

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica



**“APLICACIÓN DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ DE UNA FLOTA
DE PALAS ELECTROMECAÓNICAS MODELO CATERPILLAR 7495HR DE
CAPACIDAD 120 TON”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Viña Miranda, Carlos Enrique

Para Optar el Título Profesional De:

Ingeniero Mecánico

Asesor:

Ing. Valencia Salas, Mario Jose

AREQUIPA-PERÚ

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“APLICACIÓN DE JACK KNIFE Y ANALISIS DE
CAUSA RAIZ DE UNA FLOTA DE PALAS
ELECTROMECANICAS MODELO CATERILLAR
7495HR DE CAPACIDAD 120 TON”**

Presentado por el Bachiller:

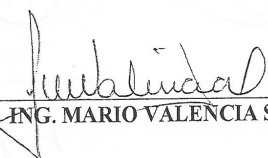
VIÑA MIRANDA CARLOS ENRIQUE

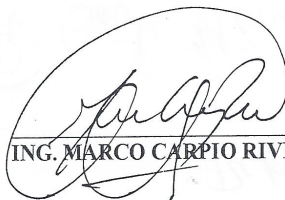
Nuestro **DICTAMEN** es:

“ APROBADO ”

OBSERVACIONES:

Arequipa, *5 Abril* 2019


ING. MARIO VALENCIA SALAS


ING. MARCO CARPIO RIVERA

“Agradezco a mi familia por el apoyo brindado
y a mi escuela por los conocimientos impartidos
para poder defenderme en el mundo profesional”

CARLOS VIÑA MIRANDA



ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEORICO	1
1. FORMULACION DEL PROBLEMA	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. TÍTULO.....	1
1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.5. CAMPO, ÁREA, LINEA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.6. ANTECEDENTES	2
1.7. OBJETIVOS.....	3
1.7.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.7.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1.8. ALCANCES	4
1.9. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.10. HIPOTESIS	5
1.11. LIMITACIONES.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2. CONCEPTOS Y EQUIPOS	6
2.1. INTRODUCCIÓN.....	6
2.2. PALAS ELECTROMECAÓNICAS	6
2.3. PRINCIPALES FABRICANTES	6
2.4. PALA ELECTROMECAÓNICA CATERPILLAR 7495HR HISTORIA	7
2.5. FICHA TÉCNICA DE PALA ELECTROMECAÓNICA CAT 7495HR	11
2.6. TAXONOMÍA DE PALA ELECTROMECAÓNICA CAT 7495HR.....	14
2.7. ESPECIFICACIONES DE PALA ELECTROMECAÓNICA CAT 7495HR.....	16
2.7.1. SISTEMA DE CHASIS Y ESTRUCTURA.....	16
2.7.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN.....	19
2.7.3. SISTEMA DE GIRO.....	20

2.7.4. SISTEMA DE IZAJE.....	22
2.7.5. SISTEMA DE EMPUJE	23
2.7.6. SISTEMA DE COMPONENTES ADJUNTOS	30
2.8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO MINERA ANTAPACCAY	32
2.9. EL MUNDO DEL MANTENIMIENTO	34
2.10. TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	36
2.10.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	37
2.10.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO O CBM	37
2.10.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	37
2.11. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	38
2.11.1. CENTRADAS EN EL ACTIVO	38
2.11.2. CENTRADAS EN LAS PERSONAS	38
2.11.3. CENTRADAS EN EL PROCESO.....	39
2.12. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	39
2.12.1. FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	40
2.12.2. FALLAS FUNCIONALES	41
2.12.3. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA.....	42
2.13. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.....	43
2.13.1. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	43
2.13.2. DIAGRAMA DE ISHIKAWA	44
2.13.3. 5 PORQUE'S	44
2.13.4. CAUSA – EFECTO	45
2.14. HERRAMIENTAS PARA EL SOPORTE DE TOMA DE DECISIONES.....	45
2.14.1. DIAGRAMA DE PARETO	45
2.14.2. DIAGRAMAS JACK – KNIFE.....	47
2.14.3. DIAGRAMA DE DISPERSION DE COSTOS.....	49
2.15. GESTIÓN DE ACTIVOS	50
2.16. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	51
2.16.1. NORMA ISO 14224:2006	51
2.17. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	52
2.17.1. NIVEL DE PROBABILIDAD DE FALLA	53

2.17.2. VALORACIÓN DEL IMPACTO Y/O CONSECUENCIA DE FALLA.....	54
2.17.3. VALORACIÓN DEL IMPACTO Y/O CONSECUENCIA DE FALLA.....	55
2.17.4. ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE CRITICIDAD.....	56
2.18. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE COMPONENTES.....	57
2.18.1. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CRITICIDAD DE LOS REPUESTOS .	59
CAPITULO III: DESARROLLO Y ANÁLISIS	61
3. ANÁLISIS DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ	61
3.1. INTRODUCCIÓN.....	61
3.2. ANÁLISIS REAL DE LOS PERIODOS 2016, 2017 Y 2018	61
3.3. ANÁLISIS DE PARETO O TOP TEN.....	65
3.4. ANÁLISIS JACK KNIFE	68
3.5. ANÁLISIS DE FALLAS DEL SISTEMA DE EMPUJE	76
3.5.1. ANÁLISIS DE FALLA DE ABRAZADERAS DEL HYDRACROWD.....	79
3.5.2. ANÁLISIS DE FALLA DE FUGAS EN EL CILINDRO HYDRACROWD	83
3.5.3. ANÁLISIS DE FALLA DE PERDIDAS DE PRESIÓN	91
3.6. ANÁLISIS DE FALLAS DE COMPONENTES ADJUNTOS	92
3.6.1. ANÁLISIS DE FALLAS DEL BARRETÓN.....	95
3.7. ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE GIRO.....	97
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	100
4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ	100
4.1. INTRODUCCION.....	100
4.2. COVERS DEL CILINDRO DE HYDRACROWD	100
4.3. FUGA EN LOS CILINDROS DE HDYRACROWD.....	104
4.4. PERDIDAS DE PRESIONES EN EL MANIFOLD.....	105
4.5. BARRETÓN - CUCHARÓN.....	108
4.6. SUPERBOLTS Y PERNOS DE LA CAJA DE GIRO	111
4.7. HOJA DE INFORMACIÓN DE FALLAS	113
4.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	115
4.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE REPUESTOS.....	115
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....	116
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116

5.1. CONCLUSIONES.....	116
5.2. RECOMENDACIONES	118
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	119
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	121
PLANOS	122



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Características de Pala Electromecánica CAT 7495HR	10
TABLA 2. Sistema de empuje hidráulico	26
TABLA 3. Intervalos de engrase	31
TABLA 4. Tiempos de trabajo para equipos según Antapaccay	32
TABLA 5. Definiciones de abreviaturas para tiempos de trabajo	32
TABLA 6. Evolución del mantenimiento	36
TABLA 7. Nivel de Probabilidad de Falla.....	54
TABLA 8. Valoración de la Consecuencia.....	55
TABLA 9. Pesos ponderados Activos en flota móvil mina	56
TABLA 10. Matriz de determinación de nivel de criticidad	56
TABLA 11. Nivel de Criticidad.....	57
TABLA 12. Tabla de Selección de factor Estrategia.....	59
TABLA 13. Tabla de Selección de factor de Frecuencia.....	59
TABLA 14. IE Impacto en el equipo padre	60
TABLA 15. Criticidad del Equipo Padre.....	60
TABLA 16. Lead Time del Repuesto	60
TABLA 17. Factor de Acondicionamiento de Equipos	60
TABLA 18. Disponibilidades reales y presupuestadas por año.....	62
TABLA 19. Tipos de Mantenimiento Flota CAT 7495HR 2016	63
TABLA 20. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2017.....	64
TABLA 21. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2018.....	65
TABLA 22. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016	70
TABLA 23. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2017	72
TABLA 24. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2018	74
TABLA 25. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016, 2017 y 2018	76
TABLA 26. Análisis de sub-sistemas del Empuje.....	77
TABLA 27. Análisis de partes del Sistema de Empuje	77
TABLA 28. Horas de parada de sub-sistemas de componentes adjuntos.....	92
TABLA 29. Horas de parada por partes de componentes adjuntos	93
TABLA 30. Horas de parada por parte del sistema de giro	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. Primera Pala Otis.....	7
FIGURA 2. Pala ferrocarril Bucyrus	8
FIGURA 3. Palas de vapor en el canal de Panamá	8
FIGURA 4. Pala Erie Steam Shovel	9
FIGURA 5. Tipos de palas Bucyrus	10
FIGURA 6. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2160.....	11
FIGURA 7. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2161	12
FIGURA 8. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2162.....	13
FIGURA 9. Taxonomía de pala electromecánica CAT 7495HR - 1	14
FIGURA 10. Taxonomía de pala electromecánica CAT 7495HR - 2	15
FIGURA 11. Vista general CAT 7495HR	16
FIGURA 12. Chasis inferior de pala CAT 7495HR	17
FIGURA 13. Bastidor de Pala CAT 7495HR	17
FIGURA 14. Soporte de bastidor.....	18
FIGURA 15. Plataforma de giro	18
FIGURA 16. Sistema de propulsión	19
FIGURA 17. Transmisión de propulsión	20
FIGURA 18. Sistema de giro	21
FIGURA 19. Transmisión de propulsión	21
FIGURA 20. Sistema de izaje.....	22
FIGURA 21. Transmisión de levante.....	22
FIGURA 22. Sistema de cables	23
FIGURA 23. Transmisión de levante.....	24
FIGURA 24. Sistema de empuje hidráulico	25
FIGURA 25. Múltiple de control del cilindro.....	27
FIGURA 26. Sistema de filtrado de aceite.....	27
FIGURA 27. Acumuladores de presión	29
FIGURA 28. Enfriadores de aceite	29
FIGURA 29. Sistema de lubricación	31

FIGURA 30. Esquema de Árbol de Fallos.....	43
FIGURA 31. Diagrama de Ishikawa.....	44
FIGURA 32. Metodología de los 5 Porque's.....	44
FIGURA 33. Gráfico de Pareto subdividido en áreas.....	46
FIGURA 34. Diagrama de Pareto.....	47
FIGURA 35. Clasificación de fallas según Jack-Knife.....	48
FIGURA 36. Ejemplo de diagrama Jack-Knife.....	49
FIGURA 37. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2016.....	62
FIGURA 38. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2017.....	63
FIGURA 39. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2018.....	64
FIGURA 40. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2016.....	66
FIGURA 41. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2017.....	67
FIGURA 42. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2018.....	67
FIGURA 43. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016.....	69
FIGURA 44. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2017.....	71
FIGURA 45. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2018.....	73
FIGURA 46. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016, 2017 y 2018.....	75
FIGURA 47. Conjunto de cilindro del Sistema de Empuje.....	79
FIGURA 48. Árbol de Fallas de abrazadera del cover.....	80
FIGURA 49. Abrazadera recuperada después de falla en pala 2160.....	81
FIGURA 50. Desgaste abrasivo en cover en pala 2160.....	81
FIGURA 51. Zona de contacto entre cover y goma pala 2160.....	81
FIGURA 52. Inspección de goma y soldadura de abrazadera de pala 2160.....	82
FIGURA 53. Soldadura y desplazamiento de goma de pala 2160.....	82
FIGURA 54. Evidencias de falla pala 2160.....	82
FIGURA 55. Covers dañados y evidencia de rozamiento pala 2160.....	83
FIGURA 56. Árbol de Fallas de fugas de aceite en Hydracrowd.....	83
FIGURA 57. Desprendimiento de material cromado en vástago pala 2162.....	84
FIGURA 58. Rayaduras longitudinales del cromado pala 2162.....	84
FIGURA 59. Rayaduras longitudinales del cromado pala 2162.....	84
FIGURA 60. Sellos del cilindro desgastados pala 2162.....	85

FIGURA 61. Punto de referencia pala 2162	85
FIGURA 62. Vástago con defectos pala 2162	85
FIGURA 63. Rayadura longitudinal pala 2162.....	86
FIGURA 64. Hendiduras de pala 2162	86
FIGURA 65. Rayaduras agrupadas pala 2162	87
FIGURA 66. Rayaduras circunferenciales pala 2162	87
FIGURA 67. Punto de referencia pala 2162	88
FIGURA 68. Sellos del vástago	88
FIGURA 69. Contenido de fierro y cromo antes del montaje en la pala 2162	89
FIGURA 70. Contenido de fierro y cromo después del montaje pala 2162	90
FIGURA 71. Árbol de fallas de pérdidas de presión del manifold en Flota CAT 7495HR	91
FIGURA 72. Acumulador de diafragma	92
FIGURA 73. Árbol de fallas del barretón CAT 7495HR	95
FIGURA 74. Barretón fracturado y zona fatigada pala 2162	96
FIGURA 75. Fisura inicial, zonas de fatiga y marcas de trinquete #2 pala 2162	96
FIGURA 76. Zonas de fatiga con oxido y fractura final frágil pala 2162	96
FIGURA 77. Superbolts de la caja del sistema de giro 2162.....	97
FIGURA 78. Pernos de anclaje superiores de la caja de giro	98
FIGURA 79. Ultrasonido a pernos de anclaje superiores pala 2162	98
FIGURA 80. Ultrasonido a pernos de espárragos pala 2162	99
FIGURA 81. Medición de distancias para abrazaderas cilindro Hydracrowd.....	100
FIGURA 82. Montaje de manguera y abrazaderas cilindro Hydracrowd.....	101
FIGURA 83. Instalación de mangueras cilindro Hydracrowd.....	101
FIGURA 84. Posicionamiento final de abrazadera intermedia cilindro Hydracrowd	102
FIGURA 85. Posicionamiento final de abrazadera cilindro Hydracrowd	102
FIGURA 86. Ilustración final de componente cilindro Hydracrowd.....	102
FIGURA 87. Componente afectado	103
FIGURA 88. Abrazaderas instaladas en cilindro de Hydracrowd	103
FIGURA 89. Análisis de aceite de fierro en cilindro Hydracrowd.....	104
FIGURA 90. Análisis de aceite de cromo.....	105
FIGURA 91. Descarga de las líneas de acumuladores rec y crgv CAT 7495HR	106

FIGURA 92. Vista superior de los cilindros colectores CAT 7495HR	106
FIGURA 93. Retiro y desecho del conjunto de manguera.....	107
FIGURA 94. Instalación de nuevo acumulador	107
FIGURA 95. Guiadores superiores no encajan pala CAT 7495HR.....	109
FIGURA 96. Instalación incorrecta de guiadores de barretón en pala CAT 7495HR.....	109
FIGURA 97. Instalación incorrecta de guiadores inferiores.....	110
FIGURA 98. Tolerancias componentes y desgaste pala CAT 7495HR	111



GLOSARIO DE SIGLAS

ACR:	Análisis Causa Raíz.
ANSI:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
CAT:	Abreviatura de empresa Caterpillar Inc.
CMRP:	Certificación de profesionales de mantenimiento y confiabilidad
ISO:	Organización Internacional de Normalización.
KPI:	Indicadores clave de desempeño.
MTBF:	Tiempo medio entre fallas
MTTR:	Tiempo medio para reparar
PCR:	Frecuencia de reemplazo de componentes
PDT:	Power Drive Train (Mando Tren de Poder)
PMO:	Optimización del Mantenimiento Preventivo.
PTO:	Power Take – Off, Mando de transferencia de fuerza
MCC:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
GET:	Repuestos consumibles que están en el cucharón.

RESUMEN

Las palas electromecánicas son equipos utilizados en la gran minería para el carguío de material, estos equipos están en auge en el Perú desde el año 2010 debido a que tienen una capacidad de carguío del doble o triple mayor a los cargadores de ruedas, con una velocidad de ciclos similar, pero con una velocidad de traslado menor por ser equipos robustos.

En la Compañía Minera Antapaccay se tienen tres palas electromecánicas de la marca Caterpillar modelo 7495HR que son considerados equipos altamente críticos ya que inician el envío de material a concentradora por lo cual se necesita tener una alta disponibilidad y confiabilidad, desde el año 2016 a octubre del 2018 se obtuvo un aproximado de 50% de mantenimientos correctivos lo que da un alto riesgo de no poder cumplir con los objetivos de disponibilidades anuales, por lo cual en la presente tesis de análisis se está aplicando las herramientas de: Jack Knife y Causa Raíz con la finalidad de identificar las fallas que tienen un mayor impacto en la disponibilidad y confiabilidad.

Con el análisis realizado se identificaron 3 componentes los cuales están causando una pérdida de 1.9% en la disponibilidad de la flota anualmente, los cuales son por falta de inspecciones, mantenimiento y repuestos, para lo cual se están realizando estrategias de mantenimiento los cuales prevengan y mitiguen los eventos.

Con la aplicación de las estrategias de mantenimiento se desea aumentar la disponibilidad en 1% estableciendo a la vez planes de análisis anualmente para continuar con la metodología de mejora continua.

Palabras clave: Análisis Causa Raíz, Análisis de Jack Knife

ABSTRACT

The electromechanical shovels are equipment used in the large mining for the loading of material, these equipment are booming in Peru since 2010 because they have a double or triple load capacity greater than wheel loaders, with a speed of similar cycles, but with a lower transfer speed because they are robust equipment.

In the Antapaccay Mining Company there are three electromechanical shovels of the Caterpillar brand model 7495HR that are considered highly critical equipment since they start sending material to the concentrator, which requires high availability and reliability, from 2016 to October 2018, an approximate 50% of corrective maintenance was obtained, which gives a high risk of not being able to meet the annual availability targets, so in this thesis the following tools are being applied: Jack Knife and Cause Root the purpose of identifying faults that have a greater impact on availability and reliability.

With the analysis carried out, 3 components were identified which are causing a loss of 1.9% in the availability of the fleet annually, which are due to lack of inspections, maintenance and spare parts, for which maintenance strategies are being carried out which prevent and mitigate the events. With the application of maintenance strategies, it is desired to increase availability by 1% while establishing annual analysis plans to continue with the methodology of continuous improvement.

Keywords: Root Cause Analysis, Jack Knife Analysis

INTRODUCCIÓN

Las palas de carguío de mineral en el rubro minero conllevan una gran importancia para el desarrollo de la producción de las minas, ya que éstas están consideradas como el inicio de la línea de producción de entrega de material a concentradora, siendo necesario tener una gestión del mantenimiento adecuada para lograr una alta disponibilidad y confiabilidad. A nivel de Perú contamos con trece palas electromecánicas Caterpillar 7495HR de las cuales en Antapaccay se cuentan con tres, cada pala mueve una cantidad de 120,000 toneladas de tierra a diario, las cuales son enviadas a concentradora. Actualmente se tienen buenas disponibilidades de estos equipos teniendo un promedio de 89%, queriendo mejorar esto es que se va analizar los mantenimientos correctivos ya que este representa un 50% de la gestión de mantenimiento.

En el Capítulo I: Planteamiento Teórico, se realizará una descripción del problema planteado en la pala electromecánica de la marca Caterpillar modelo 7495HR enfocándonos a su parte mecánica.

En el Capítulo II: Marco Teórico, se explicarán sus orígenes, sistemas, subsistemas y componentes, así como también las herramientas de Análisis Jack Knife y Análisis de Causa Raíz.

En el Capítulo III: Desarrollo y Análisis de Jack Knife y Causa Raíz, se realizará el análisis de la data de fallas histórica utilizando las herramientas de Análisis Jack Knife, Diagramas de Pareto y finalmente el Análisis de Causa Raíz a través de los árboles de falla para poder discernir y separar las fallas que impactan más sobre la disponibilidad tanto en frecuencia como en tiempo de reparación.

En el Capítulo IV: Resultados de Análisis de Jack Knife y Causa Raíz, se exponen las soluciones a las fallas planteadas en el Capítulo III utilizando principalmente el reclamo de garantías y técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo.

Finalmente, en el Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones se aprecian las observaciones y recomendaciones alcanzadas durante el desarrollo de la tesis.



CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEORICO

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presentará la identificación y la descripción principal del problema en las palas electromecánicas, seguidamente se presentarán algunos trabajos precedentes que sirvieron de guía y apoyo en la elaboración de la tesis, se definen los objetivos generales y específicos, el alcance, la justificación y las hipótesis tomadas durante el desarrollo de la tesis.

1.2. TÍTULO

“APLICACIÓN DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DE UNA FLOTA DE PALAS ELECTROMECAÑICAS MODELO CATERPILLAR 7495HR CON CAPACIDAD DE 120 TON”.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la minería es la actividad económica más importante de la región, las estrategias empleadas en el mantenimiento de sus equipos se encuentran en constante desarrollo y evolución, sin embargo, no dejan de obedecer a criterios concretos que facilitan la gestión y toma decisiones en la mejora enfocada de la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de sus principales activos. Uno de los activos más representativos y estudiados son las palas de electromecánicas.

Estas disponibilidades son obtenidas en consenso con el requerimiento brindado por planta concentradora, a pesar que se demuestra el cumplimiento de las disponibilidades demandadas, normalmente el requerimiento suele ser mucho mayor al proyectado debido a factores como los

trabajos imprevistos o el retraso de los mantenimientos programados que dañan los componentes del equipo y pueden ocasionar paradas mayores. Al analizar el detalle de las tareas ejecutadas puede verse que la presencia de trabajos programados representa un 44% en el año 2016 y 60% en el año 2017, muy por debajo de las mejores prácticas con un estándar del 70%.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

No se logra corregir la problemática de fallas presentadas en la flota de palas y tampoco se cuenta con información que permita realizar adecuadamente un análisis, debido a que actualmente no se tiene mucha información acerca de estos equipos en base a sus fallas, se debe recurrir al soporte Técnico de la empresa CATERPILLAR, la cual es la actual proveedora de estos equipos, a la vez se recurrió a la minera ESCONDIDA de Chile la cual cuenta con 4 Palas Electromecánicas CATERPILLAR 7495HR, en la que nos dimos cuenta que llevan el mismo problema con sus equipos, teniendo una disponibilidad promedio de su flota de¹ 85.63% siendo más baja que la disponibilidad presentada en la flota a analizar.

1.5. CAMPO, ÁREA, LÍNEA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

- CAMPO : Ingeniería
- ÁREA : Ingeniería Mecánica
- LÍNEA : Confiabilidad

1.6. ANTECEDENTES

En el desarrollo de esta tesis, en la cual se realizará mejoras de gestión en el mantenimiento preventivo de Palas Electromecánicas CATERPILLAR 7495HR, se encontraron los siguientes antecedentes:

A. AMBITO NACIONAL

No se encontró referencias.

B. AMBITO INTERNACIONAL

Se encontró un trabajo de investigación presentado a la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de Ingeniería Eléctrica con el nombre de:² “PROYECTO EN MONITOREO DE CONDICIONES PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PALAS ELECTROMECAÑICAS” para optar por el título profesional de Ingeniero Civil Electricista por Marcel Alberto Riquelme Hernández, el cual consta de análisis vibracional, monitoreo de temperatura, análisis de aceite a los sistemas de levante, empuje, giro y propulsión.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis de Jack Knife a una flota de palas electromecánicas modelo Caterpillar 7495HRcon capacidad de 120 TON.
- Análisis de Causa Raíz a una flota de palas electromecánicas modelo Caterpillar 7495HRcon capacidad de 120 TON.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el Análisis de Pareto a la flota de palas electromecánicas modelo Caterpillar 7495HR.
- Aumentar el porcentaje del mantenimiento programado en 10% y disponibilidad en 1 % de la flota de palas electromecánicas modelo Caterpillar 7495HR.

1.8. ALCANCES

- La siguiente tesis contempla la recopilación de data histórica desde el año 2016, la cual se obtiene del programa DISPATCH, para luego procesar y obtener cuadros de fallas en base al impacto que ocasionan en la disponibilidad; conjuntamente con la Norma ISO 14224:2006 se obtendrán las principales fallas y se realizara el ACR buscando dar soluciones técnicas a estos problemas.
- El respaldo del uso de herramientas de análisis de fallas será en base a: ENCare³, AENOR, UNE-EN 15341:2008, CMRP-ANSI.

1.9. JUSTIFICACIÓN

Las tres Palas Electromecánicas CAT7495HR con las que cuenta Compañía Minera Antapaccay se encuentran dentro de los límites de disponibilidad requeridos sin embargo los porcentajes de preventivo ejecutado son bajos, lo cual se ve reflejado en la data histórica que muestra un 44% en el año 2016 y 60% en el año 2017, lo que nos da un indicio de que estamos esperando la rotura o falla del componente para recién actuar. Por lo cual se ve por conveniente intervenir en estos sucesos con análisis de datas históricas, análisis de tendencias y aplicación estrategias de mantenimiento para poder minimizar los eventos que son frecuentes.

