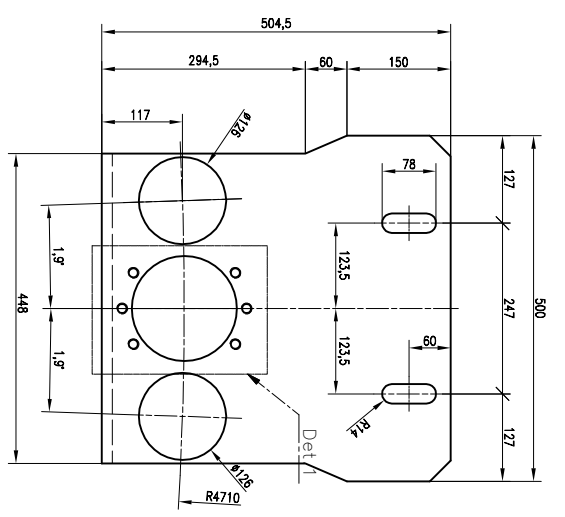
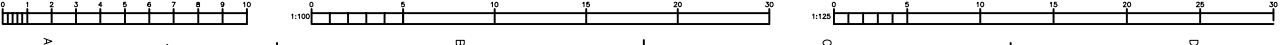
PLANTA CONCENTRADORA  
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO

MECANICO  
CAMBIO DE POLO C2  
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES

PROYECTO: PR000-E-015-ME-01

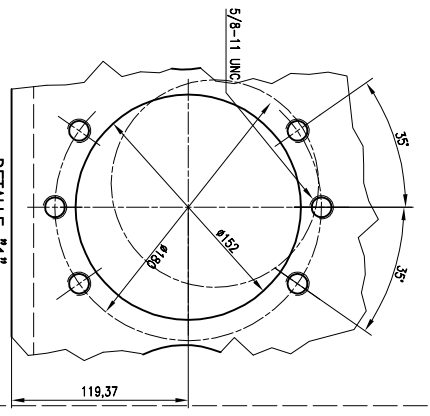
Departamento de Ingeniería y Proyecto  
TELÉFONO: (043) 35-21-19



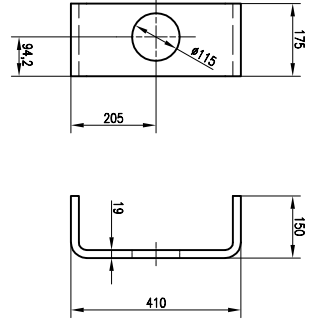


CODIGO	MATERIAL	CANT.
plb02	Pl. de 3/4" A36	1

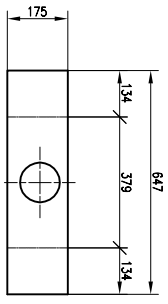
NOTA:  
-Para las perforaciones de  $\varnothing 126\text{mm}$ , priorizar la distancia entre centros y al ángulo de separación respecto a la perforación de  $\varnothing 70\text{mm}$ . (Tomar en cuenta el R4710mm).



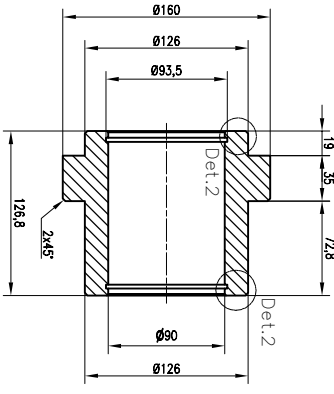
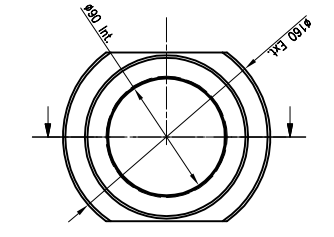
DETALLE "1"  
ESCALA: 1/3,5



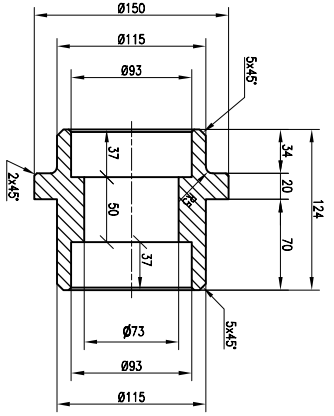
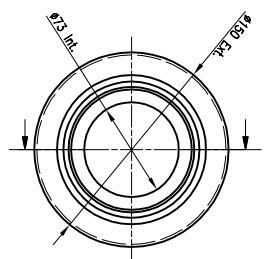
CODIGO	MATERIAL	CANT.
plb04	Pl. de 3/4" A36	1



DESARROLLO

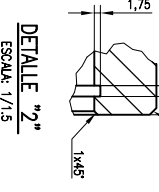


CODIGO	MATERIAL	CANT.
plb05	Barra de $\varnothing 8"$ A36	2



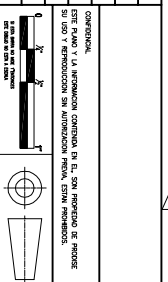
CODIGO	MATERIAL	CANT.
plb07	Barra de $\varnothing 6"$ A36	1

NOTA:  
-Los  $\varnothing 4$  rasos de  $\varnothing 1/2"$  ubicada en el  $\varnothing 75\text{mm}$ , se realizarán en simultáneo con la plaza "plb09".