Este análisis no solo es aplicable a las Palas Electromecánicas CATERPILLAR 7495HR ya que las acciones tomadas no solo se apoyan en data histórica y estrategias de mantenimiento, sino también en herramientas de toma de decisión como el análisis de Pareto, diagramas Jack Knife y la aplicación de criterios básicos de la gestión de activos, por lo tanto, la aplicación de esta tesis servirá como guía para otros modelos de mejora no solo en palas mecánicas, sino también

de otros equipos cuyo requerimiento previo sea el contar con una data histórica limpia y completa.

1.10. HIPOTESIS

DADO: Que el ACR es una metodología, diseñada para identificar, investigar, modificar y eliminar las fallas más significativas y recurrentes, a fin de evitar que las mismas se repitan. Se puede aplicar esta metodología y clasificar los resultados en base al Análisis de Jack Knife midiendo su impacto en la disponibilidad, MTTR y número de paradas correctivas.

ES PROBABLE: “Brindar soluciones que sean viables y rentables para el equipo y a la vez plantear un mejor plan de mantenimiento para reducir el 70% de tiempos por paradas correctivas”.

1.11. LIMITACIONES

La principal limitación es la falta de información relacionada a estos equipos, ya que se tienen pocos en el Perú y los proveedores brindan información solo a empresas interesadas.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. CONCEPTOS Y EQUIPOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo están los conceptos que se necesitan conocer para el desarrollo de esta tesis, están contenidos desde la historia de las Palas Electromecánicas, pasando por tipos, partes, sistemas y marcas más reconocidas a nivel mundial, así como sus programas de mantenimiento, KPI's con los cuales se manejan las Palas Electromecánicas a nivel mundial y una descripción de las estrategias, herramientas y metodologías de mantenimiento existentes como: Análisis Jack Knife, Análisis de Pareto y Análisis Causa Raíz para posteriormente en el Capítulo III realizar sus aplicaciones.

2.2. PALAS ELECTROMECAÑICAS

La Pala Electromecánica, también denominada pala de extracción, pala eléctrica o pala de cables, es un tipo de excavadora frontal eléctrica autopropulsada utilizada para cavar y cargar tierra y roca fragmentada durante el proceso de extracción de minerales, se desplaza sobre orugas o ruedas y usa cables o sistemas hidráulicos para para accionar el desplazamiento del cucharón.

2.3. PRINCIPALES FABRICANTES

Según datos obtenidos de Parker Bay una compañía especializada en proporcionar investigación de mercado, planificación de negocios y trabajos de consultoría para compañías de la industria minera, movimiento de tierras y equipos de capital, nos muestra la población mundial de palas eléctricas. Las capacidades de carga útil van en promedio de 20tm en más de

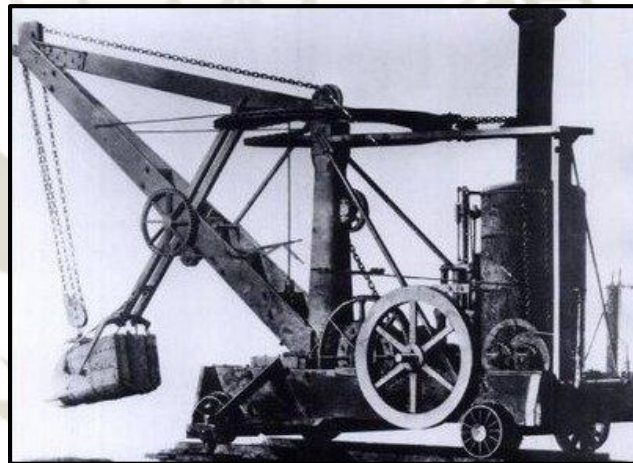
1850 unidades de las 2700 tomadas en total de la base de datos del estudio. Los principales fabricantes de son: Bucyrus /Caterpillar, Joy Global / P&H, OMZ y Taiyuan.

2.4. PALA ELECTROMECÁNICA CATERPILLAR 7495HR HISTORIA

Es una maquina equipada con un cucharón, eléctricamente energizada utilizada para excavación y carga de rocas fragmentadas, pasó por las siguientes etapas de desarrollo:

- 1832 - La primera pala tipo excavadora fue inventada por William Smith Otis de 22 años de edad en Massachussets.
- 1835 – La primera excavadora Otis fue construida.

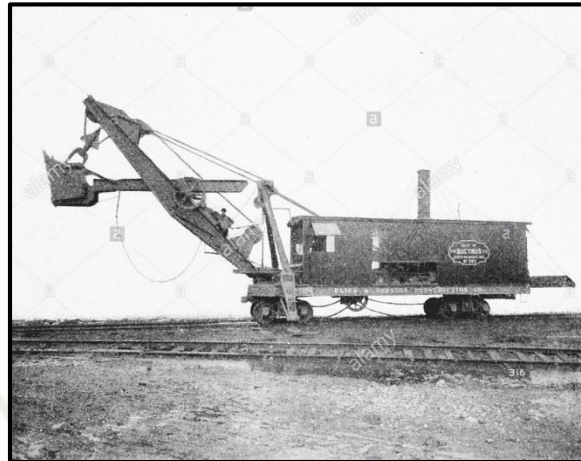
FIGURA 1. Primera Pala Otis



Fuente: Presentación de Palas, 1883, Carmichael & Fairbanks

- 1880 – Compañía de fundición y fabricación Bucyrus fue fundada en OSHIO, USA.
- 1882 – Bucyrus construyo su primera Pala Ferrocarril a vapor, “El Thompson”, para la vía férrea central de Toledo & Ohio.

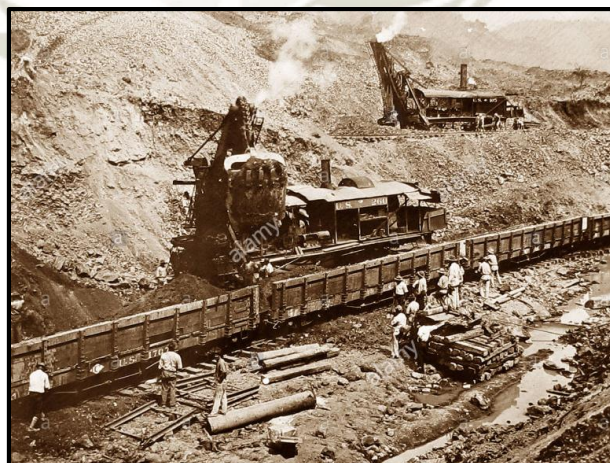
FIGURA 2. Pala ferrocarril Bucyrus



Fuente: Presentación Phoenix Arizona, 1920, Bucyrus Mining

- 1883 – El primer envío de un producto Bucyrus a un mercado extranjero fue una Pala Ferrocarril para el francés Ferdinand de Lessep's.
- 1904 – 1914 – Las palas Bucyrus fueron fundamentales en la excavación del canal de Panamá, uno de los proyectos más grandes de principio del siglo XX. De las 102 Palas a Vapor que operaron en el canal, 77 fueron Bucyrus; 24 fueron Marion y 1 fue Thew.

FIGURA 3. Palas de vapor en el canal de Panamá



Fuente: 100th Aniversario de Canal de Panamá, 1999, Bucyrus Mining

- 1911 – Las compañías Bucyrus, Atlantic Equipment (palas a vapor) y Vulcan Steam Shovel. Se unen para formar “Bucyrus Company”, una corporación pública. Como resultado de la

compra Vulcan, las primeras palas totalmente giratorias que llevaban el nombre de Bucyrus fueron producidas.

- 1921 – El montaje al estilo Oruga – Propulsión se incorporó por primera vez en las palas Bucyrus.
- 1927 – Bucyrus consolida con la compañía Erie Steam Shovel para formar “Bucyrus-Erie”; Los productos de Erie tenían una reputación de resistente en condiciones adversas de operación.

FIGURA 4. Pala Erie Steam Shovel



Fuente: Industrial Chicago, 2017, Erie Steam Shovel

- 1981 – Primera Pala eléctrica AC (395-B) para minería donde la fuerza conmutada SCR, accionamiento AC, ACutrol, fue incorporada.
- 1990 – Palas 395BII y 495B manejadas con transistores GTO.
- 1997 – Bucyrus adquirió la compañía Marion Power Shovel (el modelo 351M se convirtió en 595B) y consolidaron una importante fusión.
- 2000 – 3ra generación de accionadores eléctricos AC (IGBT), Acutrol III, comienza a operar en un 495BI en Antamina Perú.
- 2009 – Bucyrus patentó el sistema de Cucharón LatchFree y comienza a operar el modelo 495HR y en diciembre del mismo año compra la división de minera de Terex.

FIGURA 5. Tipos de palas Bucyrus

Descripción								
		182M	295HD	295HR	395HR	495HD	495HR	495HF
Carga Nominal	Toneladas	20	42	50	70	HD - 90 BI - 80	120	120
	Toneladas	18	38	45	64	HD - 82 BI - 73	109	109
Capacidad del Cucharón	Yardas Cúbicas	9 - 23	18 - 40	24 - 51	25 - 80	25 - 80	40 - 82	40 - 82
	Metros Cúbicos	7 - 18	14 - 31	18 - 39	19 - 61	19 - 61	31 - 63	31 - 63
Tiempo de giro o Tiempo de ciclo (seg) @ 70 grados						HD - 33 BI - 32	35	35
Productividad Teórica (Toneladas / Op.Horas)						HD - 6200 BI - 5400	7600	7600
Requerimiento de Energía (Prom. 15 minutos de demanda)		300 - 330 KW	450 - 630 KW	538 - 753 KW	777 - 1087 KW	832 - 1165 KW	926 - 1297 KW	926 - 1297 KW

Fuente: Capacitación Bucyrus, 2016, Southern Copper Corporation

La pala eléctrica a analizar en la presente tesis es la Bucyrus 495HR por lo cual se presenta una tabla con las principales características del equipo:

TABLA 1. Características de Pala Electromecánica CAT 7495HR



DESCRIPCIÓN	CAT 7495HR
Carga Nominal	120 Toneladas
Tiempo de giro o Tiempo de ciclo @ 70 Grados	35 Segundos
Productividad Teórica	7 600 Ton/Hr

Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2018, Viña C.

2.5. FICHA TÉCNICA DE PALA ELECTROMECÁNICA CAT 7495HR

A. PALA ELECTROMECÁNICA CAT 7495HR 2160



FIGURA 6. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2160

FICHA TÉCNICA PALA ELECTROMECÁNICA 2160						
Nombre del Equipo		Pala Electromecánica		Imagen Referencial		
Función que realiza		Carguío de Mineral				
Marca	CATERPILLAR	Modelo	7495HR			
Serie	ER601455	Ubicación	Tajo Norte			
Código de Equipo		2160				
DATOS TÉCNICOS						
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
Potencia Pico	3706 kW		Potencia Promedio	4000 kVA		
Voltaje del Sistema	36,50/60Hz 7200 V		Transformador	350 kVA		
Peso Total	1382 TON		Ancho de Pala	13.1 m		
Capacidad de Carga	120 TON		Altura de Pala	20.8 m		
Capacidad de Cucharón	61.2 m3		Largo de Pala	20.4 m		
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS						
Tabla de Pesos		Estructura		Cables		
Peso de Cucharón	80.6 TON	Propulsión	Dual - Independiente	Parte	Número	Diámetro
Peso de Contrapeso	302.6 TON	Mesa de Giro	Soldado	Izaje	2 - 8x37	69.8 mm
Peso sin Contrapeso	919,1 TON	Longitud de Mesa	8.3 m	Empuje	4	82.6 mm
Peso de Hydracrowd	80 TON	Ancho de Mesa	3.6 m	Cucharón	1 - 7x25	19.1 mm

Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

B. PALA ELECTROMECAÁNICA CAT 7495HR 2161

FIGURA 7. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2161

FICHA TÉCNICA PALA ELECTROMECAÁNICA 2161						
Nombre del Equipo		Pala Electromecánica		Imagen Referencial		
Función que realiza		Carguio de Mineral				
Marca	CATERPILLAR	Modelo	7495HR			
Serie	ER601516	Ubicación	Tajo Sur			
Código de Equipo		2161				
DATOS TÉCNICOS						
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
Potencia Pico	3706 kW		Potencia Promedio	4000 kVA		
Voltaje del Sistema	3φ,50/60Hz 7200 V		Transformador	350 kVA		
Peso Total	1382 TON		Ancho de Pala	13.1 m		
Capacidad de Carga	120 TON		Altura de Pala	20.8 m		
Capacidad de Cucharón	61.2 m ³		Largo de Pala	20.4 m		
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS						
Tabla de Pesos		Estructura		Cables		
Peso de Cucharón	80.6 TON	Propulsión	Dual - Independiente	Parte	Número	Diámetro
Peso de Contrapeso	302.6 TON	Mesa de Giro	Soldado	Izaje	2 - 8x37	69.8 mm
Peso sin Contrapeso	919.1 TON	Longitud de Mesa	8.3 m	Empuje	4	82.6 mm
Peso de Hydracrowd	80 TON	Ancho de Mesa	3.6 m	Cucharón	1 - 7x25	19.1 mm

Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

C. PALA ELECTROMECAÁNICA CAT 7495HR 2162

FIGURA 8. Ficha Técnica Pala Electromecánica 2162

FICHA TÉCNICA PALA ELECTROMECAÁNICA 2162						
Nombre del Equipo		Pala Electromecanica		Imagen Referencial		
Función que realiza		Carguio de Mineral				
Marca	CATERPILLAR	Modelo	7495HR			
Serie	ER601455	Ubicación	Tajo Sur			
Código de Equipo		2162				
DATOS TÉCNICOS						
CARACTERÍSTICAS GENERALES						
Potencia Pico	3706 kW		Potencia Promedio	4000 kVA		
Voltaje del Sistema	3ó,50/60Hz 7200 V		Transformador	350kVA		
Peso Total	1382 TON		Ancho de Pala	13.1 m		
Capacidad de Carga	120 TON		Altura de Pala	20.8 m		
Capacidad de Cucharón	61.2 m3		Largo de Pala	20.4 m		
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS						
Tabla de Pesos		Estructura		Cables		
Peso de Cucharón	80.6 TON	Propulsión	Dual - Independiente	Parte	Núme ro	Diámetro
Peso de Contrapeso	302.6 TON	Mesa de Giro	Soldado	Izaje	2 - 8x37	69.8 mm
Peso sin Contrapeso	919.1 TON	Longitud de Mesa	8.3 m	Empuje	4	82.6 mm
Peso de Hydracrowd	80 TON	Ancho de Mesa	3.6 m	Cucharón	1 - 7x25	19.1 mm

Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

2.6. TAXONOMÍA DE PALA ELECTROMECAÁNICA CAT 7495HR

FIGURA 9. Taxonomía de pala electromecánica CAT 7495HR - 1

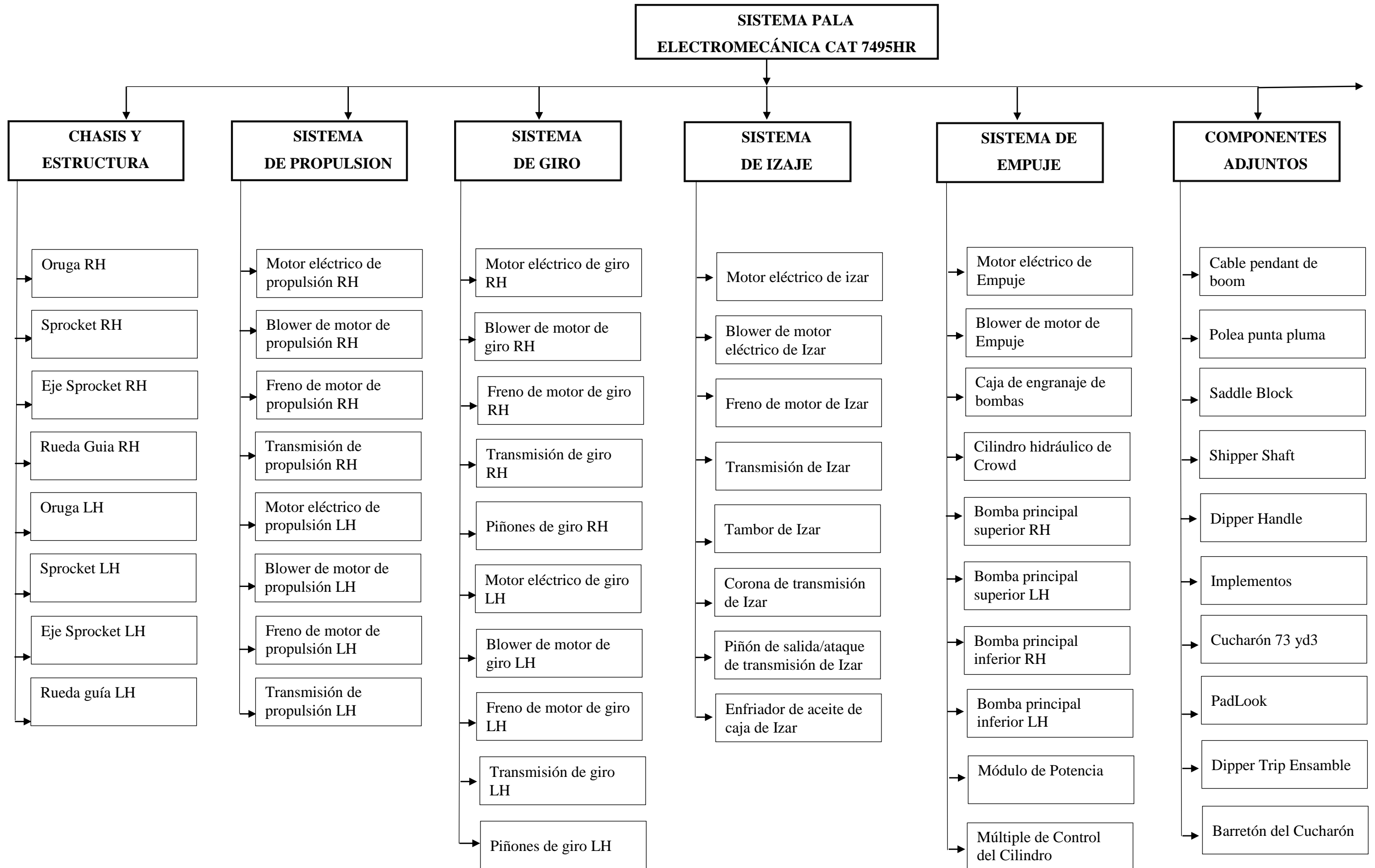
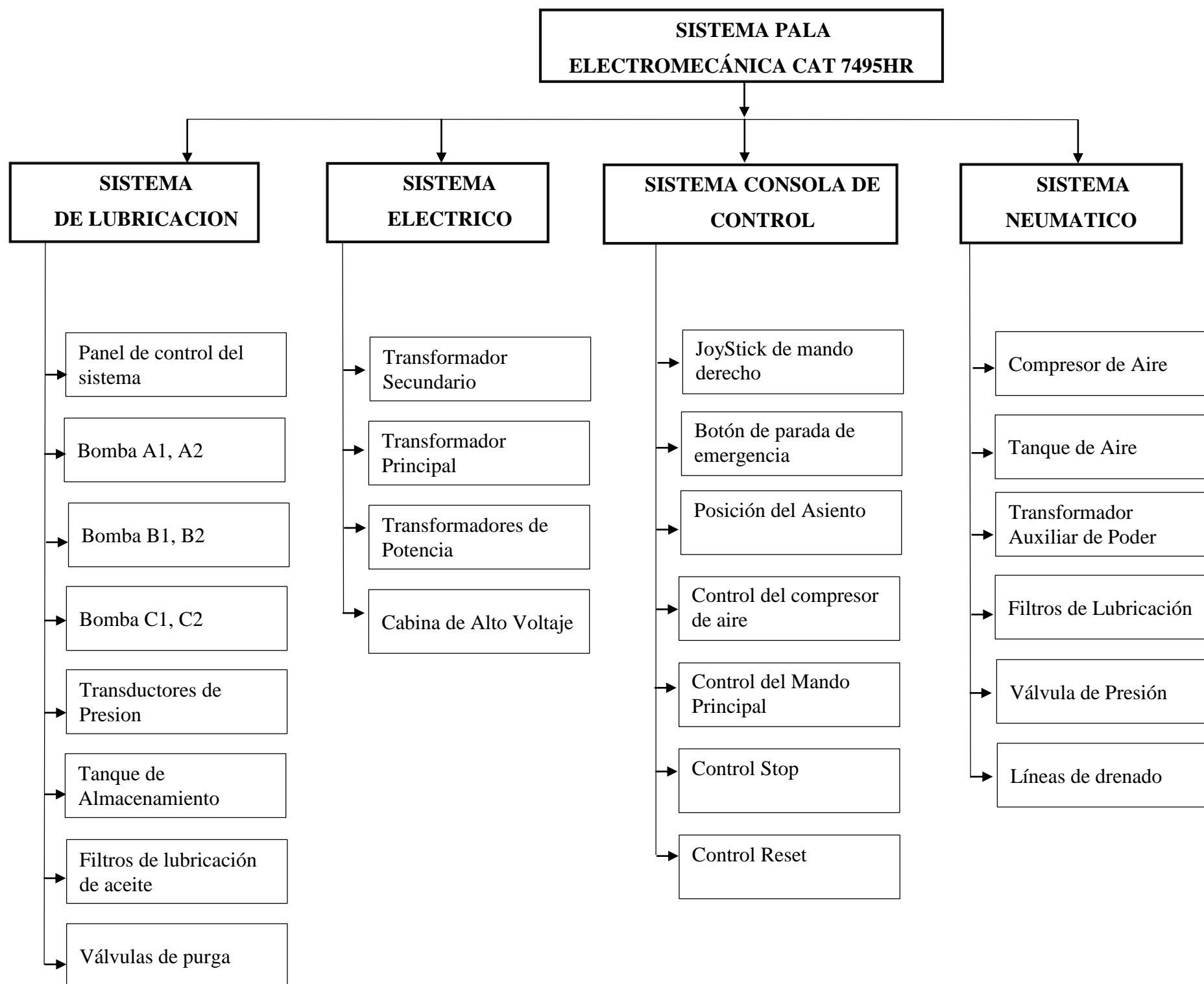


FIGURA 10. Taxonomía de pala electromecánica CAT 7495HR - 2



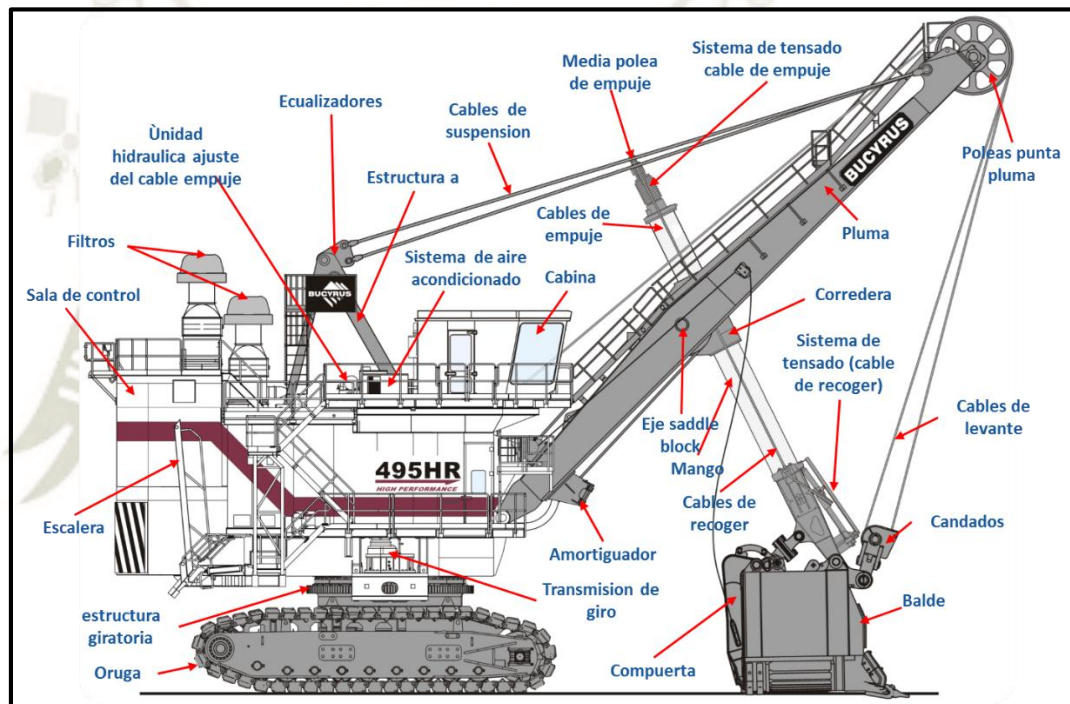
Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

2.7. ESPECIFICACIONES DE PALA ELECTROMECÁNICA CAT 7495HR

2.7.1. SISTEMA DE CHASIS Y ESTRUCTURA

Este equipo está diseñado para trabajar en condiciones con el terreno agresivo, sus velocidades de movimiento son como máximo hasta 10 km/hr, tiene un peso total de aproximadamente 800ton, en la figura se muestra la vista general de este equipo.