DETALLE "2"  
ESCALA: 1/1,5

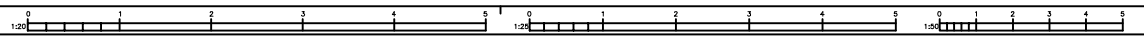
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISE.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	DIBUJO PARA REVISION				
B	14/02/19	DIBUJO PARA FABRICACION				
D	15/07/19	DIBUJO PARA FABRICACION				



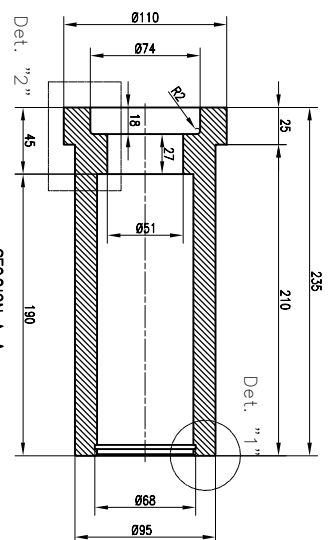
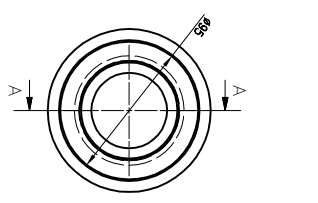
PROYECTO	FECHA
PLANTA CONCENTRADORA	25/07/2019
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO	07/07/2019
MECANICO	07/07/2019
CAMBIO DE POLO C2	25/07/2019
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	07/07/2019
PROYECTO	25/07/2019
RE. IDENTIFICACION	25/07/2019
CLIENTE	25/07/2019

INDICIOS	ESCALA	INDICACIONES
PLANTA CONCENTRADORA		
INGENIERIA Y MANTENIMIENTO		
MECANICO		
CAMBIO DE POLO C2		
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES		
PROYECTO		
RE. IDENTIFICACION		
CLIENTE		

**OPRODISE S.R.L.**  
 Departamento de Ingeniería y Proyectos  
 TELÉFONO: (043) 35-27-19

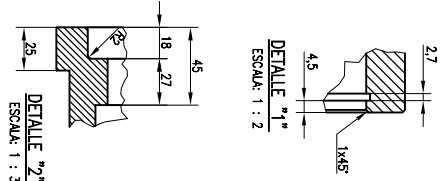




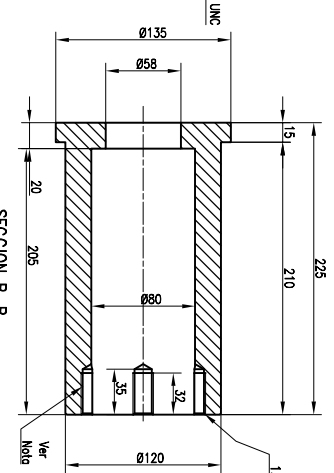
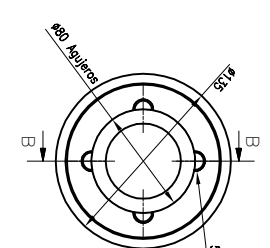


CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-01	Eje Sae-1020	1

SECCION A-A  
ESCALA: 1/3.5



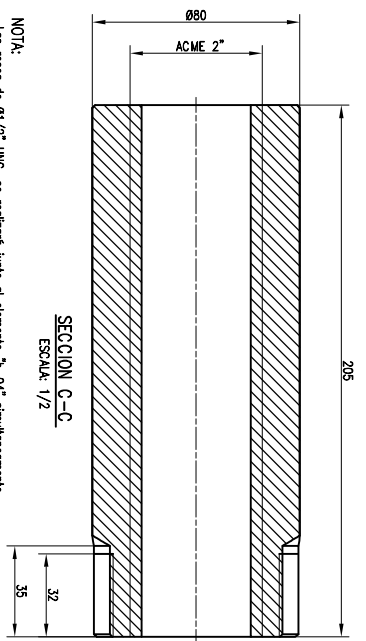
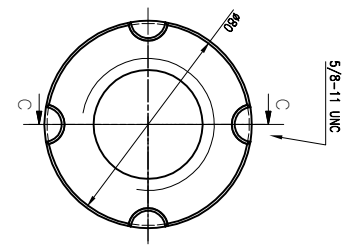
DETALLE "1"  
ESCALA: 1:2



CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-04	Eje Sae-1020	1

SECCION B-B  
ESCALA: 1/4

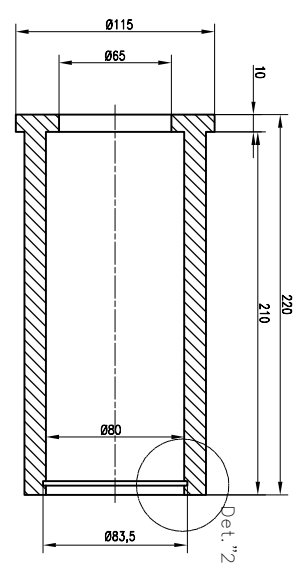
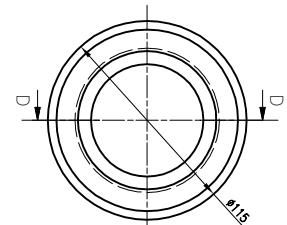
NOTA:  
-Las rosca de Ø1/2" UNC, se realizará junto al elemento "b-01" simultáneamente, cuando ambos piezas estén ensamblados.



CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-01	Bronce	1

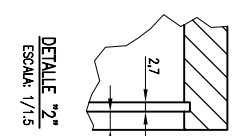
SECCION C-C  
ESCALA: 1/2

NOTA:  
-Las rosca de Ø1/2" UNC, se realizará junto al elemento "b-04" simultáneamente, cuando ambos piezas estén ensamblados.

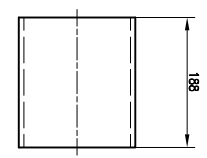
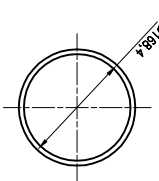


CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-02	Eje Sae-1020	2

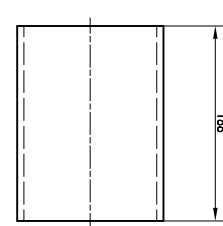
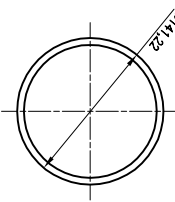
SECCION D-D  
ESCALA: 1/3



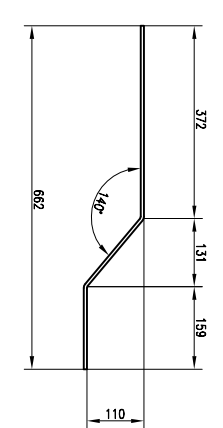
DETALLE "2"  
ESCALA: 1/1.5



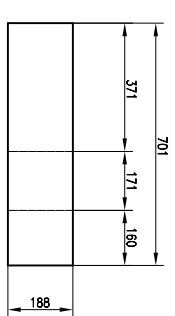
CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-01	Tubo Ø 6" Sch. 40	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
b-02	Tubo Ø 5" Sch. 40	2



CODIGO	MATERIAL	CANT.
sá-17	PL 1/4" Astm a-36	2

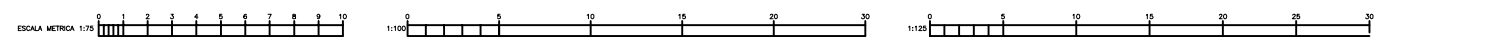


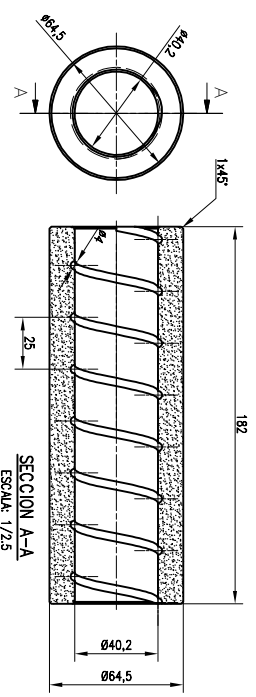
DESARROLLO

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISE.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	25/07/19	DUNDO PARA RESON. INTERNA				
B	25/07/19	DUNDO PARA RESONANCIA				

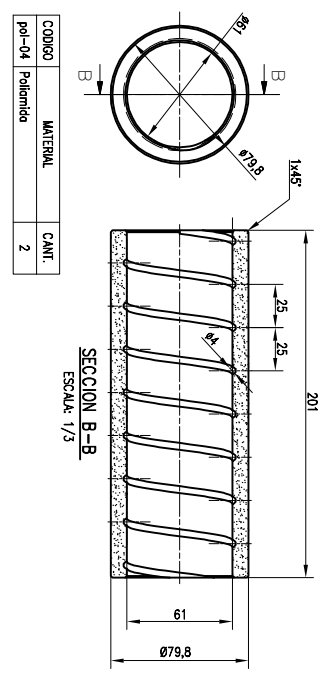
APROBADO	FECHA	INDICACIONES
	25/07/2019	PLANTA CONCENTRADORA INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
REVISADO	FECHA	INDICACIONES
	25/07/2019	MECANICO CAMBIO DE POLO C2 ASL-02-ACCESORIOS PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES
ELABORADO	FECHA	INDICACIONES
	25/07/2019	PR000-E-015-ME-03

**OPRODISE S.R.L.**  
Departamento de Ingeniería y Proyecto  
TELÉFONO (045) 35-21-19

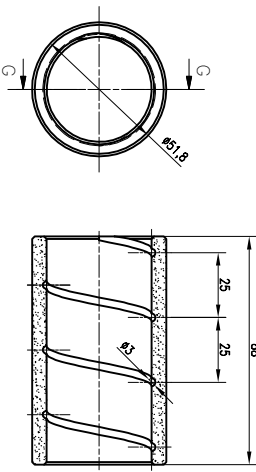




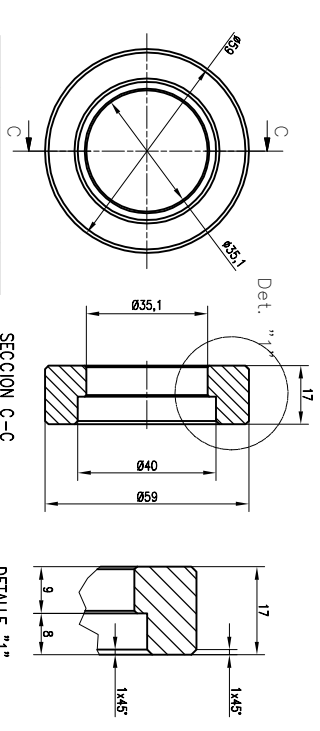
SECCION A-A  
ESCALA: 1/25



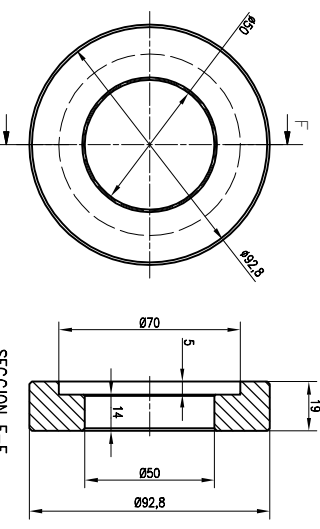
SECCION B-B  
ESCALA: 1/3



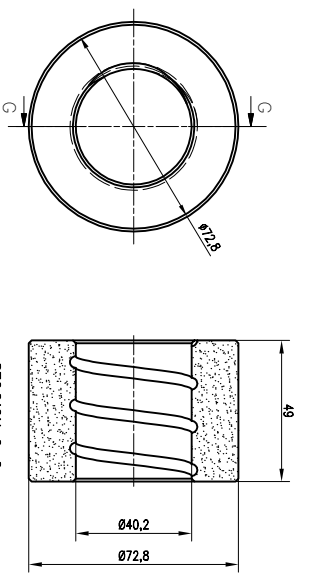
SECCION C-C  
ESCALA: 1:2



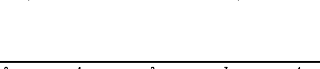
SECCION C-C  
ESCALA: 1:15



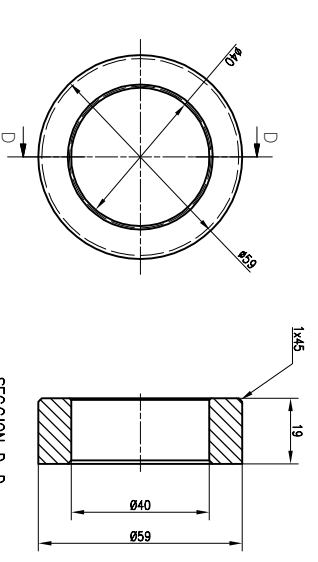
SECCION E-E  
ESCALA: 1:15



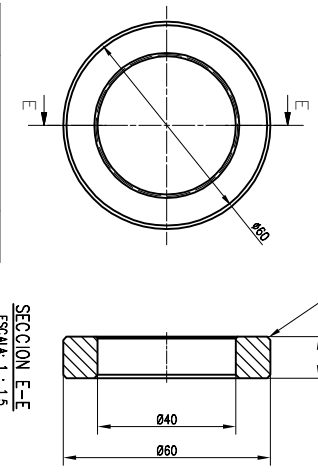
SECCION F-F  
ESCALA: 1:2



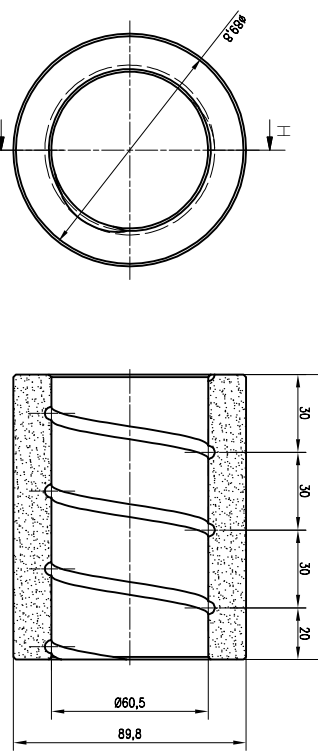
SECCION G-G  
ESCALA: 1:18



SECCION D-D  
ESCALA: 1:15



SECCION E-E  