FIGURA 11. Vista general CAT 7495HR



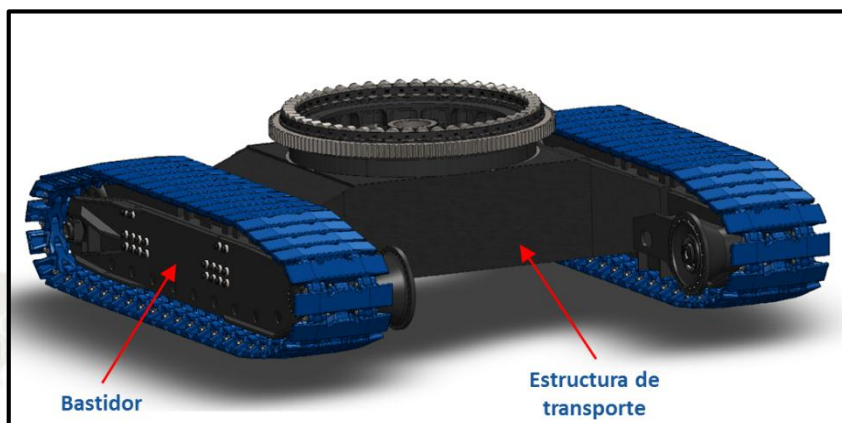
Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

Estructuralmente este equipo está compuesto por las partes:

- Chasis inferior
- Plataforma de giro
- Componentes de Soportes

El chasis inferior comprende el bastidor y la estructura de transporte, encargado de sostener la Pala y a la vez permitirle el movimiento lineal por medio del sistema de propulsión.

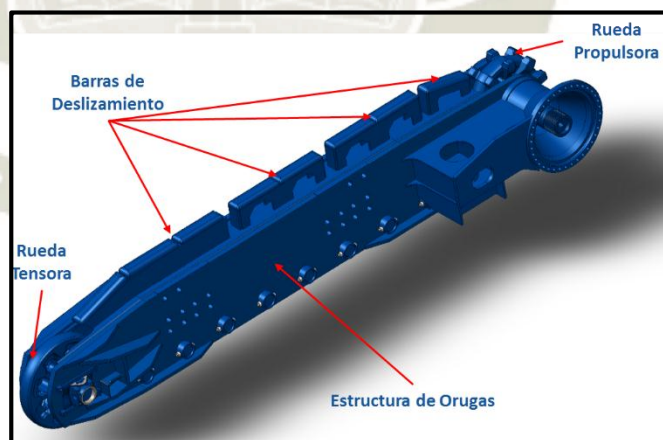
FIGURA 12. Chasis inferior de pala CAT 7495HR



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

El bastidor, está hecho de un acero al manganeso de alta resistencia, en esta estructura se monta 1 rueda propulsora (sprocket), 1 rueda tensora, 1 rodillo guía, 8 rodillos inferiores y a la vez se encuentra montadas las 56 zapatas. La ubicación de los componentes mencionados, se muestran en la imagen a continuación:

FIGURA 13. Bastidor de Pala CAT 7495HR

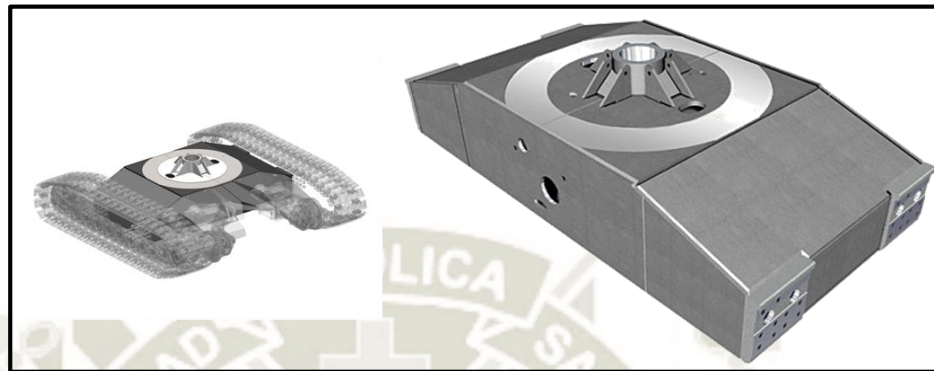


Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

La estructura de transporte, está hecho de un acero al manganeso de alta resistencia y baja aleación con un peso de 87 toneladas, esta soporta el pin central, el cual se encuentra en la parte intermedia superior, este pin central es el componente que le da la estabilidad a la Pala, es como la columna vertebral. La estructura de transporte conecta a los

costados con los bastidores, su sistema de empernado por Super Nuts nos permite un alivio de tensiones, y en la parte superior se enrosca al Pin Central.

FIGURA 14. Soporte de bastidor



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

La plataforma rotativa, permite darle los giros a la pala para poder recoger o echar material, tiene un giro de 360° y se puede apreciar en la figura a continuación.

FIGURA 15. Plataforma de giro



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

La plataforma rotativa comprende de: Revolving Frame cremallera de giro y círculo de rodillos. La función que cumple aparte de permitir el giro de la pala, es transmitir la carga de peso de la pala y el material levantado al chasis. Revolving Frame, es un acero de alta resistencia y baja aleación, tiene un peso de 77.8ton, es el soporte de la sala de máquinas, y está apoyada en los círculos de rodillos.

La Cremallera de Giro, es una corona, en la cual esta engranada a 4 piñones, los cuales permiten el giro de la parte de la sala de máquinas. El Círculo de Rodillos cumple la función similar a la de un rodamiento, para aliviar esfuerzo de la carga, permitir que el giro sea suave y no se desgaste materiales. Los componentes de soporte, son encargados de sostener en el trabajo de la maquina los diferentes movimientos con la carga, constan de: Estructura A, Pluma, Mango, cable de suspensión, cable de levante, cable de empuje y cable de retracción. Entre los sistemas más importantes de pala eléctrica Bucyrus 495HR se tienen:

- Sistema de Propulsión (Propel)
- Sistema de Giro (Swing)
- Sistema de Levante (Hoist)
- Sistema de Empuje y Retracción (Crowd and Retract)

2.7.2. SISTEMA DE PROPULSIÓN

El sistema de propulsión es el encargado de dar el movimiento lineal a la pala, este sistema está colocado en cada bastidor, sus componentes principales son: Motor de Propulsión, acople, transmisión de propulsión, freno del motor y el ventilador de motor. En la figura 11 se presentan las partes principales del sistema de propulsión.

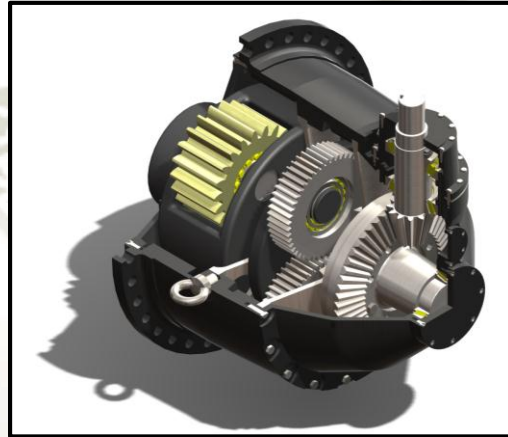
FIGURA 16. Sistema de propulsión



Fuente: Pala Electromecánica 7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

El motor de Propulsión está colocado de manera horizontal y en ángulo recto con la transmisión de propulsión, por motivos de protección contra rocas u objetos que pueden estar en el suelo, es un motor AC que tiene una potencia de 700 HP y revoluciones de 987 RPM.

FIGURA 17. Transmisión de propulsión



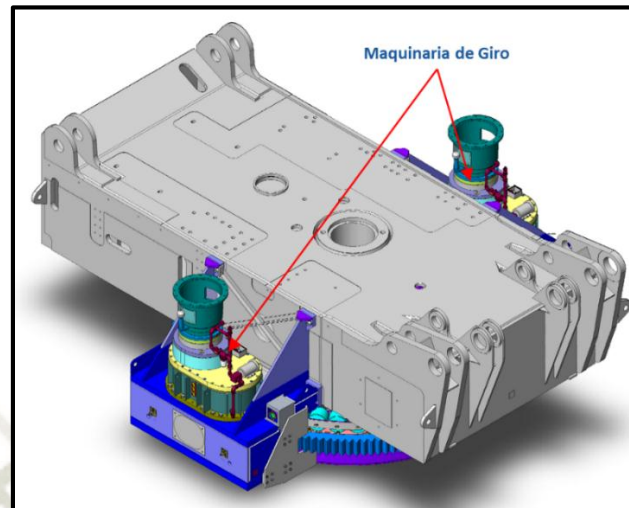
Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

La transmisión de Propulsión es una caja planetaria, tiene una relación de transmisión de 271.625, la cual permite bajar las revoluciones hasta 3.6 RPM.

2.7.3. SISTEMA DE GIRO

Como función principal permitir el giro de la pala, manteniendo detenida la parte del chasis inferior y a la vez permitir el giro a toda la estructura superior, a cada lado, ubicadas a 180° se encuentran los motores de giro, cada una con una caja de engranajes planetarios, y 2 ejes de giro, cada uno con su piñón.

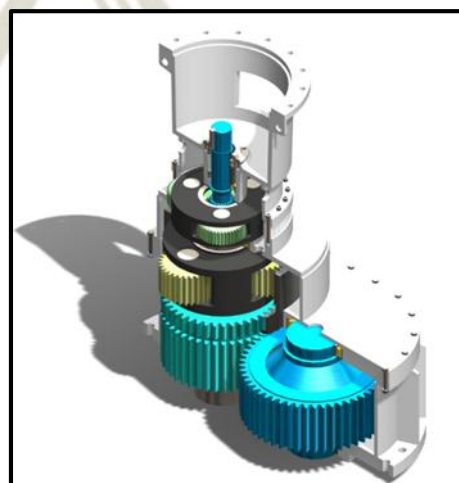
FIGURA 18. Sistema de giro



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

El motor de giro está, está colocado de manera vertical para tener una mejor ergonomía en la sala de máquinas, tiene un ventilador y su sistema de frenos es por placas, con accionamiento neumático y de resortes, es un motor que tiene una potencia de 505 HP y revoluciones de 1481 RPM. La transmisión de Propulsión es una caja planetaria, tiene una relación de transmisión de 67.75, la cual permite bajar las revoluciones hasta 26.86 RPM. En la figura 14 se presenta el sistema de propulsión tomado del sistema CATSIS manejado por Caterpillar.

FIGURA 19. Transmisión de propulsión

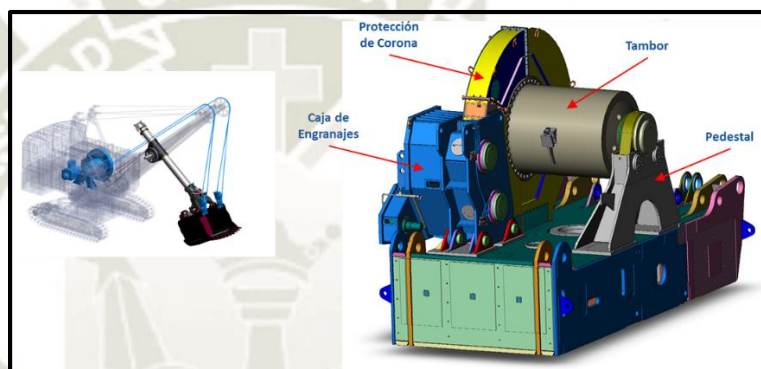


Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

2.7.4. SISTEMA DE IZAJE

Como función principal permitir levantar el cucharón para el acarreo de material, mediante la transmisión de torque al tambor, el cual al momento de girar, permite que los 2 cables de levante se enrolen o se desenrolen, entre sus componentes principales tiene: motor, caja de engranajes, corona y tambor. Este sistema se encuentra montado en la sala de máquinas.

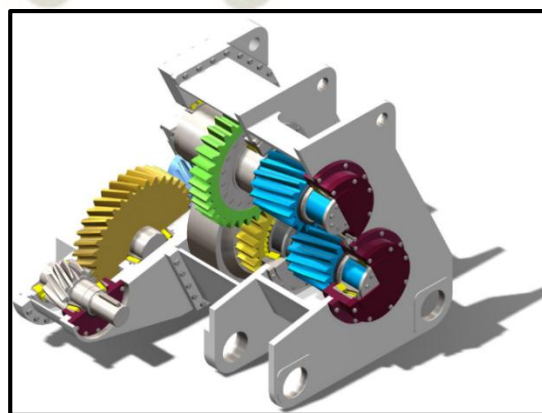
FIGURA 20. Sistema de izaje



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

El motor de levante, está colocado de manera horizontal y paralelo con el tambor para poder tener una mejor ergonomía en la sala de máquinas, este motor cuenta con un ventilador y un freno que esta acoplado en su parte trasera, este freno es de accionamiento neumático – resorte, su potencia es de 2600 HP y trabaja a 787 RPM.

FIGURA 21. Transmisión de levante



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

2.7.5. SISTEMA DE EMPUJE

El sistema de empuje tiene como función brindar movimiento en el eje horizontal para que pueda acercarse o alejarse del cucharón. Este sistema se realiza de 3 maneras en las palas: por medio de cables, cilindro hidráulico o cremalleras; Las 2 primeras formas son utilizadas en las palas 495HR las cuales son analizadas en la presente tesis, cada sistema tiene ventajas y desventajas, se realizará una breve descripción de las mismas a continuación.

El sistema de cables utiliza dos cables los cuales son los de empuje y los de retracción, este sistema trabaja con un motor, un tambor, poleas y arcos. Entre las ventajas que brinda este sistema respecto al de cremalleras es que te permite tener un mango circular el cual evita cargas tensionales permitiendo tener ciertas tolerancias al desalineamiento. La desventaja es que se tiene que cambiar luego de 600 a 900 horas de trabajo y tiene alta posibilidad de rupturas de cables por el material ya que estos restos pueden cortar el cable.

FIGURA 22. Sistema de cables



Fuente: Electric Mining Shovel, 2012, Bucyrus

El sistema con cilindro hidráulico (Hydracrowd) tiene una longitud de 34ft retraído y 54ft extendido con un peso de 21000 lbs, este cilindro se encuentra dentro de una camisa

(sleeve) el cual cumple las funciones de proteger al cilindro y permite sujetar este al saddle block dándole un punto de fijación para evitar vibraciones; en el cilindro se encuentra montado en la parte trasera un múltiple de control o manifold el cual manda los movimientos de trabajo de este cilindro. Entre las ventajas que brinda se tiene a su velocidad y fuerza como las principales debido a la energía hidráulica, el cambio de cilindro es cada 14000 horas, incrementando la productividad y reduciendo las paradas de mantenimiento por cambio de cables y al ser un sistema hidráulico tiene movimientos controlados y exactos. Entre las desventajas se encuentra el monitoreo constante que se debe realizar al aceite, ya que un contaminante dentro de este puede causar una falla en todo el sistema. Se necesita de personal técnico calificado al tratarse de un componente nuevo y complejo, la solución de fallas demora sin buen análisis de fallas o troubleshooting.

FIGURA 23. Transmisión de levante

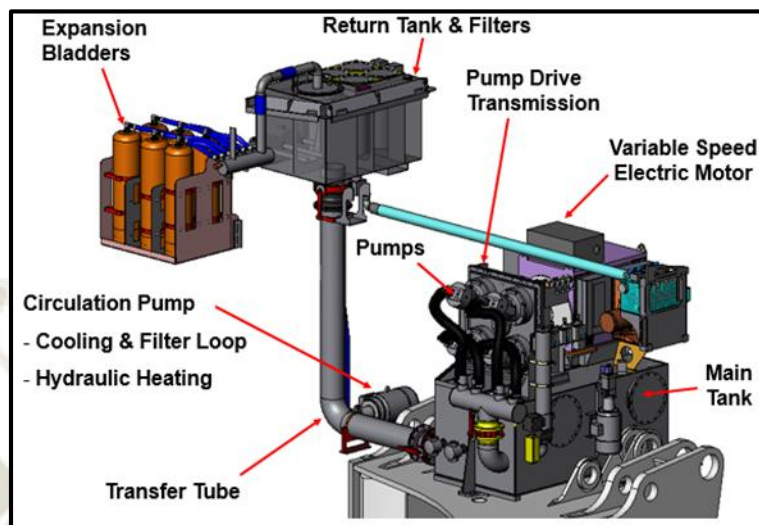


Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

El sistema de empuje por medio de cilindro hidráulico, tiene las siguientes partes:

- Cilindro Hidráulico
- Motor Hidráulico

FIGURA 24. Sistema de empuje hidráulico



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

- Mando de bombas o PDT
- Tanque hidráulico
- Bombas principales
- Enfriador
- Manifold
- Filtros
- Acumuladores
- Unidad de potencia auxiliar

El motor brinda potencia al PDT el cual acciona las bombas principales los cuales succionan aceite del tanque el cual es enviado al cilindro hidráulico, el flujo del aceite es controlado por el manifold, terminando el ciclo el aceite se dirige al enfriador y retorna al tanque, después de salir de cada componente pasando por filtros para mantener el aceite dentro de los estándares de trabajo necesarios. La limpieza en el sistema hidráulico es sumamente importante ya que evita el asiento inadecuado de las válvulas y el desgaste de los componentes prematuramente, si el sistema de filtración se instala

adecuadamente este evitara una contaminación del fluido y que trabaje dentro de parámetros normales tanto de agua como material particulado. Cuando se encuentran contaminantes en el filtro de circulación hidráulica o filtros de retorno de tanque se pueden suponer los problemas mostrados en la Tabla 2.

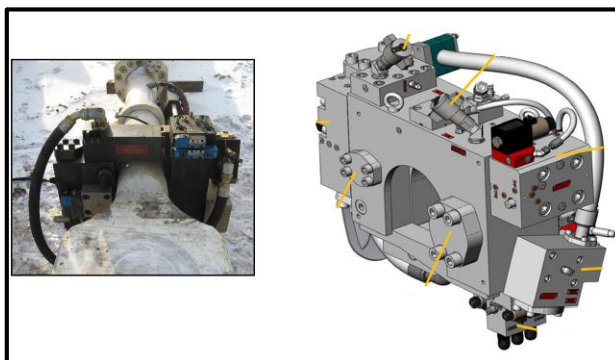
En el cilindro hidráulico se tiene montado el múltiple de control en la parte del extremo, este múltiple está compuesto de diferentes bloques de válvulas que controlan el flujo del aceite en el cilindro. Consta de válvulas reguladoras de presión de flujo, solenoides, sensores, acumuladores y múltiples de distribución.

TABLA 2. Sistema de empuje hidráulico

TIPO DE CONTAMINANTE	FILTRO DE CIRCULACIÓN	FILTRO DE RETORNO	FUENTE
Acero o Latón	x		Bombas principales Bomba de circulación
		x	Pistón o casquillo de cilindro
Caucho	x		Mangueras de la tubería de circulación
		x	Mangueras de presión alta o baja de pluma
Polvo y residuos varios	x		Abertura en la tubería del aislador Mal funcionamiento del sistema del aislador Residuos exteriores que entran durante el mantenimiento
		x	Residuos exteriores que entran durante el mantenimiento

Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2018, Viña C.

FIGURA 25. Múltiple de control del cilindro

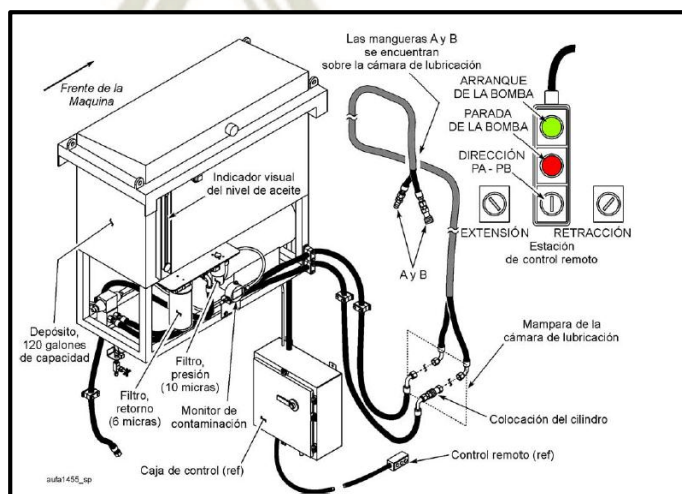


Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

La unidad de potencia auxiliar consta de un tanque hidráulico de 120 galones con un motor eléctrico de 20HP, su bomba es de pistones para que pueda cumplir la función de compensar presiones, tienen válvulas de cierre y un múltiple con manómetros y mangueras para que puedan realizar los filtrados de aceite y se tenga las condiciones normales de operación.

El sistema de filtrado de aceite cuenta con un filtro de 10 micras y el otro de 6 micras; Para ver la contaminación se tiene un monitor hidráulico el cual da una señal cuando el aceite muestra una calidad ISO de 18/16/14, el nivel de limpieza estándar es ISO 16/14/12.

FIGURA 26. Sistema de filtrado de aceite



Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

El módulo de potencia es el encargado de enviar el aceite necesario para los movimientos del cilindro hidráulico, consta de un tanque hidráulico, motor, PDT, bombas, filtros y múltiples. El funcionamiento de este módulo comienza con el motor que transmite potencia a través de un acople al PDT que este a su vez acciona 4 bombas principales las cuales succionan y envían el aceite hidráulico de tanque al cilindro de hydracrowd.

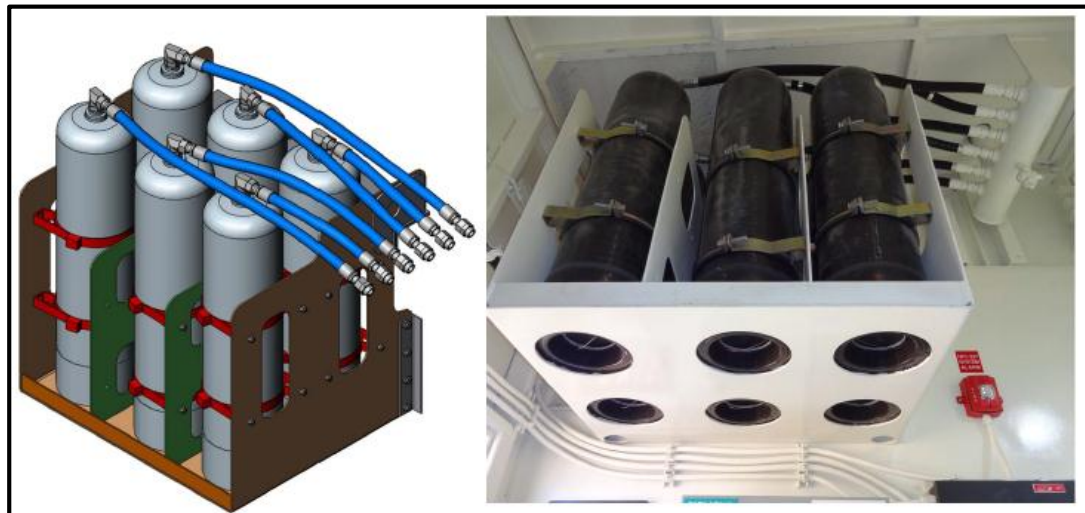
El PDT tiene una bomba de lubricación el cual se encarga de enfriar los engranajes ya que trabajan a altas revoluciones. Tiene un motor de 5hp acoplado a una bomba de paletas y una de engranajes. La bomba de paletas hace circular el aceite del múltiple de succión al múltiple de irrigación y después por las bombas principales para su enfriamiento, las bomba de engranajes hace circular el aceite del PDT al enfriador que después pasa por un filtro de circulación el cual se encarga de retener impurezas y el aceite pueda dirigirse a las bombas.

Los múltiples sirven como by-pases y limitadores de aceite, se tienen dos tipos: el múltiple de irrigación de la bomba, es el que controla el flujo de las cuatro bombas principales, y el múltiple de circulación de aceite que funciona cuando el aceite alcanza su temperatura de operación, su válvula de control dirige el aceite a través del enfriador hidráulico, permitiendo el paso al tanque.

Los acumuladores guardan aceite a presión los cuales aseguran un rendimiento de las válvulas correcto, funcionan con gas nitrógeno, si la presión es baja la reacción del cilindro de hydracrowd también será baja, pudiendo dañar los sellos. El sistema de acumuladores cuanta con 6 tanques, la presión en estos acumuladores es de 900lb/in² si cae a 650lb/in² manda una alerta en la cabina del operador, si llega a caer a 500lb/in²

manda otra alerta y la velocidad del cilindro Hydracrowd cae a un 20% de funcionamiento.