ESCALA: 1:15



SECCION H-H  
ESCALA: 1:2

CODIGO	MATERIAL	CANT.
df-01	PL. 3/4" Asm. a-36	1

CODIGO	MATERIAL	CANT.
df-04	PL. 3/4" Asm. a-36	2

CODIGO	MATERIAL	CANT.
pol-02	Polimido	1

CODIGO	MATERIAL	CANT.
df-02	PL. 3/4" Asm. a-36	1

CODIGO	MATERIAL	CANT.
df-03	PL. 1/2" Asm. a-36	2

CODIGO	MATERIAL	CANT.
pol-05	Polimido	2

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	25/07/19	DUNDO PARA REVISION INTERNA				
B	25/07/19	DUNDO PARA REVISION INTERNA				

PROYECTO	FECHA	TECNICO
25/07/2019		

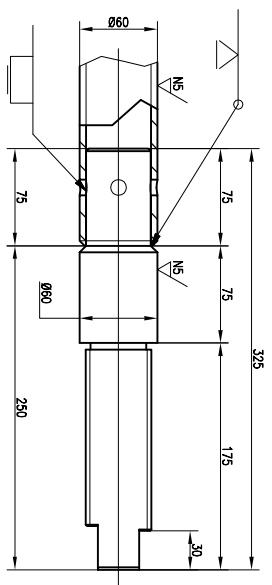
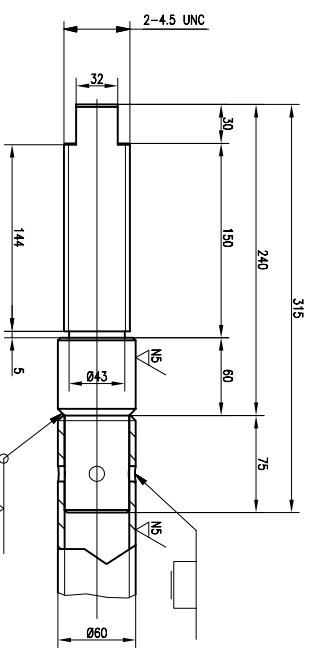
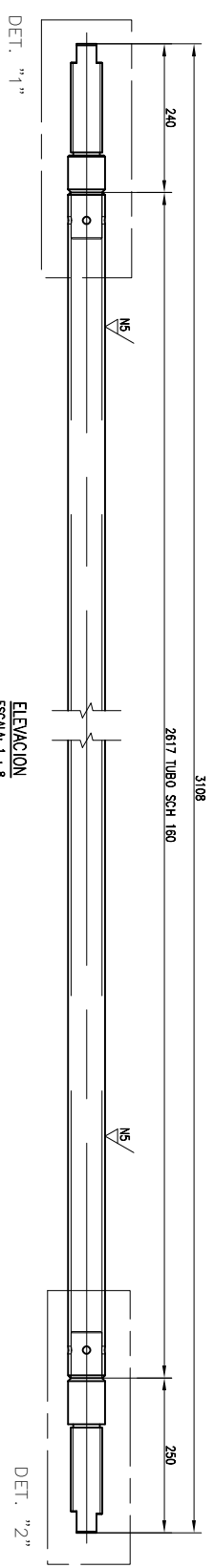
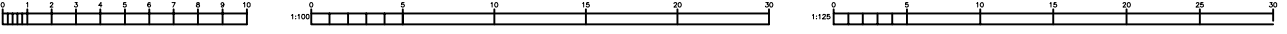
  

INDICADOS	ESCALA
PR000-E-015-ME-04	

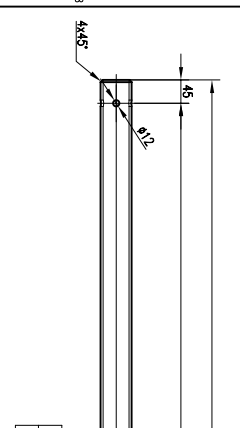
  

INDICADOS	ESCALA
PR000-E-015-ME-04	

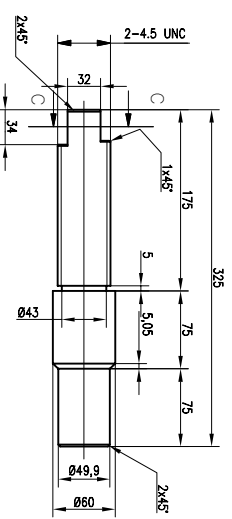




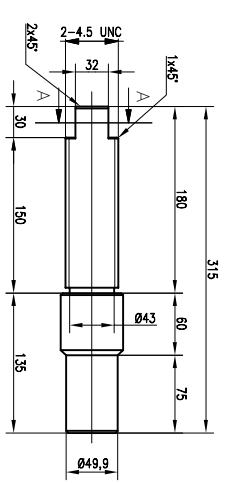
B5-03 /	CANT. 02 UNO /	LISTA PARA 1
CODIGO	MATERIAL	CANT.
8c-01	Tubo Ø 2" sch. 160	1
8c-03	Eje Ø 2" SAE-1045	1
8c-02	Eje Ø 2" SAE-1045	1



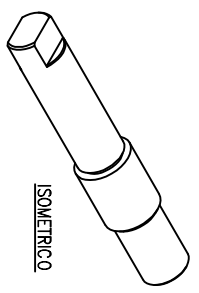
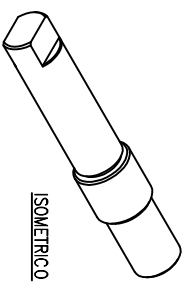
CODIGO	MATERIAL	CANT.
8c-01	Tubo Ø 2" sch. 160	2



CODIGO	MATERIAL	CANT.
8c-03	Eje Ø 2" SAE-1045	2



CODIGO	MATERIAL	CANT.
8c-02	Eje Ø 2" SAE-1045	2



CODIGO	MATERIAL	CANT.
8c-03	Eje Ø 2" SAE-1045	2

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
A	14/02/19	LIMPIO PARA REVISION				
B	14/02/19	LIMPIO PARA FABRICACION				
0	14/02/19	LIMPIO PARA FABRICACION				

APROBADO	FECHA	REVISADO POR	FECHA
	4/03/2019		
	4/03/2019		
	4/03/2019		
	4/03/2019		

INDICADOS	ESCALA	INDICADOS

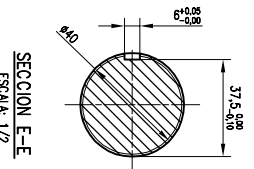
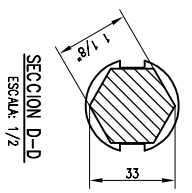
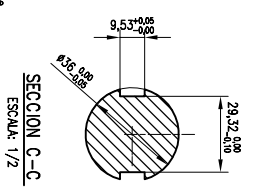
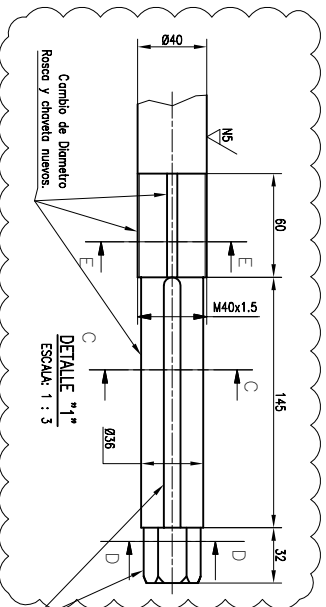
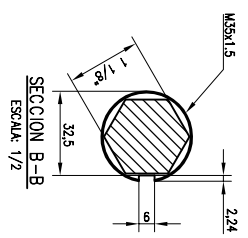
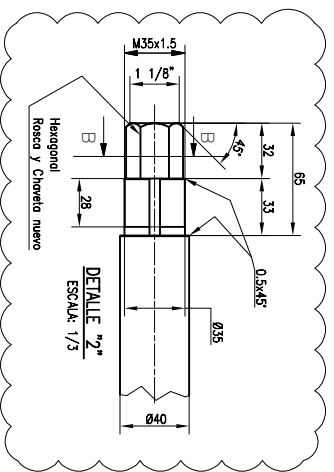
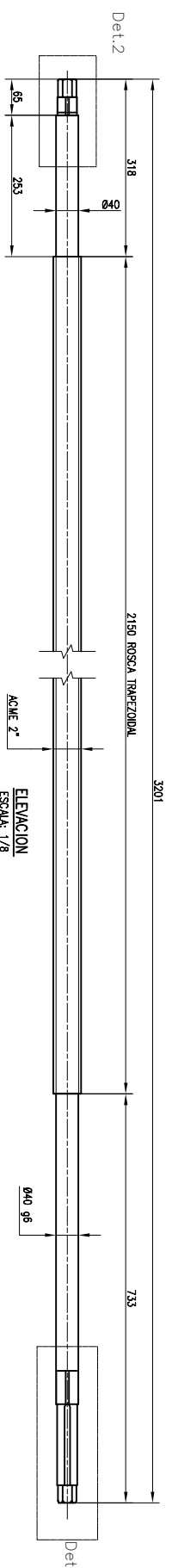
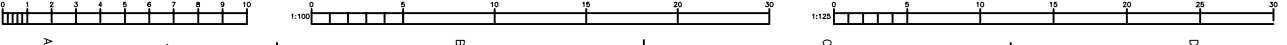
INDICADOS	ESCALA	INDICADOS