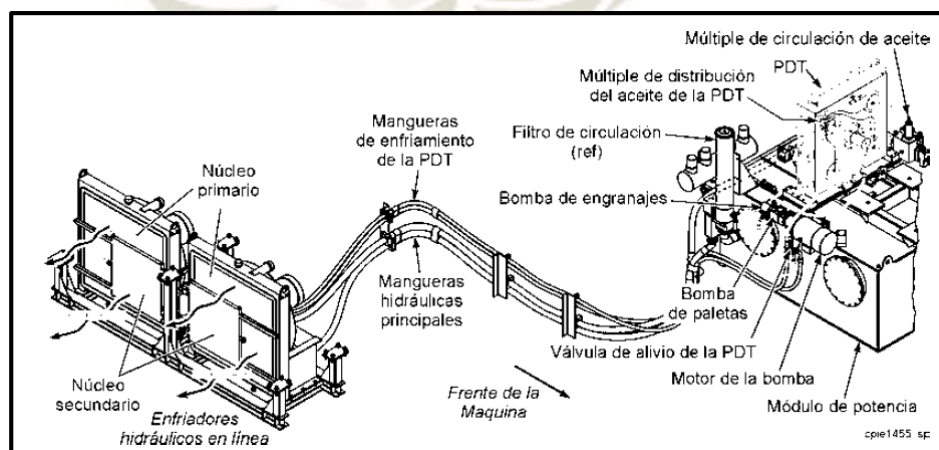
FIGURA 27. Acumuladores de presión



Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

Finalmente, el enfriador de aceite es de doble núcleo, los núcleos secundarios se usan para enfriar el aceite del PDT, los núcleos primarios sirven para enfriar el aceite secundario.

FIGURA 28. Enfriadores de aceite



Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

2.7.6. SISTEMA DE COMPONENTES ADJUNTOS

Se tiene el sistema de lubricación, el cual se encuentran en la sala de máquinas, provee de aceite y grasa para los diferentes puntos a los cuales se tiene que lubricar, en este sistema podemos diferenciar por puntos automáticos y puntos manuales; Los puntos de lubricación manual son los pasadores de cables de suspensión, algunos pasadores del balde y puntos de lubricación en motores. El sistema de lubricación automática tiene 2 tipos por engranaje abierto (OGL) y grasa contralada por PLC; Este sistema consta de 6 bombas de lubricación de las cuales 4 son de OGL y 2 son de grasa, cada una de estas bombas están encargadas de un sistema. Las propiedades de estos lubricantes son:

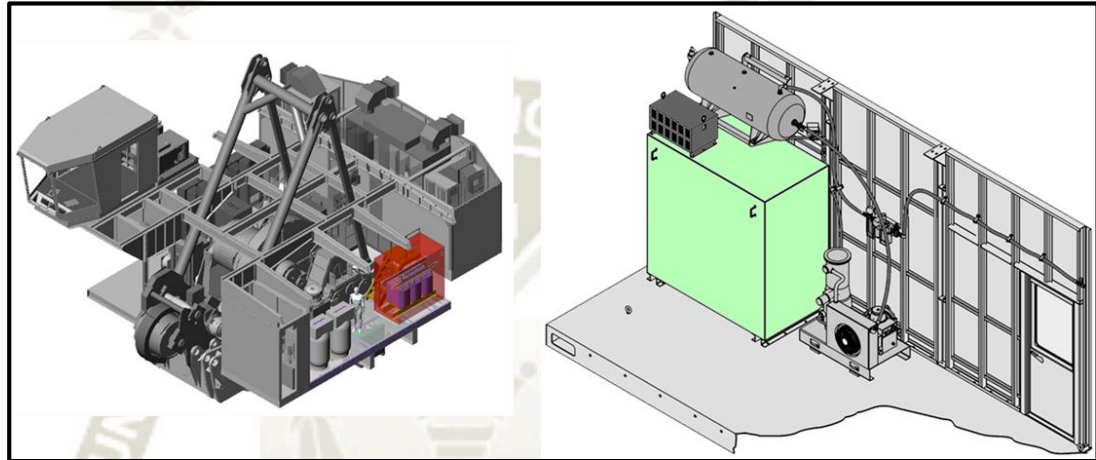
- **Viscosidad:** Para poder adaptarse a diferentes cambios de temperatura.
- **Resistencia térmica:** para que no se endurezca ni fluya en servicio.
- **Retención:** mínimo grado de escape de material.
- **Resistencia al agua:** Que no cambien sus propiedades bruscamente al mezclarse.
- **Reversibilidad:** estabilidad de propiedades químicas tanto en calor y frío.
- **Presión extrema:** Resistir altas cargas de impacto.
- **Compatibilidad:** Material de sello de aceite.
- **Estabilidad:** Para poder trabajar en condiciones continuas.
- **Composición:** Que sea sintético.

Este sistema de lubricación es enviado a los puntos de lubricación por medio de presión neumática, la ubicación del sistema de lubricación se encuentra en la sala de máquinas.

- Compresor
- Tanque acumulador
- Manómetro

- FRL
- Transformador de potencia
- Válvula de drenaje
- Línea de drenaje

FIGURA 29. Sistema de lubricación



Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

En los sistemas principales los intervalos de reengrase son:

TABLA 3. Intervalos de engrase

MOTOR	INTERVALO DE REENGRASE	EXTREMO DE IMPULSIÓN	EXTREMO DE NO-IMPULSIÓN
		CANTIDAD DE GRASA (GRAMOS)	CANTIDAD DE GRASA (GRAMOS)
Motor de Levante	3000 hrs o 6 meses	88	140
Motor Propulsar	3000 hrs o 6 meses	54	94
Motor Empuje	3000 hrs o 6 meses	54	94
Motor de Giro	1500 hrs o 4 meses	54	80

Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2018, Viña C.

2.8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO MINERA ANTAPACCAY

Estos indicadores se toman en función en base a Encare. Encare es una empresa de ingeniería económica, gestión global del negocio, procesamiento y análisis de información. Su enfoque es dirigido a la elaboración de estudios de Benchmarking, indicadores de gestión y en la cadena de suministro. Los indicadores desarrollados por los estudios de Benchmarking se desarrollan bajo la norma ISO 22400 por ello en su cartera de clientes se encuentran algunas de las compañías más grandes de Latinoamérica como Anglo American, AMSA, Codelco, Souther, BHP Billinton, entre otras. La norma internacional ISO 22400 específica a la industria de manera independiente del tipo, la forma en la que se definen, componen, intercambian y se utilizan los Indicadores Claves de Gestión (KPI's) para la gestión de las operaciones y de la fabricación.

Los tiempos de trabajo para los equipos definidos por Antapaccay son:

TABLA 4. Tiempos de trabajo para equipos según Antapaccay

TIEMPO CALENDARIO(TC) o TOTAL(TT)						
Tiempo Programado(TP)					Tiempo No Programado (TNP)	
Tiempo Disponible(TD)			Tiempo de Mantenimiento(TM)			
Tiempo de Operación(TO)			Stand By	MP		MNP
TNOP	DOP	DONP				

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

Las siglas mostradas en el cuadro anterior corresponden a las siguientes definiciones:

TABLA 5. Definiciones de abreviaturas para tiempos de trabajo

Abreviatura	Descripción
TT	Tiempo de un Periodo (Turno 12 horas, Día 24 Horas etc.)
TP	Tiempo Programado de Trabajo de un Equipo
TNP	Tiempo Ocasionado por Eventos Externos a Mantto u Operaciones
TD	Tiempo que un equipo está Disponible para ser usado
TM	Tiempo que un equipo no está Disponible para ser usado
TO	Tiempo que un Equipo tiene un operador Asignado

TNOP	Tiempo Neto Operativo
DOP	Tiempo de Demora Operativa Programada
DONP	Tiempo de Demora Operativa No Programada
Stand By	Tiempo que un equipo está Disponible pero no es usado
MP	Tiempo de Mantenimiento Programado
MNP	Tiempo de Mantenimiento No Programado
NF	Número de Fallas (mantenimiento no programado)
NP	Número de Paradas (Mantenimiento Programado)

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

A continuación se muestran los cálculos de los KPI's de mantenimiento realizados en Antapaccay con su respectivo Benchmarking brindado por ENCARE.

A. DISPONIBILIDAD FÍSICA

Tiempo en que pala se encuentra disponible, de acuerdo a información histórica de ENCARE, se encuentran entre 75.7% - 89.4%.

$$\% \text{ DISPONIBILIDAD FISICA} = \left(\frac{TT - (MP + MNP + TNP) \times 100}{TT} \right)$$

B. UTILIZACIÓN

Representa el tiempo en que los equipos son efectivamente utilizados con respecto al tiempo disponible de acuerdo a información histórica de ENCARE, se encuentran entre 35.7% - 86.9%.

$$\% \text{ UTILIZACION} = \left(\frac{TNOP \times 100}{TT - (MP + MNP + TNP)} \right)$$

C. MTBF (Tiempo promedio entre fallas)

Mide el tiempo medio existente entre fallas imprevistas del equipo de acuerdo a información histórica de ENCARE, se encuentran entre 12.5 h – 30.6 h.

$$MTBF = \left(\frac{TNOP}{NF} \right)$$

D. MTTR (Tiempo promedio para reparar fallas)

Mide el tiempo promedio para realizar una reparación frente a una falla del equipo de acuerdo a información histórica de ENCare, se encuentran entre 1 h – 3.5 h.

$$MTTR = \left(\frac{MNP}{NF} \right)$$

2.9. EL MUNDO DEL MANTENIMIENTO

La historia del mantenimiento está ligada al desarrollo de la industrialización. Durante los últimos 30 años el mantenimiento a tenido grandes cambios, estos cambios se deben más que todo al aumento de demanda de productos a nivel mundial lo que genera que se creen plantas, equipamientos, máquinas, edificios, etc. Al momento de crearse más activos físicos que mantener, se requieren diseños más complejos, nuevas técnicas, métodos y estrategias de mantenimiento que se tienen que aplicar.

Adicionalmente a ello se tienen factores cambiantes como la seguridad y el medio ambiente, por tal motivo se lleva estos mantenimientos con mayor cuidado y responsabilidad. Todo esto conlleva a que el personal de mantenimiento se capacite y adopte nuevas maneras de pensar, nuevas gestiones que aplicar.

Se pueden distinguir 3 generaciones en la historia del mantenimiento, según Moubray:

La primera generación tomaba la prevención de fallas en los equipos como una actividad no prioritaria, ya que el sobredimensionamiento de los equipos los hacia confiables y fáciles de reparar por lo tanto no existía una necesidad de mantenimiento sistemático más allá de rutinas de limpieza, servicio y lubricación.

En la segunda generación iniciada durante la segunda guerra mundial se genera un aumento de la demanda dando lugar a mayor mecanización y al mismo tiempo una caída de la mano de obra. Estos factores conllevan a enfocarse en los tiempos de parada de maquina dando idea

de que las fallas que originaban estos tiempos de parada podían prevenirse, nace así el mantenimiento preventivo y los sistemas de control y mantenimiento.

A mediados de la década de los 70 se generan nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas. Dentro de las nuevas expectativas destacan las de seguridad y las medioambientales, crece la dependencia a los activos físicos y también el costo tenerlos, operarlos y mantenerlos, los costos de mantenimiento en especial pasaron de ser un costo sin importancia a ser un costo prioritario. Las nuevas investigaciones fueron cambiando la perspectiva de las creencias del mantenimiento pasando de hacer correctamente el trabajo a hacer el trabajo correcto, demostrando la menor conexión existente entre la edad de los activos y la probabilidad de que estos fallen gracias a los patrones de falla desarrollados. Las nuevas técnicas y los nuevos conceptos fueron enfocados a herramientas para la toma de decisiones (Estudio de riesgo, análisis de modos y efectos de falla y sistemas expertos), metodologías, filosofías del mantenimiento y diseño de equipos, destacando el Mantenimiento Basado en la Condición, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Mantenimiento de Clase Mundial, combinado e integrado. La generación actual se da desde el año 2000 en la cual la automatización y sistemas electrónicos han aumentado, demandando que el personal que trabaja en las plantas sea personal capacitado y multidisciplinario, en esta generación se prioriza la integración de los sistemas, nuevos modelos de análisis avanzado para los datos generados por los activos y para la toma de decisiones, teniendo en cuenta los costos asociados, para saber en dónde nos es más conveniente retirar equipos y aplicar de una manera inteligente las gestiones de mantenimiento que nos puedan dar resultados.

TABLA 6. Evolución del mantenimiento

PRIMERA GENERACION	SEGUNDA GENERACION	TERCERA GENERACION	CUARTA GENERACION
Corrección momentánea o definitiva	Planificado	Integración de la producción y el manteniendo	FMECA Sistemas de Mejora Continua
Correctivo	Preventivo	Mantenimiento Productivo Total (TPM)	Modelos estadísticos para la optimización
	Predictivo	Mantenimiento Centrado Confiabilidad (MCC)	Gestión del Riesgo Gestión de Activos
	Modificativo	Clase Mundial	Análisis avanzando de los CMMS
		Proactivo	

Fuente: MCC, 2016, Jhon Moubray

Destaca la implementación de modelos estadísticos para la optimización reducción del riesgo y toma de decisiones, el desarrollo de la Gestión de activos y su estandarización a través de las normas ISO 55001 e ISO 55002, el análisis avanzando de los CMMS (Computerized Maintenance Management System). Finalmente la tendencia apunta a que los CMMS, se vuelvan sistemas “cognitivos”, capaces de no solo realizar análisis avanzados y predicciones sobre el mantenimiento sino que ejecutan y supervisan todos los flujos de trabajo del mantenimiento. Esta tecnología se encontraría en intersección con el big data análisis, aprendizaje automático e inteligencia artificial. Siendo empresas como IBM Y Watson pioneros en este ámbito.

2.10. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Un sistema de mantenimiento en una organización se encarga del buen mantenimiento correctivo, no tenerlo implica hacer solo reparaciones de urgencia (correctivo reactivo) para

continuar con la producción sin saber cuándo y donde será necesaria otra reparación y cuánto tiempo y dinero costara. El mantenimiento correctivo es consecuencia del mantenimiento preventivo y predictivo, los cuales detectan las fallas que ameriten ser programadas para detener una máquina. El mantenimiento predictivo existe con el mantenimiento preventivo y el correctivo o existen los tres en conjunto o no existe ninguno; los tres son programados.

2.10.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este puede ser por inspección o por predicción, cuando hablamos de mantenimiento por inspección tenemos en cuenta el contacto directo del técnico con maquina buscando a necesidad de un mantenimiento correctivo. Y se enfoca en áreas como limpieza, revisión, lubricación y ajustes. Por predicción, aplicando probabilidades y estadísticas para determinar necesidad de cambio de piezas o componentes de los activos. Sirve para programar reparaciones planeadas (correctivos planeados).

2.10.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO O CBM

Es cuando un activo se encuentra sometido a monitoreo de condición de funcionamiento, de manera continua o a intervalos. Basados en los resultados se planifican y ejecutan acciones de reparación y/o cambio de componentes tan pronto como sea posible o dentro de un tiempo de operación que busque minimizar los riesgos de una parada.

2.10.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Son reparaciones con activo fuera de servicio y estas pueden ser: reparaciones planeadas por preventivo, reparaciones no planeadas derivadas de la ocurrencia de una falla imprevista, ejecutadas para buscar la continuidad de producción, reparaciones de

fallas parciales o intermitentes que son realizadas en el momento oportuno sin afectar la continuidad de producción.

2.11. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Según NORSOK Z-008:2011 3.1.27, una estrategia de mantenimiento es un método de gestión usado a fin de lograr los objetivos de mantenimiento, las estrategias de mantenimiento pueden ser enfocadas a:

- Centradas en el activo
- Centradas en las personas
- Centradas en el proceso

2.11.1. CENTRADAS EN EL ACTIVO

Se apoya en las herramientas brindadas en filosofías como:

- RCM (Reliability-centered maintenance)
- RBM (Result based Management)
- PMO (Preventive Maintenance Optimization)
- RCFA (Root Cause Failure Analysis)

2.11.2. CENTRADAS EN LAS PERSONAS

Se apoya en etapas propuestas en el TPM como:

- Estrategia de activos
- Empoderamiento
- Planeamiento y programación de recursos
- Sistemas y procedimientos
- Equipos de mejoramiento continuo (CAT)

2.11.3. CENTRADAS EN EL PROCESO

Se centra en los flujos del proceso de mantenimiento realizando las siguientes tareas de durante su desarrollo:

- Mapeo de procesos
- Análisis de procesos
- Mapeo de la cadena de valor
- Visionado
- Rediseño

2.12. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Durante la evolución del mantenimiento se pueden diferenciar 3 generaciones, en la primera de ellas se distingue una industria con máquinas sobredimensionadas, lo cual las hacía fáciles de reparar y confiables hasta cierto punto, convirtiendo la prevención de fallas de un equipo en un tema secundario. En la segunda generación el aumento de la demanda, el desarrollo de procesos mecanizados y la caída en la mano de obra llamaron a prestar más atención en los tiempos de parada en el equipo, originando el mantenimiento preventivo, los sistemas de mantenimiento y control y la búsqueda del aumento de la vida útil de los activos. Finalmente en la tercera generación se prioriza la confiabilidad y la disponibilidad de nuestros activos, debido a la importancia que adquiere el mantenimiento en el proceso y como coste en la organización.

A pesar de que los sistemas de mantenimiento se hayan computarizado, presentan ciertas limitaciones cada vez más visibles. El MCC nos da la estructura estratégica y un modelo coherente para poder adaptarlo según las necesidades de la compañía, buscando transformar las relaciones existentes entre los activos físicos y las personas que las operan.

El mantenimiento aplicado a la ingeniería siempre mantendrá el principio inicial, el cual es preservar el estado de una máquina o activo físico. Pero el MCC direccionó de otra manera el punto de vista del mantenimiento, tomando el mantenimiento como medio para asegurar que la máquina continúe realizando la función principal bajo los parámetros que el usuario requiera. Por lo tanto el MCC es un proceso utilizado para determinar qué acciones se deben realizar para asegurar que el activo físico continúe haciendo su función principal en base a los parámetros que el usuario determine.

2.12.1. FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

En un proceso MCC el primer paso es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional junto con sus parámetros de funcionamiento deseado. La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario. Un estándar de funcionamiento puede estar definido por el desempeño o por la capacidad propia del equipo, al evaluar los estándares se pueden considerar características, cuantitativas, cualitativas, absolutas, funcionamiento variable, con límites inferiores y superiores. Las funciones pueden ser de dos tipos 2:

- Funciones primarias, resumen el porqué de la adquisición del activo, cubriendo respuestas como la capacidad, velocidad, producción o calidad.
- Funciones Secundarias, son las que se esperan que cada activo cumpla más allá de sus funciones primarias, como seguridad, economía, eficiencia operacional, etc.

2.12.2. FALLAS FUNCIONALES

Una falla es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que los usuarios quieren que haga, esta definición no distingue las fallas funcionales y los modos de falla, ni tampoco si la falla pertenece a una función primaria o a una función secundaria, debido a que no tiene en cuenta los estándares de funcionamiento. Es por ello que se origina el concepto de falla funcional, siendo esta la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario⁴. Podemos distinguir diferentes aspectos de las fallas funcionales:

- Falla Total y Parcial, se considera falla parcial cuando el deterioro presentado se encuentra por encima del funcionamiento deseado por el usuario y falla total cuando el deterioro cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Límites superiores e inferiores, para definir el estado de falla se tienen en cuenta los límites como estándares de funcionamiento asociados al activo.
- Medidores e indicadores, para definir el estado de falla se usan también indicadores, medidores y sistemas de control.
- Contexto Operacional, evita la generalización de fallas funcionales en los activos.

Llegar a establecer un consenso adecuado de la definición estándares de funcionamiento y de falla funcional entre todas las personas involucradas con el activo. Es el primer paso para adoptar una estrategia adecuada. El MCC reconoce que no todas las fallas pueden prevenirse mediante una revisión o reemplazo preventivo. Por lo tanto las acciones de mantenimiento que no sean rentables en la preservación de la función no se realizarán.

2.12.3. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA

Un modo de falla es el evento o motivo por el cual el activo físico deja de realizar su función o causa una falla funcional. Encontrar los modos de falla y sus efectos es la parte más trabajosa de un análisis MCC, esta debe presentar una descripción detallada de los eventos que permitan seleccionar una estrategia de falla apropiada, los modos de falla representan el nivel al cual se maneja el mantenimiento en un activo físico. Según Moubray los modos de falla se pueden clasificar en 3 grupos:

- Cuando la capacidad es inferior al funcionamiento deseado. Esta tendencia decreciente puede producirse por deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme y errores humanos que reducen la capacidad.
- Cuando el funcionamiento se eleva por encima de la capacidad inicial. Esta tendencia alcista se produce por sobrecargas deliberadas constante, sobrecarga no intencional constante, sobrecarga no intencional repentina e involucran directamente algún error humano.
- Cuando desde el inicio el activo no satisface lo que se quiere. Se dan en situaciones donde usualmente una de las funciones primarias desencadena una falla total.

Al encontrarse los modos de falla estos no deben tratarse de manera aislada debido a la probabilidad de ocurrir que tiene cada uno. Los temas fundamentales al buscar los modos de falla tienen relación con el análisis de causa raíz, errores humanos.

Frente a cada modo de falla existe como mínimo un efecto de falla, la cantidad de efectos puede variar de acuerdo a la complejidad del modo de falla, el efecto describe que es lo que pasa cuando el modo de falla ocurre mejorando los niveles de entendimiento acerca del funcionamiento de los equipos.

2.13. ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

El análisis de causa raíz es un método empleado para comprender las causas de los eventos pasados con el fin de evitar su recurrencia. El ACR generalmente se emplea en todo correctivo.

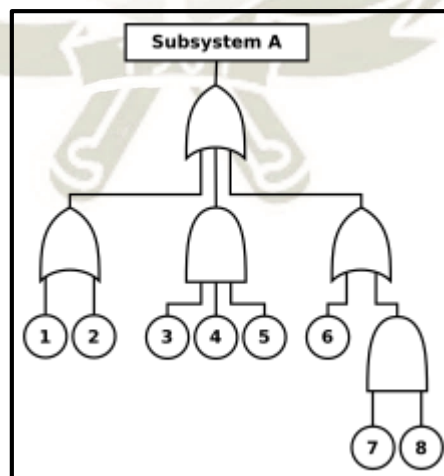
Algunas metodologías de apoyo empleadas durante la ejecución de un ACR son:

- Diagrama de Ishikawa
- Árbol de Fallas
- 5 Porque's
- Causa Efecto

2.13.1. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

Es un análisis de fallos deductivos en que el estado no deseado es analizado utilizando una lógica booleana para generar la combinación de eventos que generan el estado no deseado en un determinado nivel. En la figura 25 se muestra un esquema del árbol de fallos el cual será usado en la presente tesis para la elaboración del análisis de causa raíz.

FIGURA 30. Esquema de Árbol de Fallos

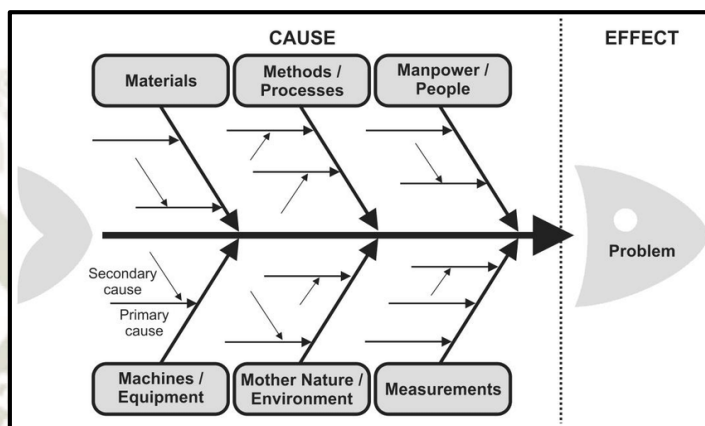


Fuente: Fault tree presentation, 2016, US Military

2.13.2. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama de Ishikawa también conocido como “Diagrama Espina de Pescado” este diagrama muestra las causas principales agrupadas del suceso de un evento.

FIGURA 31. Diagrama de Ishikawa

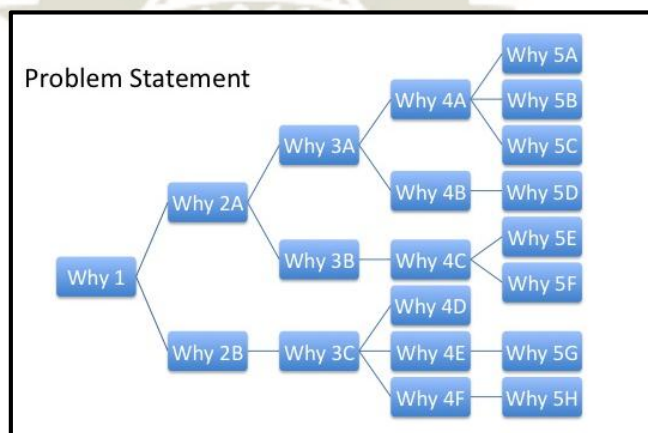


Fuente: Causality of Factor Reducing Competitiveness of e-commerce, 2017, Ilija Hristoski

2.13.3. 5 PORQUE'S

Es una metodología de preguntas utilizada para determinar las posibles relaciones de la causa y el efecto generado de un problema particular. En la figura 27 se muestra un esquema de la metodología explicada, esta no será utilizada en nuestro análisis.

FIGURA 32. Metodología de los 5 Porque's



Fuente: Root Cause Analysis, 2017, Magazine Game Planning Part 15

La metodología de los 5 porque's se basa en suposiciones por lo tanto es importante determinar el problema inicial según la evidencia obtenida, para comenzar a realizar el análisis.

2.13.4. CAUSA – EFECTO

Un diagrama Causa Efecto proporciona un conocimiento común de un problema complejo, sin embargo no identifica y no proporciona respuestas a preguntas. Al igual que en la metodología de los 5 Porque's la identificación del problema inicial es la parte principal y deberá cumplir con las recomendaciones:

- Nunca dará una idea preconcebida de la causa raíz
- Establecer o implicar soluciones de cualquier tipo
- Buscar culpables

2.14. HERRAMIENTAS PARA EL SOPORTE DE TOMA DE DECISIONES

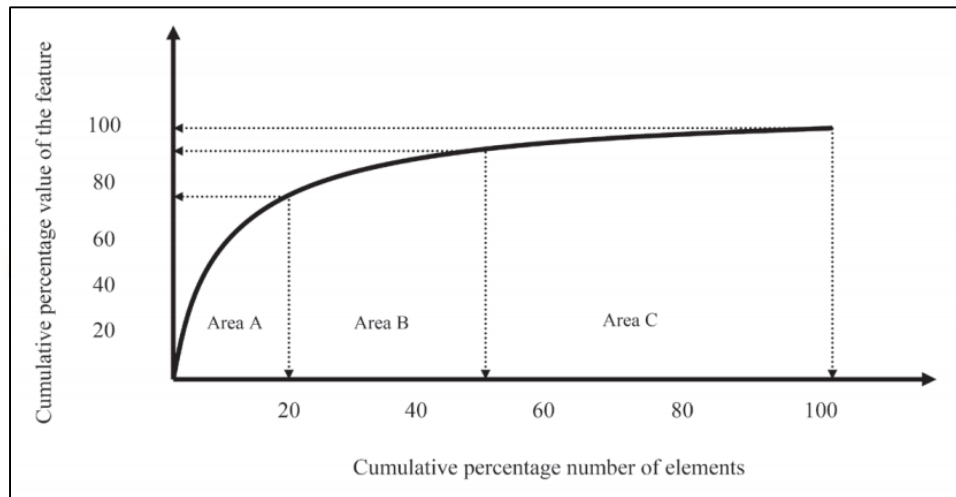
2.14.1. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una herramienta con principios estadísticos para la toma de decisiones que permite visualizar las causas más importantes que dan origen a un problema distinguiéndolas entre las más y las menos determinantes. Fue desarrollada por el economista Vilfredo Pareto, luego de realizar estudios sobre la distribución de riqueza en su país, donde llegó a la conclusión de que el 80% de la riqueza solamente se encontraba en el 20% de la población estudiada.

Esta herramienta tiene mucha aplicación en la toma de decisiones y el control de calidad, su ventaja se centra en los aspectos que tienen mayor importancia para enfocar los esfuerzos del análisis, proporcionan una visión simple gracias a la presentación gráfica resultante del análisis.

En ingeniería de Mantenimiento la aplicación de Pareto se utiliza comúnmente empleando las reglas de clasificación A, B, C o con la generación de las listas “top ten” utilizadas en muchos campos de estudio hoy en día.

FIGURA 33. Gráfico de Pareto subdividido en áreas



Fuente: Pareto Analysis, 2004, Maintenance Journal

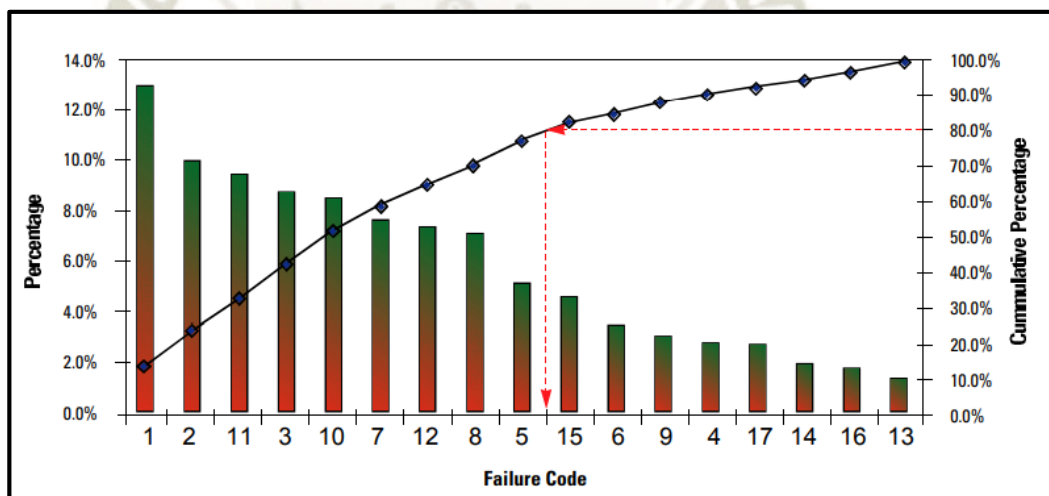
- Área A: Representa el caso en el que el 20% de la población acumula el 80% de las características acumuladas deseadas.
- Área B: Representa el caso en el que el otro 30% de la población contiene un 10% de las características acumuladas deseadas.
- Área C: Representa el 50% restante de la población con contiene un 10% de las características acumuladas deseadas.

En el mantenimiento puede aplicarse Pareto a numerosa cantidad de variables de los activos, siendo las más comunes:

- Horas de parada y horas de funcionamiento (Indisponibilidad y Disponibilidad)
- Número fallas y frecuencia de fallas (MTTR)
- Costos directos y globales

Una de las deficiencias de los diagramas de Pareto en el mantenimiento es que la gran cantidad de variables a tomar puede generar gran información de histogramas y no muestra una relación entre dichas variables, no permite elaborar tendencias ni comparaciones, no considera los eventos individuales que tienen un alto impacto al tiempo de inactividad asociado, fallas frecuentes relativamente cortas pero que ocasionan problemas operacionales, no logrando identificar algún modo de falla que ofrezca una potencial mejora de la fiabilidad ya que el mismo modo de falla puede aparecer en varios histogramas de Pareto en el nivel inferior subestimando su importancia.

FIGURA 34. Diagrama de Pareto



Fuente: Pareto Analysis Step by Step, 2015, Duncan Haughey

2.14.2. DIAGRAMAS JACK – KNIFE

El método Jack-Knife es una herramienta de priorización basada en los métodos de dispersión logarítmica. Peter F. Knights muestra que los diagramas Jack Knife son usados para analizar el tiempo de inactividad del equipo mediante el uso de los diagramas de dispersión logarítmicos estos diagramas de dispersión preservan el ranking proporcionado por el análisis de Pareto, pero proporcionan información

adicional del historial de frecuencias de falla y el MTTR. Aplicando valores límites según criterios establecidos a la frecuencia de falla y al MTTR dividimos el diagrama de dispersión logarítmico en 4 cuadrantes que permiten que las fallas se clasifiquen de acuerdo a sus características crónicas facilitando el análisis de causa raíz. Para el cálculo de los límites empleamos:

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}; \quad D: \sum \text{Tiempo de Detenciones};$$

$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}; \quad Q: \sum \text{Numero de codigos de fallas};$$

$$N: \sum N^{\circ} \text{ total de detenciones}$$

Las fallas se clasifican según la figura mostrada:

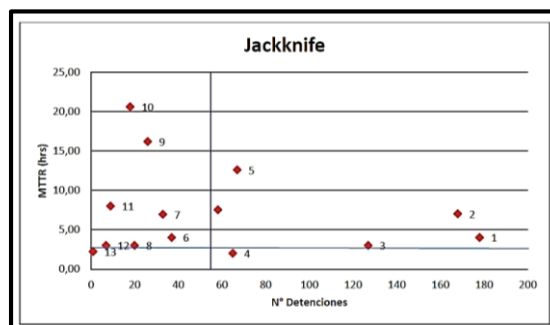
FIGURA 35. Clasificación de fallas según Jack-Knife

FALLAS AGUDAS (Falla controlada pero equipo tendrá alto tiempo de reparación)	FALLAS CRITICA (Falla con alto tiempo de reparación y alta frecuencia)
FALLAS LEVE (falla con bajo tiempo de reparación y baja frecuencia)	FALLAS CRONICA (Falla con bajo tiempo de reparación pero alta frecuencia)

Fuente: Optimización en la gestión del mantenimiento, 2009, Rodrigo Pascual

Estos gráficos facilitan la identificación de problemas de un sistema de mantenibilidad y confiabilidad, adicionalmente a ello se grafican como apoyo al análisis Jack-Knife líneas de indisponibilidad para facilitar la visualización. Con esta herramienta se cambia la orientación y el enfoque según las prioridades establecidas por la compañía. Desde su introducción en 1999, los diagramas de dispersión logarítmica han sido empleados por varias empresas mineras y proveedores de equipos de minería en todo el mundo.

FIGURA 36. Ejemplo de diagrama Jack-Knife



Fuente: Optimización en la gestión del mantenimiento, 2009, Rodrigo Pascual

2.14.3. DIAGRAMA DE DISPERSION DE COSTOS

También conocido como Cost Scatter Diagrams (Diagrama de Dispersión de Costos) es un método complementario desarrollado por R. Pascual, G. del Castillo, D. Louit y P. Knights, cuyo objetivo es integrar el análisis de confiabilidad realizado a través de los diagramas de dispersión JKD y relacionar los costos asociados para otorgar herramientas capaces de priorizar recursos y aplicar mejoras en los activos de la compañía. Los costos asociados pueden ser tan amplios según el encargado del análisis lo desee. Según los autores estos pueden ser:

- C_{ij} = Costo Directo por unidad de tiempo de intervención (Spare, labor, Movilización, Planificación y Administración).
- C_{fj} = Costos de Parada por unidad de tiempo.
- C_{aj} = Costos de Mantenimiento debido a repuestos y sus amortizaciones por unidad de tiempo.
- C_{si*j} = Costos redundantes y otros relacionados con la inversión en la confiabilidad por unidad de tiempo.

$$C_g = \sum (C_{ij} + C_{fj} + C_{aj} + C_{si*j}) * f_j * MTOS_j$$

- C_{si*j} = Costos redundantes y otros relacionados con la inversión en la confiabilidad por unidad de tiempo.

2.15. GESTIÓN DE ACTIVOS

Es la gestión enfocada a los activos de una empresa, permite a una organización realizar el valor de sus activos en el logro de sus objetivos organizacionales. El valor generado a sus activos se da a través de mejoras en los costos financieros, ambientales, sociales, disminuyendo el riesgo, mejorando la calidad del servicio y el desempeño del activo relacionado. El término se utilizó inicialmente en el sector financiero hace más de 100 años para describir las acciones de optimizar riesgo, rendimiento, seguridad a corto y largo plazo de una cartera mixta de efectivo, acciones, inventarios y otras inversiones. Luego la industria del petróleo y gas del Mar del Norte adoptó el término “Gestión de Activos” después del desastre de la plataforma Piper Alpha en 1988 y la caída del precio del petróleo de la década del 1980. Tras estos acontecimientos se crearon equipos pequeños, dinámicos, multidisciplinarios para la gestión de cada plataforma petrolera (“activo”) con una visión global del ciclo de vida. Algunos de los beneficios que se pueden obtener son:

- Mejora del desempeño financiero
- Apoyo en las decisiones para la inversión en activos
- Gestión del riesgo
- Mejora en los servicios y resultados
- Mejorar la habilidad de responsabilidad social
- Mejorando la satisfacción del cliente
- Mejora sostenibilidad organizacional
- Mayor eficiencia y efectividad

A. DEFINICIÓN DE ACTIVOS

Un activo es un ítem, cosa o entidad que tiene valor actual o potencial en una organización.

El valor varía según la organización y sus stakeholders y puede ser tangible e intangible, financiero o no financiero.

B. VIDA DE UN ACTIVO

La vida de un activo, es el periodo desde la creación de un activo hasta el final de su vida.

El periodo descrito no necesariamente coincide con el tiempo en el cual la organización tiene responsabilidad sobre él. Un activo puede proporcionar valor actual o potencial a una o más compañías a lo largo de su periodo de vida y su valor varía.

2.16. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

La gestión de información define explícitamente la información que es requerida, porque es requerida, como es recolectada y medida, formato, quien y cuando debe proveerla. Analizar y tener un soporte para la toma de decisiones, compartiendo claves y códigos de campo para evitar desinformación y obtener una versión simple de la verdad.

2.16.1. NORMA ISO 14224:2006

La norma ISO 14224 especifica los datos que serán recolectados para el análisis de:

- Diseño y configuración del sistema.
- Seguridad, confiabilidad y disponibilidad de los sistemas de plantas.
- Costo del ciclo de vida.
- Planeamiento optimización y ejecución del mantenimiento.
- Busca también especificar datos en un formato normalizado, a fin de:

- Permitir el intercambio de datos sobre M&R entre plantas, propietarios, fabricantes y contratistas involucrados en el proceso.
- Asegurar que los datos de M&R son de calidad suficiente, según el análisis realizado.

2.17. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

El análisis de criticidad permite determinar los niveles de riesgo desde la perspectiva de HSE (Salud, Seguridad, Medio Ambiente) y desde la perspectiva del Impacto en los procesos de producción, empleando como insumo las matrices de riesgo que generan como resultado una jerarquización de activos en función del riesgo.

A. CRITICIDAD

Jerarquización de activos a través de un análisis semi-cuantitativo que es proporcional al “Riesgo” creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

B. CONSECUENCIAS SOBRE LAS PERSONAS

Valora el impacto producido en la integridad de las personas con la ocurrencia de eventos no deseados, es decir, a causa de la falla de un sistema, equipo o componente específico.

C. IMPACTO OPERACIONAL

Corresponde al porcentaje en el que se ve reducida la capacidad de procesamiento horario de los equipos y/o de las instalaciones eléctricas debido a la pérdida de la función total en un sistema, equipo o componente.

D. DURACIÓN DE LA FALLA

- En flota Móvil corresponde al tiempo estimado que se toma en recuperar la capacidad de producción de los equipos luego de la ocurrencia de una falla específica en un equipo y/o sus componentes.
- En instalaciones eléctricas corresponde al tiempo que se toma en recuperar la capacidad instalada de energía luego de la ocurrencia de una falla específica en un sistema, aguas arriba y/o aguas abajo, en un equipo o un componente.
- En las Plantas corresponde al tiempo estimado que se toma en recuperar la capacidad de procesamiento nominal de la Planta luego de la ocurrencia de una falla específica en un sistema, equipo o componente.

E. IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

Valora el impacto o daños producidos en el medio ambiente como consecuencia de la falla de un activo.

2.17.1. NIVEL DE PROBABILIDAD DE FALLA

El proceso de evaluación de criticidad de un activo se inicia determinando el nivel de la probabilidad de ocurrencia de la falla. Se han definido 05 niveles, que contemplan desde frecuencias de ocurrencia menor a una semana hasta frecuencias mayor a 10 años. La descripción detallada de cada nivel de probabilidad de ocurrencia se indica en la Tabla 7.

TABLA 7. Nivel de Probabilidad de Falla

Nivel	Descripción	Descripción Cualitativa	Descripción Cuantitativa
A	Semanales	Se espera que el evento ocurra en la mayoría de los casos	La ocurrencia del evento puede darse con una frecuencia media menor a una semana.
B	Mensuales	El evento ocurrirá probablemente en la mayoría de los casos	La ocurrencia del evento puede darse con una frecuencia media menor a un mes pero mayor a una semana.
C	Anuales	El evento debería ocurrir en algún momento	La ocurrencia del evento puede darse con una frecuencia media menor a un año pero mayor a un mes.
D	En 10 años	El evento podría ocurrir en algún momento	La ocurrencia del evento puede darse con una frecuencia media menor a 10 años pero mayor a un año.
E	Mayor a 10 años	El evento sólo puede ocurrir en casos excepcionales	La ocurrencia del evento se da una vez en la vida útil del activo, o con una frecuencia mayor a 10 años.

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento, 2017, Compañía Minera Antapaccay

2.17.2. VALORACIÓN DEL IMPACTO Y/O CONSECUENCIA DE FALLA

El paso siguiente es evaluar y valorar la consecuencia de la falla bajo los criterios de Consecuencias sobre las Personas, Impacto Operacional, Duración de la Falla e Impacto al Medio Ambiente. Para este paso, hacemos uso de la Tabla 8, donde se observa que la valoración de la consecuencia de la falla para cada criterio de evaluación puede tomar un valor mínimo de 1 hasta un valor máximo de 5.

TABLA 8. Valoración de la Consecuencia

Criterios	Valoración de la Consecuencia				
	1	2	3	4	5
Consecuencia sobre las Personas	Menor	Médico	Incapacidad / Incidente de Tiempo Perdido	Incapacidad Permanente	Mortalidad / Mortalidades
Impacto Operacional	Pérdida de Producción entre 0% - 15%	Pérdida de Producción entre 16% - 30%	Pérdida de Producción entre 31% - 60%	Pérdida de Producción entre 61% - 80%	Pérdida de Producción entre 81% - 100%
Duración de la Falla	Insignificante < 1 hora	Menor entre 1hrs-4hrs	Moderada entre 4hrs-12hrs	Importante entre 12hrs- 24hrs	Severo mayor a 24hrs
Impacto al Medio Ambiente	No Conformidad Menor, Sin impacto, Incumplimiento menor en el procedimiento	Impacto Menor, Impacto mínimo fuera del área local	Impacto Moderado, Externo al área local, Generalmente contenido en el sitio	Impacto Importante, Lesión o incumplimiento de las condiciones u obligaciones de licencia, descargas fuera de sitio	Catástrofe Largo plazo, Implicaciones legales, significativas y potencial para la comunidad

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento, 2017, Compañía Minera Antapaccay

2.17.3. VALORACIÓN DEL IMPACTO Y/O CONSECUENCIA DE FALLA

El cálculo numérico de la Consecuencia como valor global se obtiene de la combinación de las valoraciones parciales de la Consecuencia para cada criterio, multiplicadas por un peso ponderado determinado. Este cálculo permite tener una valoración de la Consecuencia en el cual se incluyen todos los criterios establecidos en la Tabla 8.

$$[\text{Consecuencia}] = [\text{CP} \times \text{PP1}] + [\text{IO} \times \text{PP2}] + [\text{DF} \times \text{PP3}] + [\text{IA} \times \text{PP4}]$$

Dónde:

CP: Valoración de las Consecuencia sobre Personas

IO: Valoración del Impacto Operacional

DF: Valoración sobre la Duración de la Falla

IA: Valoración del Impacto al Medio Ambiente

PPn: Peso Ponderado según la Tabla 9

La aplicación de los pesos ponderados sobre el valor de consecuencia permite asignar una mayor o menor prioridad a los criterios evaluados, permitiendo a la organización alinear sus estrategias de la gestión de activos con las Políticas corporativas de gestión integrada.

TABLA 9. Pesos ponderados Activos en flota móvil mina

Peso Ponderado	Valor	Descripción
PP1	0.30	Peso ponderado aplicado a las Consecuencia sobre las Personas.
PP2	0.25	Peso ponderado aplicado al Impacto Operacional
PP3	0.25	Peso ponderado aplicado a la Duración de la Falla
PP4	0.20	Peso ponderado aplicado al Impacto al Medio Ambiente.

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento, 2017, Compañía Minera Antapaccay

2.17.4. ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE CRITICIDAD

Como último paso del proceso se asigna el nivel de criticidad según la Tabla 10.

TABLA 10. Matriz de determinación de nivel de criticidad

Probabilidad	A	D	C	B	A	A
	B	D	D	C	B	A
	C	D	D	C	B	B
	D	D	D	D	C	C
	E	D	D	D	D	C
		0 < C <=1	1 < C <=2	2 < C <=3	3 < C <=4	4 < C <=5
		Consecuencia				

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 11. Nivel de Criticidad

Leyenda	Ellipse
Criticidad Extrema	A
Alta Criticidad	B
Moderada Criticidad	C
Baja Criticidad	D

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento, 2017, Compañía Minera Antapaccay

2.18. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE COMPONENTES

El objetivo del análisis de criticidad de componentes es minimizar los tiempos de reparaciones con un control eficaz de los costos por repuestos y/o componentes necesarios para la atención de los mantenimiento de las flotas de equipos de mantenimiento.

A. RESPUESTO

Es un elemento guardado en caso de que otro elemento del misma tipo se ha perdido, roto o desgastado. Es cualquier pieza, componente o subconjunto mantenido en reserva para el mantenimiento y reparación de los elementos principales de un equipo.

B. REPUESTO EN OPERACIÓN

Un repuesto de operación es un repuesto para un componente que.

- La probabilidad de fracaso es alto.
- El modo de fallo se entiende.
- El MTBF es frecuente.
- Puede ser fundamental para el proceso y puede causar una pérdida inaceptable en el caso de un fallo.
- Detección de fallo es posible.

- Existe alguna redundancia en el lugar, pero reduce la capacidad o incrementa el riesgo de la reparación o el incremento del tiempo de reemplazo.
- Tiene un plazo mediano en la entrega del repuesto de reemplazo.

C. REPUESTO DE CONSUMIBLE

Un repuesto consumible es un repuesto para un componente que:

- En realidad no fallan, pero se consume por el proceso;
- Frecuencia de consumo puede ser estimado y varía con el nivel de uso o rendimiento;
- Puede ser fundamental para el proceso y puede causar pérdida inaceptable en el caso de un fallo.

D. REPUESTO DE CAPITAL

Son los que se compran a través del presupuesto de gastos de capital original como parte de la instalación de la nueva planta y equipo.

E. REPUESTO DE CRÍTICO

Un repuesto crítico es un repuesto para un componente que:

- Tiene baja probabilidad de falla.
- Es crítico para el proceso y causará una pérdida inaceptable en caso falle.
- La detección de falla demanda complejidad o es incierta.
- No tiene redundancia en su lugar.
- Tiene un largo tiempo de entrega para el repuesto de reemplazo.
- Es fundamental para el proceso y causará inaceptable pérdida en el caso de un fallo;
- Detección de fallo es posible;
- Deben estar disponibles al 100%.

2.18.1. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CRITICIDAD DE LOS REPUESTOS

El nivel de criticidad de los repuestos se determina mediante la multiplicación de estrategia, frecuencia e impacto.

$$[\text{Criticidad}] = \text{Estrategia} \times \text{frecuencia} \times \text{impacto}$$

A. ESTRATEGIA

La selección de la estrategia se realizará en base a un factor ponderado según la tabla mostrada.

TABLA 12. Tabla de Selección de factor Estrategia

Descripción	Cantidad
No cuenta con estrategia	1
Si cuenta con estrategia	0.5

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

B. FRECUENCIA

La selección de la frecuencia se realizará en función a la tasa de cambio por desgaste o por falla del repuesto o componente, según la tabla 13 mostrada.

TABLA 13. Tabla de Selección de factor de Frecuencia

Tasa de cambio	Horas	Puntaje
Muy Bajo	8761 a Mas (Mas de 1 Año)	5
Bajo	4381 a 8760 (6 Meses a 1 Año)	4
Medio	2161 a 4380 (3 Meses a 6 Meses)	3
Alto	169 a 2160 (1 Semana a 3 Meses)	2
Muy Alto	0 a 168 (1 Semana)	1

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

C. IMPACTO

La selección del impacto de la indisponibilidad del repuesto o componente del negocio, se realiza a través de la tabla mostrada. Los valores a, b y c, representan pesos ponderados a criterio según cada una de las tablas.

$$[\text{Impacto}] = a \times \text{IE} \times (\text{CE}) + b \times \text{LT} + c \times \text{CA}$$

TABLA 14. IE Impacto en el equipo padre

IE = Impacto en el equipo padre	Descripción	Puntaje
Afecta la operación del equipo	Total (100%)	4
Afecta la capacidad del equipo en 50% o más	Parcial ($\geq 50\%$)	3
Afecta la capacidad del equipo en menos del 50%	Parcial ($< 50\%$)	2
No afecta la operación/capacidad del equipo (Redundancia o Stand By)	Nula (0%)	1

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 15. Criticidad del Equipo Padre

CE= Criticidad del equipo padre	Descripción	Puntaje
	Altamente crítico	4
	Medianamente crítico	3
	Baja criticidad	2
	No crítico	1

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 16. Lead Time del Repuesto

LT = Lead Time del Repuesto	Días	Puntaje
	60 a más	4
	31 a 60 días	3
	15 a 30 días	2
	1 a 14 días	1

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 17. Factor de Acondicionamiento de Equipos

CA = Se puede retirar de equipos similares o se puede acondicionar	Descripción	Puntaje
	No es posible encontrarlo, req. Fab. especial	5
	Si es posible encontrarlo externamente < 1 Mes	4
	Es posible acond/repar externamente < 2 Sem	3
	Es posible acond/repar localmente < 1 Sem	2
	Es posible encontrarlo internamente < 1 Día	1

Fuente: Mantenimiento Mecánico, 2017, Compañía Minera Antapaccay

CAPITULO III: DESARROLLO Y ANÁLISIS

3. ANÁLISIS DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realizara el Análisis Jack Knife y Análisis de Causa Raiz a las palas electromecánicas CAT7495HR durante los periodos 2016, 2017 y 2018. Los resultados serán analizados y mostrados gráficamente, para posteriormente realizar el Análisis de Causa Raíz a través del esquema de árbol de fallos a los sistemas seleccionados y determinados como críticos para conseguir mejoras en la disponibilidad.