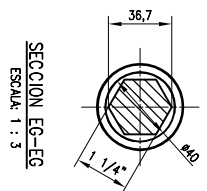
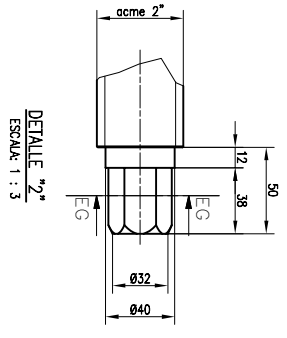
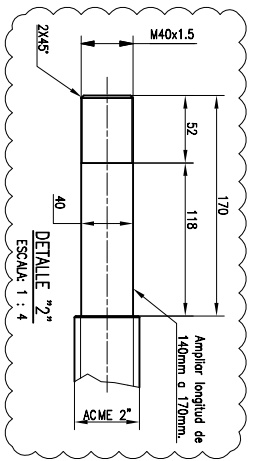
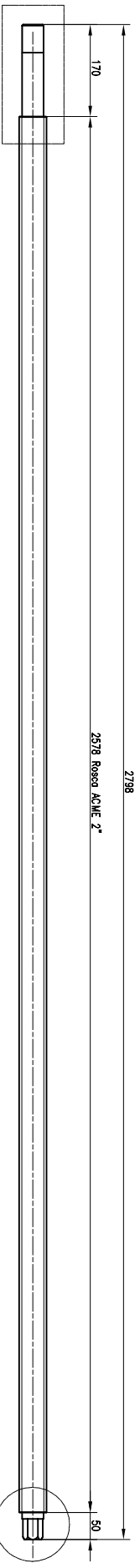
INDICADOS	ESCALA	INDICADOS



Departamento de Ingeniería y Proyectos  
TELÉFONO (0454) 35-21-19



CODIGO	MATERIAL	CANT.
BS-01	Eje Ø 2" SAE-1045	1



CODIGO	MATERIAL	CANT.
BS-02	Eje Ø 2" SAE-1045	1

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISE.	APROBADO	Nº DE PLANO	REFERENCIA DEL DIBUJO
0	14/02/19	DUNDO PARA FABRICACION				
1	16/02/19	MODIFICACION LONG. DE ROSCA				
2	23/02/19	MODIFICACION TIPO DE ROSCA				
3	28/02/19	MODIFICACION TIPO DE CHAVETA				
4	25/07/19	MODIFICACION DE ROSCA-CHAVETA				

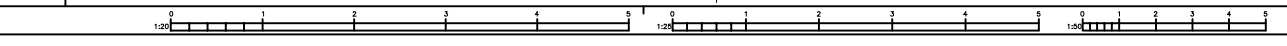
APROBADO	FECHA	REVISADO	FECHA
[Signature]	4/03/2019	[Signature]	4/03/2019

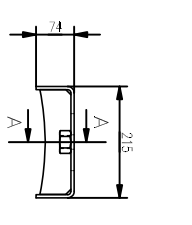
INDICIOS	INDICACIONES
PLANO	PLANTA CONCENTRADORA INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
MECANICO	MECANICO
EJES - CAMBIO DE POLO C2	EJES - CAMBIO DE POLO C2
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES
PR000-E-015-ME-02	PR000-E-015-ME-02

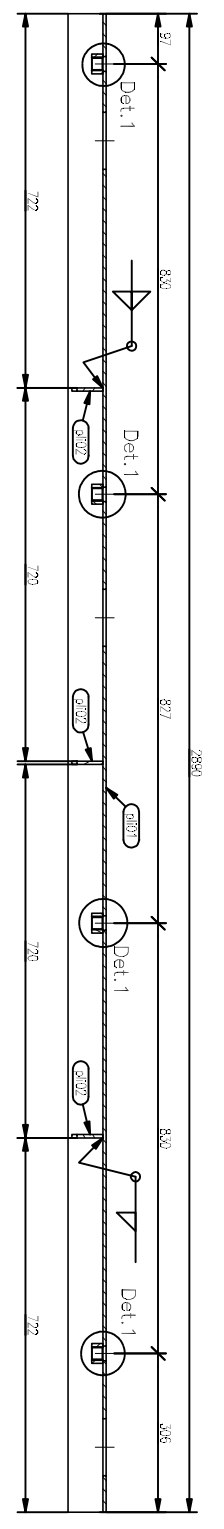
Departamento de Ingeniería y Proyectos TELÉFONO (0434) 35-21-19	