3.2. ANÁLISIS REAL DE LOS PERIODOS 2016, 2017 Y 2018

En la minera Antapaccay se tienen 3 palas CAT7495HR, operaciones mina te indica a mediados de año cuanto de disponibilidad van a necesitar para el siguiente año para cumplir con el envío de mineral a planta concentradora, está disponibilidad se compara con los trabajos programados de mantenimiento que se tienen para el próximo año tanto cambios de componentes, como mantenimientos preventivos y un porcentaje de imprevistos, si esta disponibilidad es mayor a la brindada por operaciones mina no se tiene inconvenientes, en caso contrario se tiene que llegar a un consenso ya que al no ejecutar trabajos programados el equipo puede tener fallas críticas o también en muchos casos se analizan las disponibilidades de flotas similares para que estén pueda ayudar al envío de mineral sin embargo, la disponibilidad de la flota auxiliar se ve afectada. Después de este consenso las disponibilidades pactadas se tienen que cumplir, debido a que son las palas las que se encargan del abastecimiento de mineral y no se pueda afectar la producción de mineral concentrado.

A continuación, se muestran las disponibilidades de los años 2016 – 2017 y 2018.

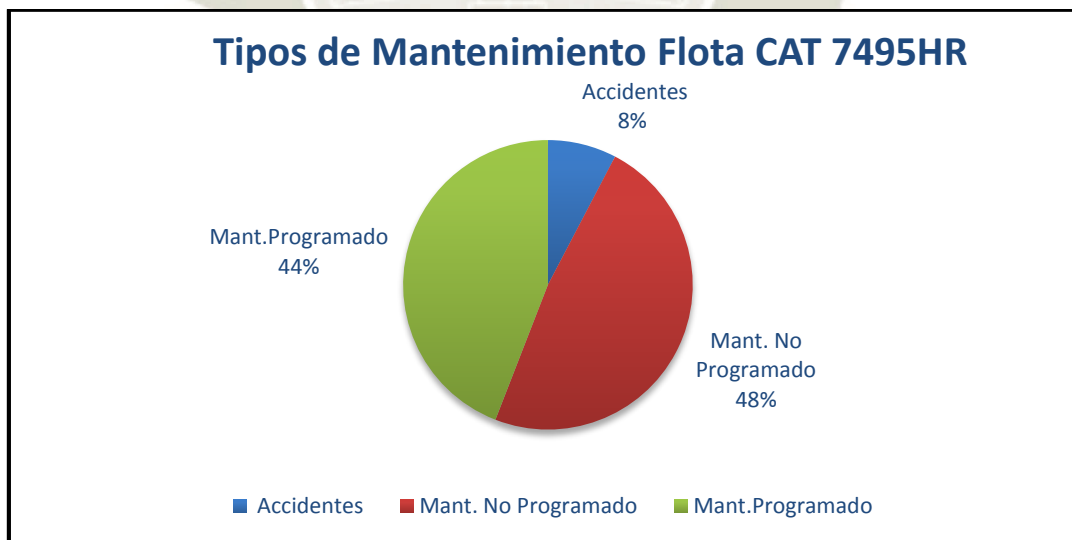
TABLA 18. Disponibilidades reales y presupuestadas por año

TIM	2016		2017		2018	
	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo	Actual	Objetivo
7495HR	88.6%	87.2%	89.2%	87.1%	88.2%	87.0%

Fuente: Year to Date vs Budget – Caterpillar 7495HR, 2016-2018, Compañía Minera Antapaccay

En la tabla de disponibilidades se puede ver que se está cumpliendo lo pactado por mina, pero en la mayoría de los casos operaciones mina te va pedir una mayor disponibilidad ya que el material que ellos envían no tiene la ley que se calculó a inicios de año, por lo cual su envío de material tiene que ser mayor. Las disponibilidades siempre tienen que estar por encima del Budget por lo cual se tiene que trabajar reduciendo los imprevistos, ya que la otra alternativa será postergar mantenimientos programados lo cual daña los componentes y al equipo, pudiendo ocasionar paradas mayores. A continuación, se muestra el porcentaje de categorías de mantenimiento que se tienen en los años 2016, 2017, 2018.

FIGURA 37. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2016



Fuente: Informe Anual, 2016, Compañía Minera Antapaccay

A continuación, se muestra el porcentaje de para de mantenimiento durante el periodo 2016 en la Compañía Minera Antapaccay.

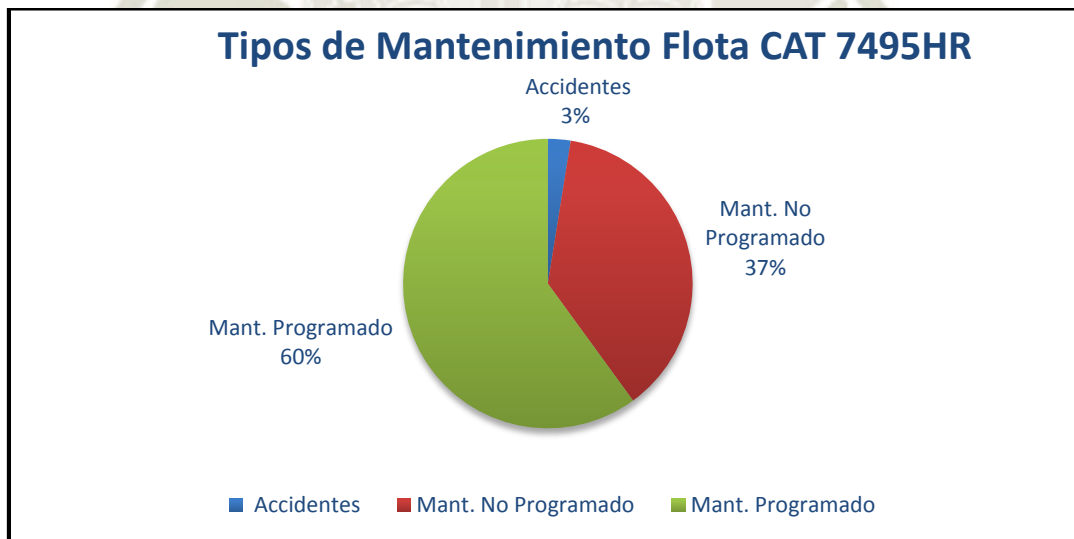
TABLA 19. Tipos de Mantenimiento Flota CAT 7495HR 2016

TIPOS DE MANTENIMIENTO 2016		
DESCRIPCIÓN	HRS	%
Accidentes	235.5	8%
Mant. No Programado	1479.2	48%
Mant. Programado	1352.2	44%
Total	3067.0	100%

Fuente: Informe Anual, 2016, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2016 se puede ver que los mantenimientos programados son el 44% lo cual está por debajo de las mejores prácticas de mantenimiento el cual te indica que debería ser del 70% y los mantenimiento no programados son del 48% el cual debería ser de 25% o menor. Se tiene que los mantenimientos programados son mayores, por lo cual indica que las estrategias de mantenimiento no están siendo efectivas. Lo correspondiente accidentes lo analiza operaciones mina ya que suelen ser por malas operaciones, condiciones de terreno entre otras.

FIGURA 38. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2017



Fuente: Informe Anual, 2017, Compañía Minera Antapaccay

A continuación, se muestra el porcentaje de para de mantenimiento durante el periodo 2017 en la Compañía Minera Antapaccay.

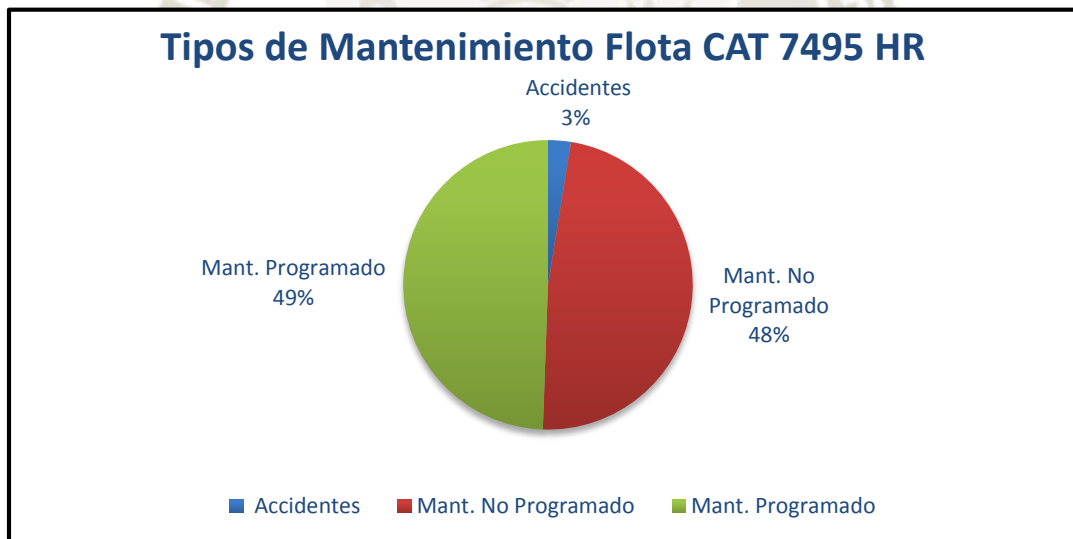
TABLA 20. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2017

TIPOS DE MANTENIMIENTO 2017		
DESCRIPCIÓN	HRS	%
Accidentes	71.3	3%
Mant. No Programado	1057.0	37%
Mant. Programado	1693.4	60%
Total	2821.8	100%

Fuente: Informe Anual, 2017, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2017 se puede ver que los mantenimientos programados son el 60% lo cual demuestra que se mejoró en el mantenimiento programado con respecto al año pasado y los mantenimientos no programados son del 37% lo cual es una consecuencia de la mejoría de mantenimiento programado.

FIGURA 39. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2018



Fuente: Proyección de cierre de periodo, 2018, Compañía Minera Antapaccay

A continuación, se muestra el porcentaje de para de mantenimiento hasta octubre del 2018 en la Compañía Minera Antapaccay.

TABLA 21. Tipos de mantenimiento Flota CAT 7495HR 2018

TIPOS DE MANTENIMIENTO 2018		
DESCRIPCIÓN	HRS	%
Accidentes	58.7	3%
Mant. No Programado	1109.7	48%
Mant. Programado	1142.2	49%
Total	2310.6	100%

Fuente: Proyección de cierre de periodo, 2018, Compañía Minera Antapaccay

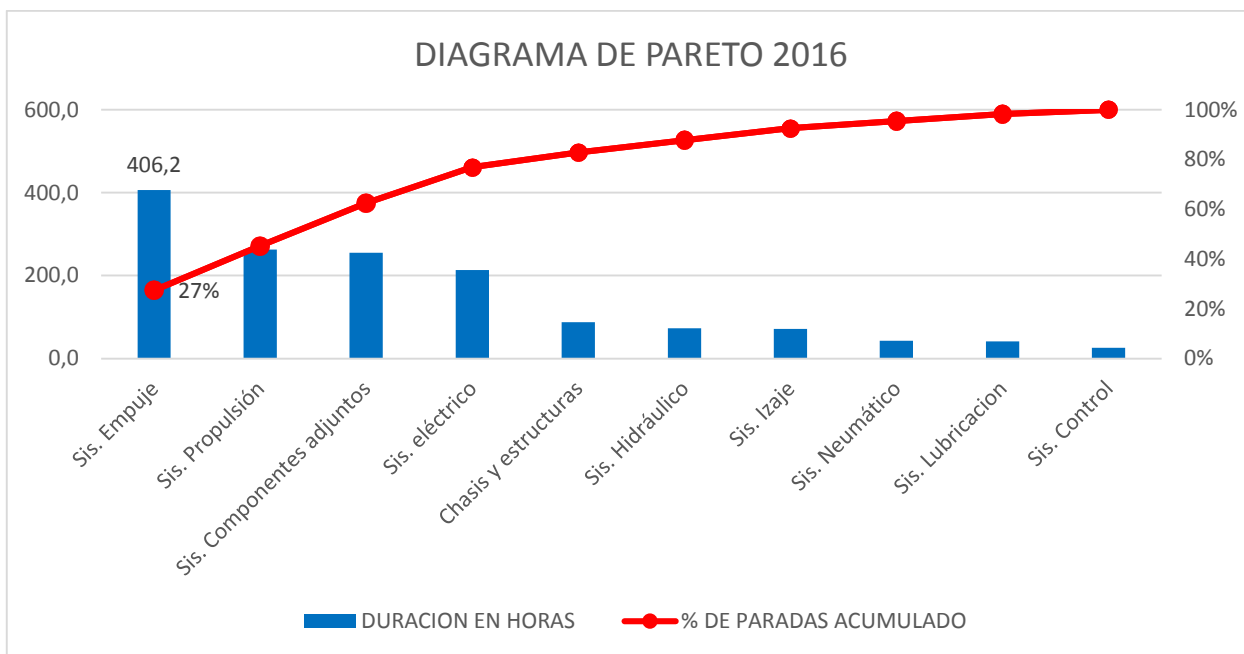
En el año 2018 se puede ver que los mantenimientos programados son el 48% lo cual demuestra que no se tuvo continuidad con los planes de mantenimiento programados o que los trabajos correctivos que se dieron fueron inesperados o no se controlaban por estrategias por lo cual sus correcciones tomaron más tiempo de lo esperado.

En el desarrollo de esta tesis se comenzará analizando las fallas por mantenimientos no programados en base a Top Ten o diagrama de Pareto y Jack Knife, en el cual se realizará mejoras al componente o planes de mantenimiento para mitigar los imprevistos que más están impactando a la disponibilidad.

3.3. ANÁLISIS DE PARETO O TOP TEN

Analizando por diagrama de Pareto tomando como indicador las horas de parada de los años 2016, 2017 y 2018 se encontró en común que más del 20% de paradas están en el cilindro de Hydracrowd, a continuación, se mostrara el análisis de Pareto realizado a la flota de 3 electromecánicas CAT 7495HR de Compañía Minera Antapaccay. Este análisis se presentara por cada año de trabajo en los periodos 2016 (figura 35), 2017 (figura 36) y finalmente en el periodo 2018 (figura 37).

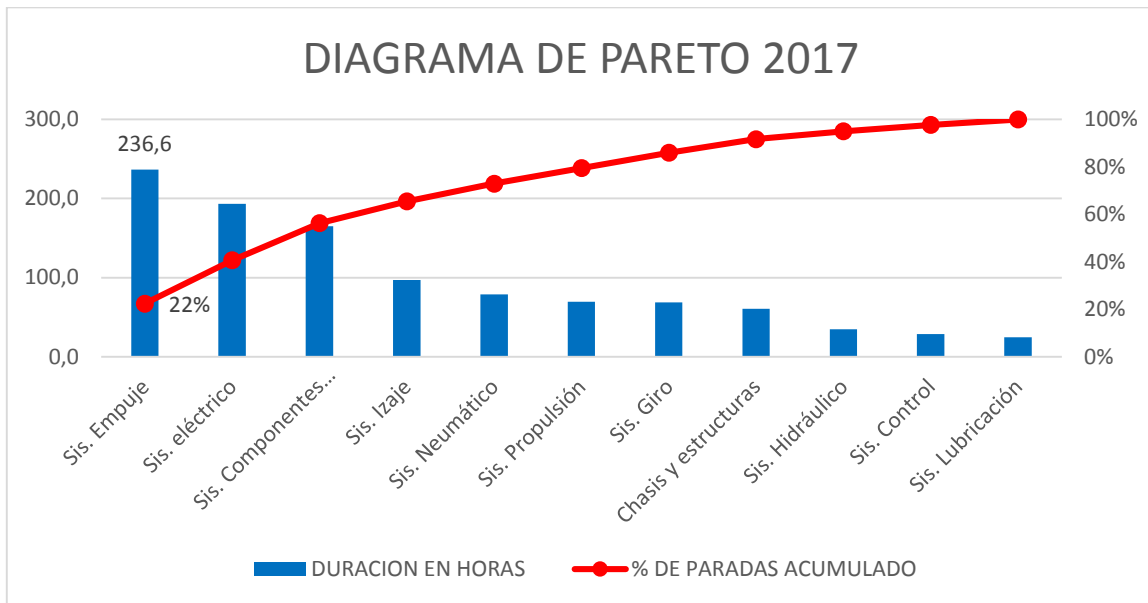
FIGURA 40. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2016



Fuente: Datos de DISPATCH, 2016, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2016 se tienen 406.2 horas de paradas que corresponden al 27% de tiempo perdido que se tuvieron para este año, el cual corresponde en disponibilidad al 1.5%, estas paradas fueron mayormente por roturas de abrazaderas de los covers de los cilindros de hydracrowd, regulaciones de presiones en el manifold del cilindro y cambio de cilindro de hydracrowd por rayaduras y contaminación de Cr en sistema hidráulico. Cada uno de los componentes descritos pertenece a un sistema mostrado en la taxonomía del capítulo 2. Estos componentes serán analizados posteriormente en el Análisis de Causa Raíz a través del árbol de fallos.

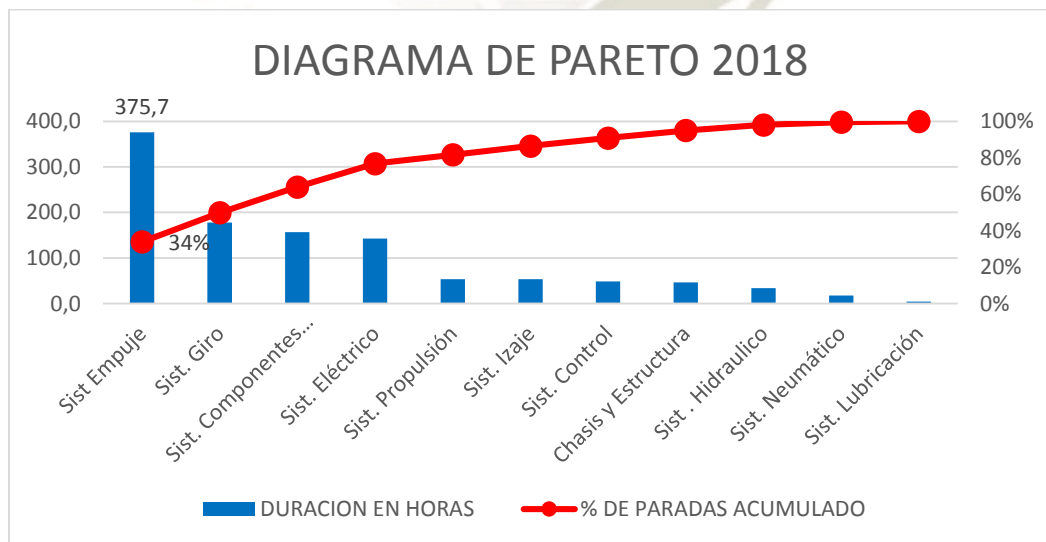
FIGURA 41. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2017



Fuente: Datos de DISPATCH, 2017, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2017 se tienen 236.6 hrs de paradas que corresponden al 22% de tiempo perdido que se tuvieron para este año, el cual corresponde en disponibilidad al 0.9%, estas paradas fueron mayormente por roturas de abrazaderas de los covers de los cilindros de hydracrowd, regulaciones de presiones en el manifold del cilindro.

FIGURA 42. Análisis de Pareto Flota CAT 7495HR 2018



Fuente: Datos de DISPATCH, 2018, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2018 se tienen 456.3 hrs de paradas que corresponden al 48% de tiempo perdido que se tuvieron para este año, el cual corresponde en disponibilidad al 2.3%, estas paradas fueron mayormente por roturas de abrazaderas de los covers de los cilindros de hydracrowd, regulaciones de presiones en el manifold del cilindro, fugas de aceite y cambio de cilindro Hydracrowd.

Como resumen de estos 3 años analizados nos indica que el problema está ubicado en el sistema de cilindro de Hydracrowd, el cual ocasiona más del 20% de las paradas y según esta herramienta nos indica que ahí ponemos solucionar el 80% de nuestros problemas.

3.4. ANÁLISIS JACK KNIFE

Para tener una mayor certeza de lo que se va analizar se usará una herramienta de priorización como el Jack Knife este nos va dar la prioridad del sistema analizar.

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}; \quad D: \sum \text{Tiempo de Detenciones};$$

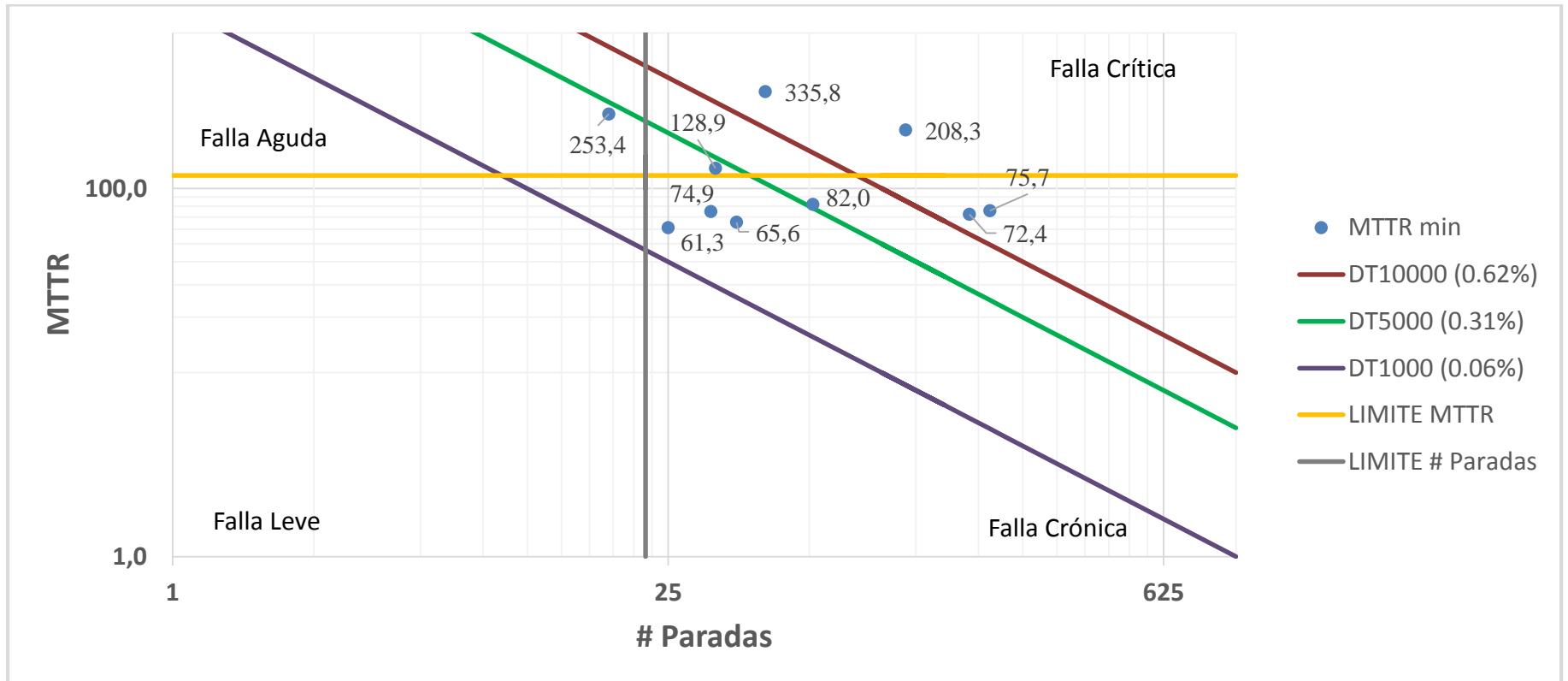
$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}; \quad Q: \sum \text{Numero de codigos de fallas};$$

$$N: \sum \text{N}^\circ \text{ total de detenciones}$$

$$\text{Limite MTTR} = \frac{88754.2}{755.0} = 118$$

$$\text{Limite } n = \frac{755.0}{35} = 22$$

FIGURA 43. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016



Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica, 2016, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 22. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN (Minutos)	PARADAS (Cantidad)	MTTR (Minutos)	DURACIÓN (Horas)
Sis. Empuje	24369.7	117	208.3	406.2
Sis. Propulsión	15780.8	47	335.8	263.0
Sis. Componentes adjuntos	15284.0	202	75.7	254.7
Sis. eléctrico	12821.8	177	72.4	213.7
Chasis y estructuras	5245.0	64	82.0	87.4
Sis. Hidráulico	4384.2	34	128.9	73.1
Sis. Izaje	4308.2	17	253.4	71.8
Sis. Neumático	2557.5	39	65.6	42.6
Sis. Lubricacion	2471.3	33	74.9	41.2
Sis. Control	1531.5	25	61.3	25.5
Total	88754.2	755.0		1479.2

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2016, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2016 se tuvieron 2 sistemas con fallas críticas que necesito de un alto de tiempo de reparación y se mostraba con una alta tasa de frecuencia, estos fueron el sistema de Empuje y el sistema de Propulsión, también se pueden distinguir fallas crónicas con bajo tiempo de reparación y una alta frecuencia como los sistemas de componentes adjuntos y sistema eléctrico y se tuvo un sistema el cual su tiempo de reparación fue alto sin tener muchos eventos el cual fue el de izaje.

En el grafico mostrado anteriormente se tuvieron como guía:

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}; \quad D: \sum \text{Tiempo de Detenciones};$$

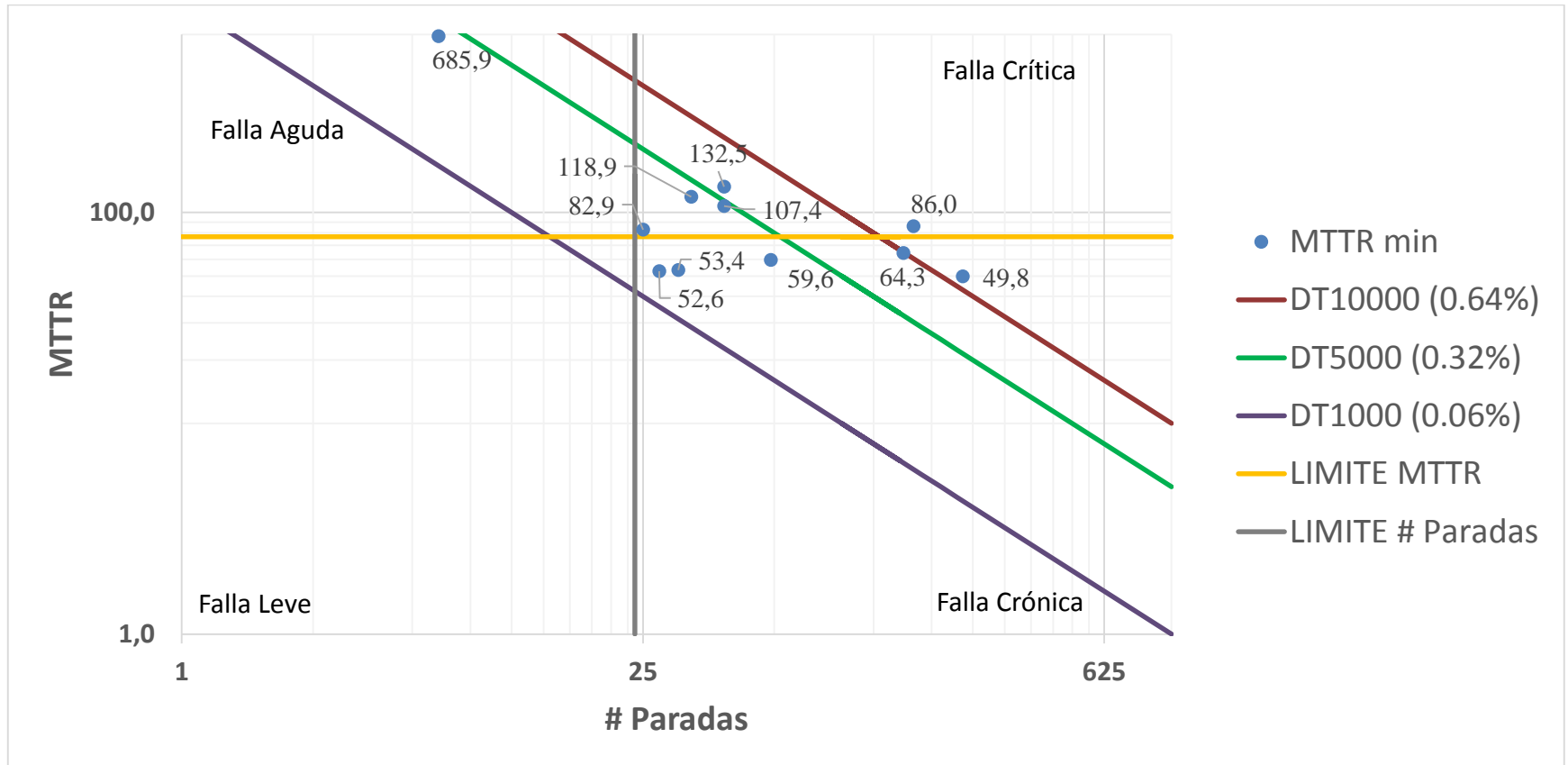
$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}; \quad Q: \sum \text{Numero de codigos de fallas};$$

$$N: \sum N^{\circ} \text{ total de detenciones}$$

$$\text{Limite MTTR} = \frac{63422.2}{827.0} = 77$$

$$\text{Limite } n = \frac{827.0}{35} = 24$$

FIGURA 44. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2017



Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica, 2017, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 23. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2017

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN (Minutos)	PARADAS (Cantidad)	MTTR (Minutos)	DURACIÓN (Horas)
Sis. Empuje	14196.3	165	86.0	236.6
Sis. eléctrico	11604.7	233	49.8	193.4
Sis. Componentes adjuntos	9903.2	154	64.3	165.1
Sis. Izaje	5830.5	44	132.5	97.2
Sis. Neumático	4724.7	44	107.4	78.7
Sis. Propulsión	4161.1	35	118.9	69.4
Sis. Giro	4115.4	6	685.9	68.6
Chasis y estructuras	3633.7	61	59.6	60.6
Sis. Hidráulico	2072.0	25	82.9	34.5
Sis. Control	1707.9	32	53.4	28.5
Sis. Lubricación	1473.1	28	52.6	24.6
Total	63422.6	827.0		1057.0

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2017, Compañía Minera Antapaccay

En el año 2017 se tuvieron 4 sistemas con fallas críticas de los cuales más resalta el de Empuje e izaje, para lo cual el primero se vuelve a repetir y el segundo comenzó a tener más eventos lo cual ocasiono que se pase de cuadrante e indica que no se realizaron planes de acción para la mejora de estos. Con respecto a fallas crónicas se tienen los sistemas de componentes adjuntos y sistema eléctrico. Y el sistema de giro tuvo detenciones con demasiado tiempo de reparación y pocos eventos, consideradas fallas agudas.

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}; \quad D: \sum \text{Tiempo de Detenciones};$$

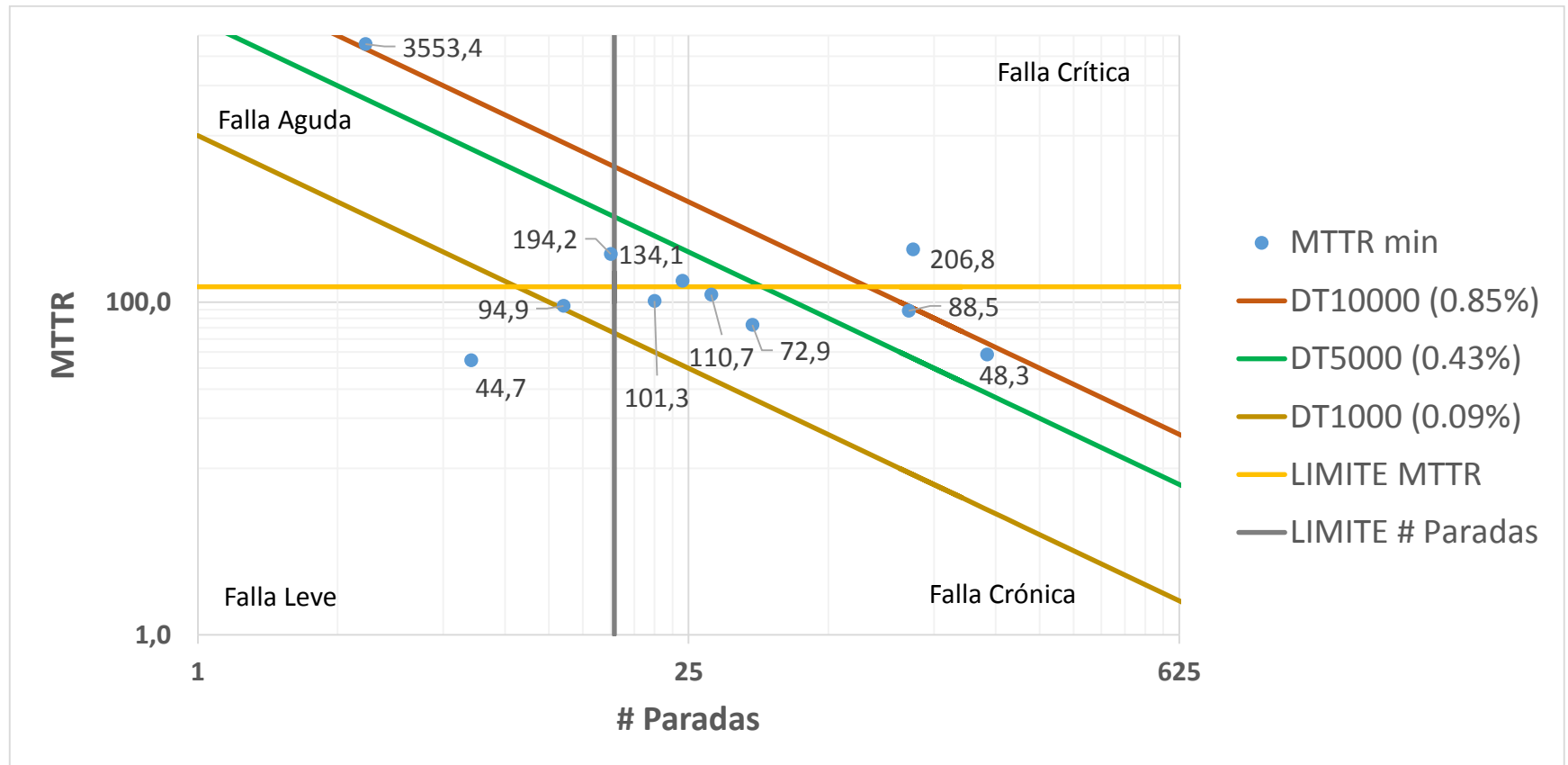
$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}; \quad Q: \sum \text{Numero de codigos de fallas};$$

$$N: \sum N^{\circ} \text{ total de detenciones}$$

$$\text{Limite MTTR} = \frac{66584.3}{538.0} = 124$$

$$\text{Limite } n = \frac{538.0}{35} = 15$$

FIGURA 45. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2018



Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica, 2018, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 24. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2018

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN (Minutos)	PARADAS (Cantidad)	MTTR (Minutos)	DURACIÓN (Horas)
Sis. Empuje	22543.9	109	206.8	375.7
Sis. Componentes adjuntos	10660.3	3	3553.4	177.7
Sis. Giro	9383.3	106	88.5	156.4
Sis. eléctrico	8546.5	177	48.3	142.4
Sis. Izaje	3218.7	24	134.1	53.6
Sis. Propulsión	3208.9	29	110.7	53.5
Chasis y estructuras	2913.4	15	194.2	48.6
Sis. Control	2771.4	38	72.9	46.2
Sis. Hidráulico	2025.7	20	101.3	33.8
Sis. Neumático	1044.2	11	94.9	17.4
Sis. Lubricacion	268	6	44.7	4.5
Total	66584.3	538.0		1109.7

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

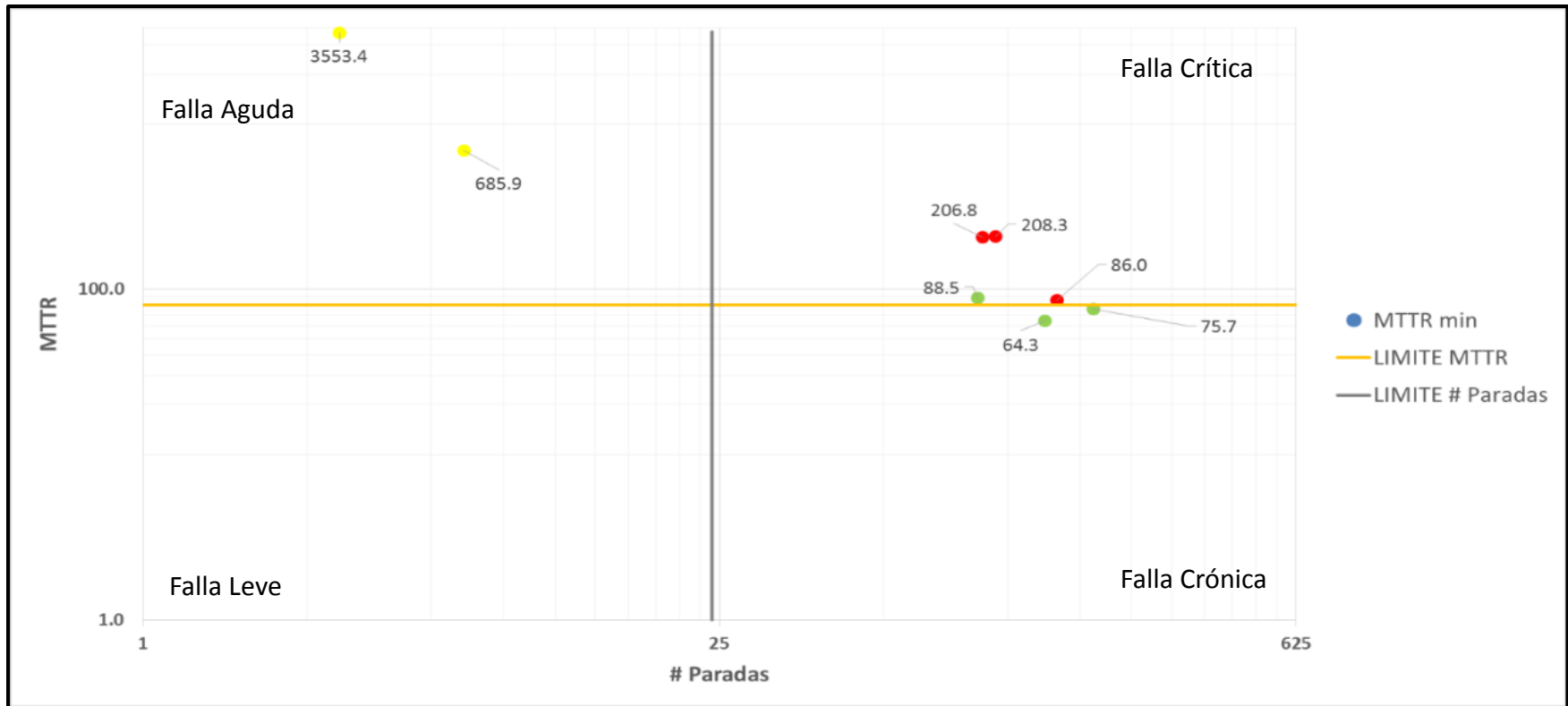
En el año 2018 se tuvo el sistema Empuje como única con fallas críticas, lo cual ya se está dando por 3 años consecutivos. Con respecto a fallas crónicas se tienen los sistemas de componentes adjuntos y sistema eléctrico, los cuales se vuelven a repetir por segundo año consecutivo. Y el sistema de giro tuvo una gran detención ya que se ubicó en una zona con alto tiempo de reparación.

$$\text{Limite MTTR} = \frac{D}{N}; \quad D: \sum \text{Tiempos de Detenciones};$$

$$\text{Limite } n = \frac{N}{Q}; \quad Q: \sum \text{Numero de codigos de fallas};$$

$$N: \sum N^{\circ} \text{ total de detenciones}$$

FIGURA 46. Análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016, 2017 y 2018



Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica, 2016, 2017 y 2018, Compañía Minera Antapaccay

A continuación se hará una línea de tiempo en base a los años de los componentes que tuvieron más fallas en los últimos 3 años de los diferentes cuadrantes del Jack Knife, los cuales son el sistema de Empuje, componentes adjuntos y giro

TABLA 25. Datos de análisis Jack Knife Flota CAT 7495HR 2016, 2017 y 2018

DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS	DURACIÓN (Minutos)	PARADAS (Cantidad)	MTTR (Minutos)	DURACIÓN (Horas)	MTTR (horas)
2018 – Sis. Empuje	22543.9	109	206.8	375.7	3.4
2017 - Sis. Empuje	14196.3	165	86.0	236.6	1.4
2016 - Sis. Empuje	24369.7	117	208.3	406.2	3.5
2018 - Componentes Adjuntos	9383.3	106	88.5	156.4	1.5
2017 - Componentes Adjuntos	9903.2	154	64.3	165.1	1.1
2016 - Componentes Adjuntos	15284.0	202	75.7	254.7	1.3
2018 – Sis. Giro	10660.3	3	3553.4	177.7	59.2
2017 – Sis. Giro	4115.4	6	685.9	68.6	11.4
Total	110456.2	862		1840.9	

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2016, 2017 y 2018, Antapaccay

El Sistema de Empuje se siguió manteniendo en los 3 años como falla crítica, con alto tiempo de reparación y alta frecuencia, por lo cual se realizará el análisis.

El Sistema de componentes adjuntos se siguió manteniendo en los 3 años como falla crónica con tiempo de reparación corto y alta frecuencia, por lo cual se analizará.

El sistema de Giro se siguió mantenimiento en 2 años como falla aguda, con alto tiempo de reparación y baja frecuencia.

3.5. ANÁLISIS DE FALLAS DEL SISTEMA DE EMPUJE

De los eventos ocurridos en los años del 2016 al 2018 correspondiente al sistema de Hydracrowd, analizaremos su subsistema y sus partes para poder atacar a lo más crítico y repetitivo de cada uno.

TABLA 26. Análisis de sub-sistemas del Empuje

AÑO	DESCRIPCIÓN	TOTAL (Horas)
2016	Líneas y hardware	34.6
2016	Cilindro de Hydracrowd	265.3
2016	Módulo de potencia	20.1
2016	Múltiple de control del cilindro	86.0
2016	Total	406.1
2017	Líneas y hardware	61.9
2017	Cilindro de Hydracrowd	54.1
2017	Módulo de potencia	9.8
2017	Múltiple de control del cilindro	110.6
2017	Total	236.6
2018	Líneas y hardware	30.9
2018	Cilindro de Hydracrowd	171.8
2018	Módulo de potencia	42.1
2018	Múltiple de control del cilindro	130.7
2018	Total	375.7
Total		1018.5

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2016, 2017 y 2018, Antapaccay

En el año 2016 los subsistemas con más fallas fueron el cilindro de Hydracrowd con el múltiple de control, en el año 2017 se tienen múltiple de control con líneas y cilindro de Hydracrowd y en el 2018 se tienen el mango de Hydracrowd con múltiple de control; a continuación disgregaremos estos por partes para poder tener un mejor concepto de estos problemas.

TABLA 27. Análisis de partes del Sistema de Empuje

AÑO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE PARTE	TOTAL (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2016	Líneas y hardware		34.5	Cambio de mangueras y corrección de fugas. 23.3 hrs abrazaderas del cover se rompen y dañan cableado eléctrico. 1 evento.
2016	Cilindro Hydracrowd	Buje guía handle	2.7	
2016	Cilindro Hydracrowd	Cilindro de empuje	236.7	Cambio de cilindro de Hydracrowd por fuga de aceite por sellos inferiores 177 hrs. Reposición de aceite Hidráulico por fugas de aceite en el cilindro de Hydracrowd 49 hrs.
2016	Cilindro Hydracrowd	Saddle block (silla)	16.6	Reposición y Ajustes de pernos de Saddle Block.
2016	Cilindro Hydracrowd	Sleeve	0.2	
2016	Cilindro Hydracrowd	Switches de límite	9.0	
2016	Módulo de potencia	Bomba de circulación de aceite	14.4	Evaluación y cambio de bomba de circulación de aceite.

AÑO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE PARTE	TOTAL (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2016	Módulo de potencia	Enfriador de aceite	0.3	
2016	Módulo de potencia	Mando de bombas	1.4	
2016	Módulo de potencia	Motor de empuje	3.9	
2016	Múltiple de control	Acumulador	14.7	Cambio de acumulador y regulación de presiones
2016	Múltiple de control	Bomba descarga válvula puv	2.9	
2016	Múltiple de control	Múltiple de control de la bomba	1.1	
2016	Múltiple de control	Múltiple de control del cilindro	2.62	Regulación de presiones y cambio de repuestos.
2016	Múltiple de control	Sensores	11.2	
2016	Múltiple de control	Switches de limite	3.1	
2016	Múltiple de control	Válvula de alivio	18.3	
2016	Múltiple de control	Válvula reicv	31.7	
2017	Líneas y hardware		61.9	Cambio de mangueras y corrección de fugas. 28.4 hrs abrazaderas del cover se rompen y dañan cableado eléctrico. 1 evento.
2017	Cilindro Hydracrowd	Buje guía handle	6.2	
2017	Cilindro Hydracrowd	Cilindro de empuje	7.1	
2017	Cilindro Hydracrowd	Mango (dipper handle)	0.5	
2017	Cilindro Hydracrowd	Saddle block (silla)	32.5	Cambio de Saddle Block por desgaste excesivo en bocina superior.
2017	Cilindro Hydracrowd	Sleeve	0.5	
2017	Módulo de potencia	Enfriador de aceite	0.7	
2017	Módulo de potencia	Mando de bombas	4.1	
2017	Módulo de potencia	Motor de empuje	1.9	
2017	Módulo de potencia	Soplador de motor	0.4	
2017	Módulo de potencia	Tanque hidráulico	2.82	
2017	Múltiple de control	Acumulador	21.7	Cambio de acumulador y regulación de presiones. 12 hrs
2017	Múltiple de control	Bomba descarga válvula puv	6.0	
2017	Múltiple de control	Válvula de retracción cecvr	3.8	
2017	Múltiple de control	Múltiple de control de la bomba	0.5	
2017	Múltiple de control	Placa de montaje	1.9	
2017	Múltiple de control	Múltiple de control del cilindro	22.7	Regulación de presiones y cambio de repuestos.
2017	Múltiple de control	Sensores	3.0	
2017	Múltiple de control	Switches de limite	12.8	
2017	Múltiple de control	Válvula de alivio	14.6	
2017	Múltiple de control	Válvula reicv	30.4	
2018	Líneas y hardware		30.9	Cambio de mangueras y corrección de fugas. 17 hrs abrazaderas del cover se rompen y dañan cableado eléctrico. 1 evento.
2018	Cilindro Hydracrowd	Cilindro de empuje	160.2	Cambio de cilindro de Hydracrowd por fuga de aceite por sellos inferiores 150 hrs.
2018	Cilindro Hydracrowd	Mango (dipper handle)	0.4	
2018	Cilindro Hydracrowd	Pasador	2.2	

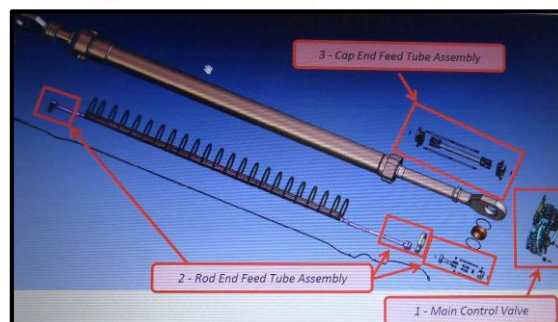
AÑO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE PARTE	TOTAL (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2018	Cilindro Hydracrowd	Saddle block (silla)	7.5	
2018	Cilindro Hydracrowd	Sleeve	1.6	
2018	Módulo de potencia	Bomba de circulación de aceite	1.4	
2018	Módulo de potencia	Enfriador de aceite	0.7	
2018	Módulo de potencia	Motor de empuje	37.5	Cambio de componente por daño interno del bobinado 35 hrs.
2018	Módulo de potencia	Soplador de motor	1.6	
2018	Módulo de potencia	Tanque hidráulico	0.8	
2018	Múltiple de control	Acumulador	29.1	Cambio de acumulador y regulación de presiones. 16 hrs
2018	Múltiple de control	Bomba descarga válvula puv	4.7	
2018	Múltiple de control	Múltiple de control del cilindro	53.1	
2018	Múltiple de control	Sensores	1.2	
2018	Múltiple de control	Switches de limite	9.1	
2018	Múltiple de control	Válvula de alivio	4.1	Regulación de presiones y cambio de repuestos.
2018	Múltiple de control	Válvula rege crowd crgv	15.5	
2018	Múltiple de control	Válvula reicv	13.7	
TOTAL			1,018.50	