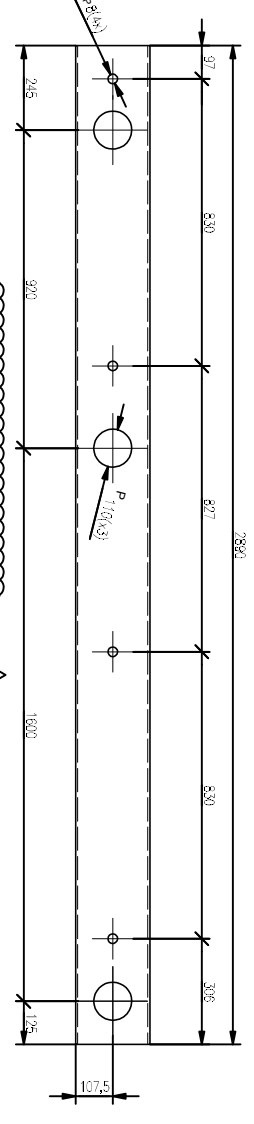


ELEVACION  
ESCALA 1/10

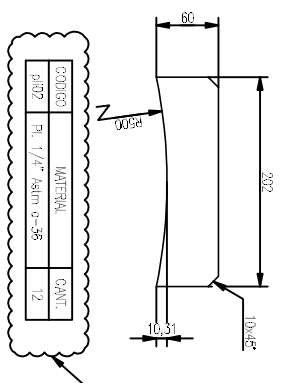


SECCION A-A  
ESCALA 1/10

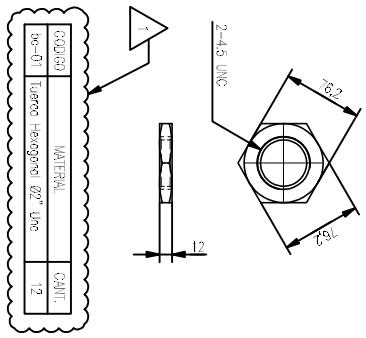
ASL-05 / CANT. 04 UNID. / LISTA PARA 1	CANT.
00000 MATERIAL	1
PI01 Pl. 1/4" Asm. 0-36	1
PI02 Pl. 1/4" Asm. 0-36	3
Tubo Hex. UNC 01"	4



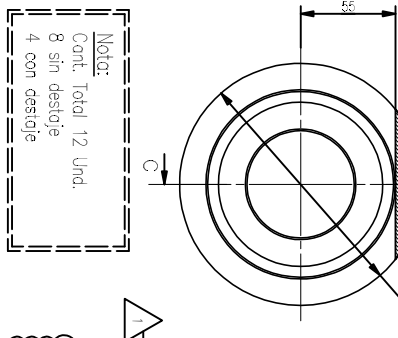
00000 MATERIAL	CANT.
PI. 1/4" Asm. 0-36	4



DETALLE "1/4"  
ESCALA 1/4



00000 MATERIAL	CANT.
Tubo Hexagono 02" Unc	12



00000 MATERIAL	CANT.
Pl. 5/8" Asm. 0-36	12

NOTA:  
Cont. Total 12 Und.  
8 sin desdote  
4 con desdote

REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	REVISADO	PROYECTO	PLANTA
1	14/02/19	QUILIBRO PARA REVISION			PLANTA CONCENTRADORA	
2	14/02/19	QUILIBRO PARA REVISION			INGENIERIA Y MANTENIMIENTO	
3	16/02/19	QUILIBRO PARA REVISION			MECANICO	
4	16/02/19	QUILIBRO PARA REVISION			CAMBIO DE POLO C2	
5	16/02/19	QUILIBRO PARA REVISION			PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	

FECHA	REVISION	DESCRIPCION
6/11/2019	1	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	2	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	3	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	4	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	5	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	6	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	7	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	8	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	9	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	10	REVISION DE PLANTA

PROYECTO	PLANTA
PLANTA CONCENTRADORA	INGENIERIA Y MANTENIMIENTO
MECANICO	CAMBIO DE POLO C2
PLANTA SECCIONES Y ELEVACIONES	

FECHA	REVISION	DESCRIPCION
6/11/2019	1	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	2	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	3	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	4	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	5	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	6	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	7	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	8	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	9	REVISION DE PLANTA
6/11/2019	10	REVISION DE PLANTA



Departamento de Ingeniería y Proyectos  
TELÉFONO: 26-27-757