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR,2016, 2017 y 2018, Antapaccay

3.5.1. ANÁLISIS DE FALLA DE ABRAZADERAS DEL HYDRACROWD

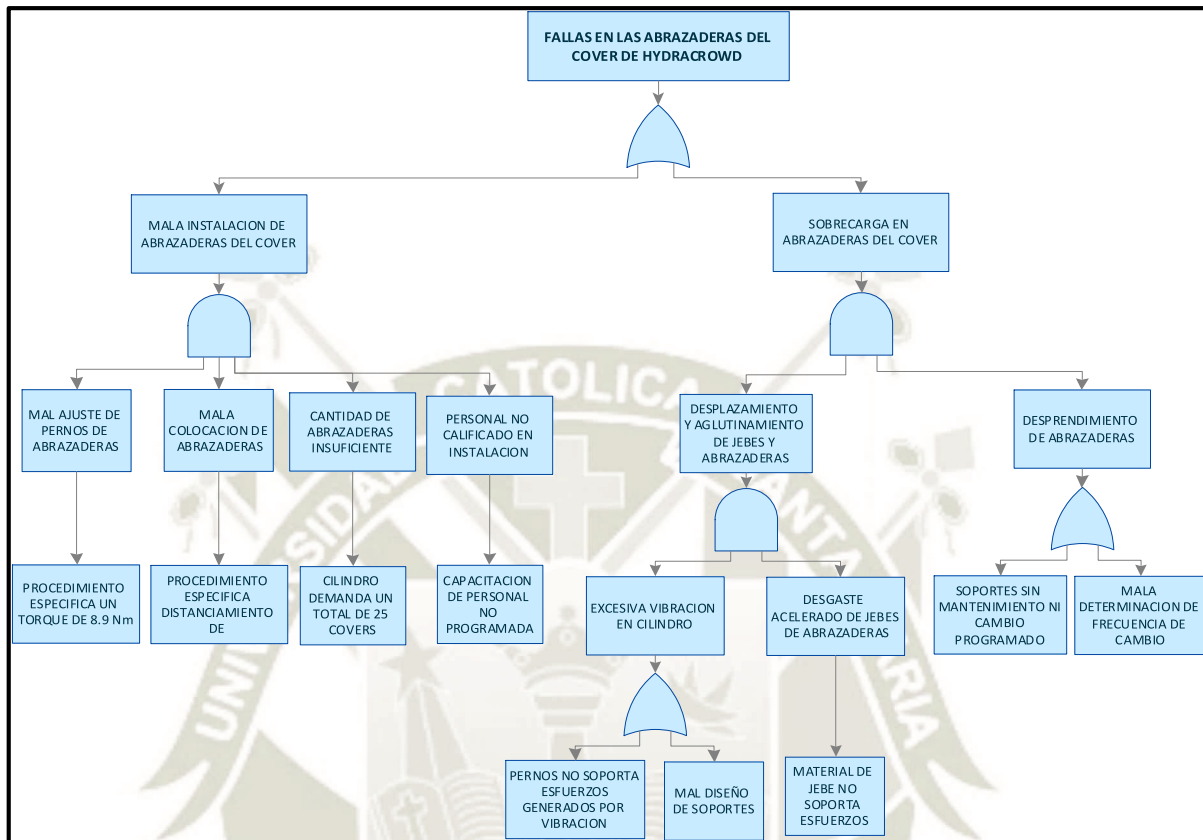
Se tuvieron 3 eventos 1 por cada año de las abrazaderas que se soltaron y el cover cortó el cableado eléctrico, a continuación se describe lo sucedido. Las fallas en las abrazaderas de cover de cañerías es una de las causas principales de parada en el hydracrowd.

FIGURA 47. Conjunto de cilindro del Sistema de Empuje



Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR,2016, 2017 y 2018, Antapaccay

FIGURA 48. Árbol de Fallas de abrazadera del cover



Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

La causa probable de la falla se debe al uso de abrazaderas que no cuentan con la mejora de fábrica y vinieron instaladas con el cilindro nuevo cambiado el 27/07/2016. Las gomas protectoras de las abrazaderas no soportan los esfuerzos y vibraciones de trabajo; las cuales al romperse generan la soltura de la abrazadera evidenciado por las huellas de rozamiento encontradas en la zona de contacto del cover con la abrazadera. La rotura de las abrazaderas ocasionó la caída del cover central dañando parte del cableado del múltiple de control del cilindro durante la retracción del mismo. A continuación se presentaran algunas imágenes que muestran los eventos descritos.

FIGURA 49. Abrazadera recuperada después de falla en pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 50. Desgaste abrasivo en cover en pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 51. Zona de contacto entre cover y goma pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

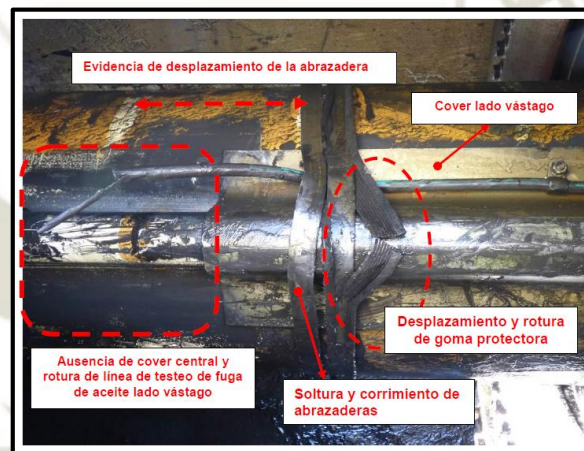
El cilindro también se veía afectado debido a que la soltura del cover le restaba soporte estructural al cilindro del Hydracrowd, elevando el nivel de vibración y generando desgaste en su superficie, tal como se muestra en las imágenes:

FIGURA 52. Inspección de goma y soltura de abrazadera de pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 53. Soltura y desplazamiento de goma de pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 54. Evidencias de falla pala 2160



Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 55. Covers dañados y evidencia de rozamiento pala 2160

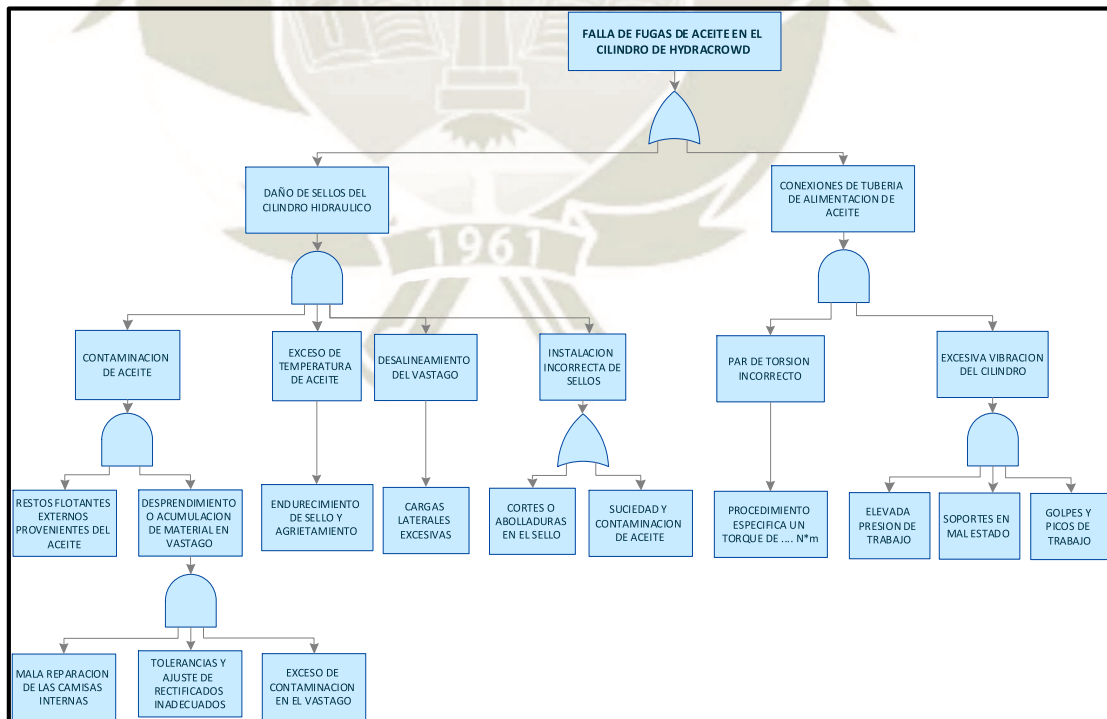


Fuente: Pala 2160 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

3.5.2. ANÁLISIS DE FALLA DE FUGAS EN EL CILINDRO HYDRACROWD

Se tuvieron 2 cambios por fugas en el sello inferior del vástago, en el 2017 y 2018 según el análisis presentado anteriormente a continuación se realiza el análisis de falla.

FIGURA 56. Árbol de Fallas de fugas de aceite en Hydracrowd



Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

Uno de los eventos encontrados en el cilindro Hydracrowd de la pala 2162, fue el desgaste del vástago con rayaduras longitudinales y desprendimientos de material del cromado.

FIGURA 57. Desprendimiento de material cromado en vástago pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 58. Rayaduras longitudinales del cromado pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 59. Rayaduras longitudinales del cromado pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

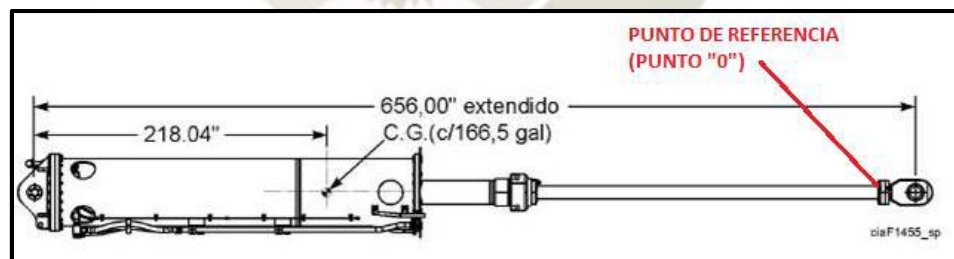
FIGURA 60. Sellos del cilindro desgastados pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

Se decidió realizar el cambio del cilindro por uno reparado por Ferreyros, el cual se revisó antes del montaje encontrándose en el cilindro 25 hendiduras circunferenciales, 1 rayadura circunferencial y 2 rayaduras circunferenciales. Como punto de referencia para definir la ubicación de estos defectos se tomó la cara lateral del Spare Seal Pack (Pack de Reserva de Sellos), este punto de referencia se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 61. Punto de referencia pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

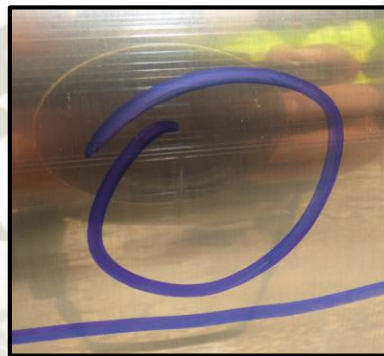
FIGURA 62. Vástago con defectos pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

Se procedió a realizar un análisis y descripción de todas las fallas presentadas para determinar si es reutilizable o no reutilizable por el área de confiabilidad. El primer defecto mostrado corresponde a una rayadura longitudinal de 199cm sensible al paso de la uña cuya condición es no reutilizable, siendo esta condición pre determinada por el área de confiabilidad.

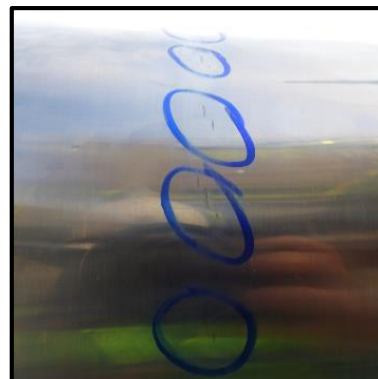
FIGURA 63. Rayadura longitudinal pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

El segundo defecto corresponde a 25 hendiduras circunferenciales sensibles al paso de la uña, estas hendiduras pueden desencadenar en despotillamientos de la superficie generando desgaste adhesivo en el vástago, el defecto se presentó a 84.5cm del punto 0 y la condición es no reutilizable debido a que lo máximo permitido es de 01 hendidura circunferencial.

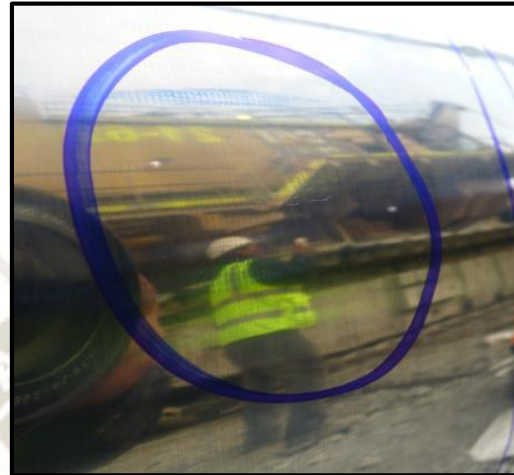
FIGURA 64. Hendiduras de pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

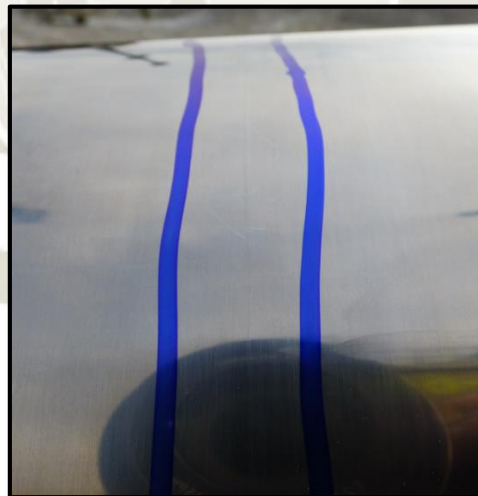
El tercer y el cuarto defecto presentan ralladuras agrupadas y circunferenciales sensibles al paso de la uña. Su condición es de no reutilizable.

FIGURA 65. Rayaduras agrupadas pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 66. Rayaduras circunferenciales pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

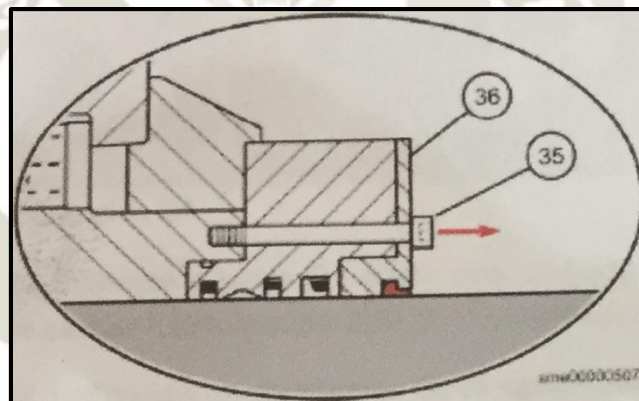
Los efectos originados por las hendiduras y rayaduras superficiales son los desprendimientos de la superficie, desgastando el metal, contaminando el aceite según el código ISO de limpieza y generando daños catastróficos en otros componentes como los sellos del vástago.

FIGURA 67. Punto de referencia pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 68. Sellos del vástago



Fuente: Manual de Operaciones CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

Estos defectos van a causar el desgaste de los sellos del cilindro lo cual desencadenaría las fugas de aceite. Se realizó un análisis de aceite luego de presentadas las fallas en los sellos y se llegaron a obtener los resultados mostrados en las figuras 64 y 65. En ellos se puede observar un alto contenido de cromo y fierro los cuales son provenientes del vástago debido a las rayaduras contaminando el aceite y generando el desgaste.

FIGURA 69. Contenido de hierro y cromo antes del montaje en la pala 2162

Fecha de Muestreo	10/04/2018	9/03/2018	22/02/2018	13/01/2018	13/12/2017	2/11/2017
Posición de PM	PM5	PM3	PM2	PM1	PM3	PM1
Horas del Aceite	3205	2511	2268	1386	818	12979
Horometro del Equipo	31359	40665	40422	39540	38972	38154
Viscosidad a 100 °C	7.268	7.718	7.797	7.101	6.931	6.423
Hierro (mg/Kg)	8	6	5	4	3	4
Cromo (mg/Kg)	10	2	2	1	1	0
Plomo (mg/Kg)	1	0	1	1	1	2
Cobre (mg/Kg)	3	1	1	1	1	4
Estaño (mg/Kg)	0	1	0	0	0	0
Aluminio (mg/Kg)	0	1	0	0	0	0
Niquel (mg/Kg)	40	10	7	3	2	2
Potasio (mg/Kg)	0	0	0	0	0	0
Silicio (mg/Kg)	1	0	0	0	0	0
Boro (mg/Kg)	2	0	1	0	0	0
Sodio (mg/Kg)	1	1	1	1	1	1
Molibdeno (mg/Kg)	5	3	0	1	0	0
Calcio (mg/Kg)	3	3	3	3	3	9
Zinc (mg/Kg)	9	13	11	12	8	42
Fosforo (mg/Kg)	176	287	296	272	253	221
ISO 4406 > 4 um	21	20	17	14	17	18
ISO 4406 > 6 um	17	17	14	9	15	15
ISO 4406 > 14 um	10	11	9	8	8	8

Fuente: Reporte de análisis de aceite confiabilidad pala 2162, 2017 y 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 70. Contenido de hierro y cromo después del montaje pala 2162

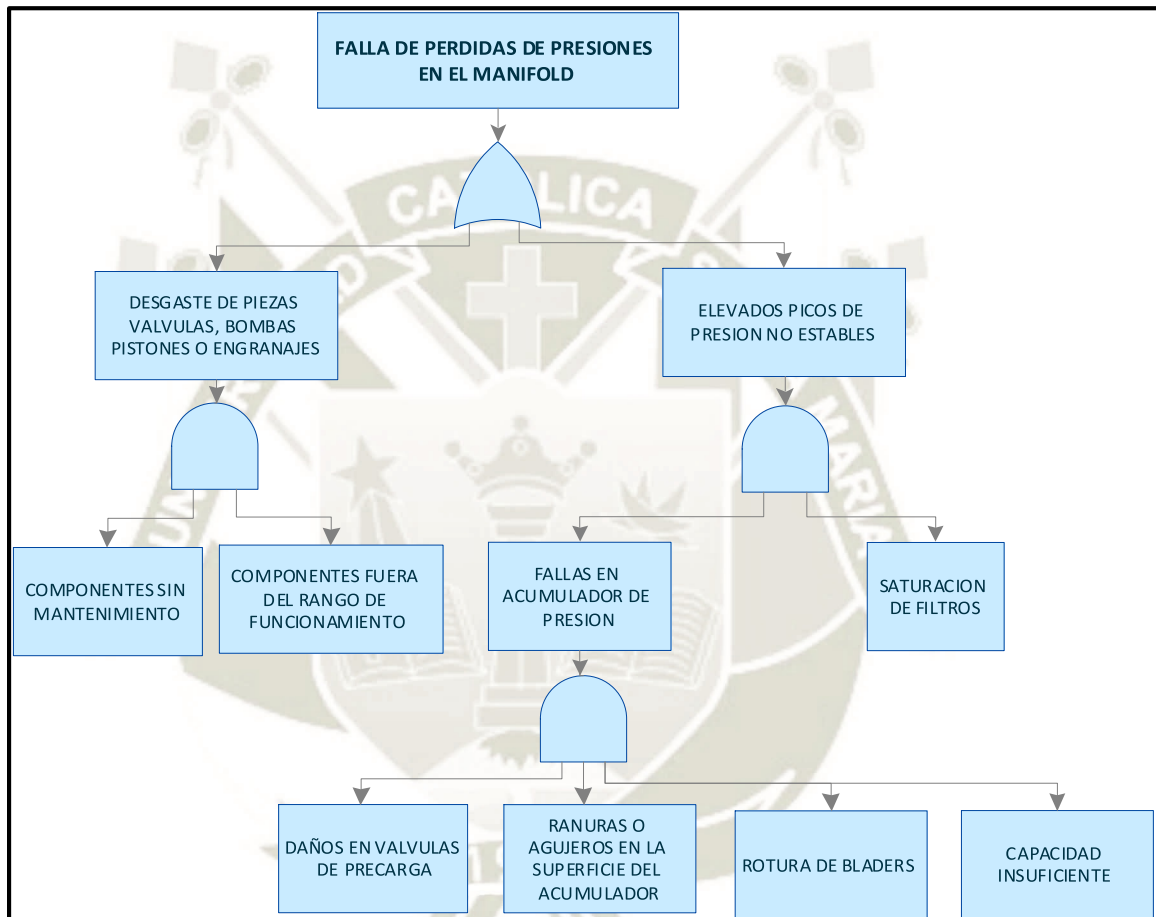
Fecha de Muestreo	1/09/2018	23/07/2018
Posición de PM	MONI	PM1
Horas del Aceite	1239	607
Horómetro del Equipo	43945	43313
Viscosidad a 100 °C	7.67	7.758
Hierro (mg/Kg)	1	1
Cromo (mg/Kg)	1	1
Plomo (mg/Kg)	1	0
Cobre (mg/Kg)	0	0
Estaño (mg/Kg)	0	0
Aluminio (mg/Kg)	0	0
Níquel (mg/Kg)	3	3
Potasio (mg/Kg)	0	0
Silicio (mg/Kg)	0	1
Boro (mg/Kg)	0	0
Sodio (mg/Kg)	0	0
Molibdeno (mg/Kg)	1	0
Calcio (mg/Kg)	0	0
Zinc (mg/Kg)	30	2
Fosforo (mg/Kg)	215	182
ISO 4406 > 4 um	19	18
ISO 4406 > 6 um	18	15
ISO 4406 > 14 um	15	11

Fuente: Reporte de análisis de aceite confiabilidad pala 2162, 2017 y 2018, Compañía Minera Antapaccay

3.5.3. ANÁLISIS DE FALLA DE PERDIDAS DE PRESIÓN

Respecto a la regulación de presiones, este ocurre todos los años ocasionando fallas, a continuación se describe lo sucedido.

FIGURA 71. Árbol de fallas de pérdidas de presión del manifold en Flota CAT 7495HR



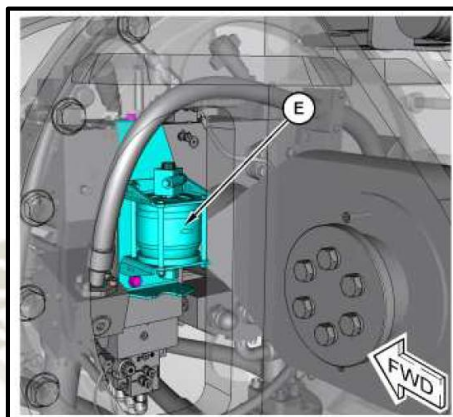
Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

No se tiene un formato de control de presiones en el sistema, para lo cual se trabaja a la falla. El operador llama a los mecánicos cuando siente la velocidad lenta o no están respondiendo adecuadamente los controles.

A la vez el acumulador del cilindro almacena energía en forma de fluido bajo presión, el cual brinda estabilidad al sistema de válvulas en su trabajo, se tiene en la pala

acumulador de diafragma. Este acumulador falla constantemente por perdidas de presiones en el sistema, a lo cual se realiza el cambio de este.

FIGURA 72. Acumulador de diafragma



Fuente: Manual de Operación CAT 7495HR, 2017, Caterpillar Inc.

3.6. ANÁLISIS DE FALLAS DE COMPONENTES ADJUNTOS

Este sistema consta del sistema de apertura del balde llamado conjunto barretón, conjunto dipper trip, Herramientas de corte (GET's) e implementos del cucharón. En la tabla siguiente se puede distinguir que en los 3 años las fallas más críticas están en el barretón del balde debido a que este subsistema es el encargado de la apertura de la compuerta para la descarga del material al camión y también del cierre de la compuerta para que pueda recoger material por lo tanto está sometido a fuerzas de impacto en su cierre por tal motivo suele fallar constantemente.

TABLA 28. Horas de parada de sub-sistemas de componentes adjuntos

AÑO	DESCRIPCIÓN	TOTAL (hrs)
2016	Barreton del Cucharon	97.6
2016	Dipper Trip Ensamble	29.1
2016	Cucharon	74.4
2016	Implementos	53.4
2016	Total	254.7
2017	Barreton del Cucharon	97.0
2017	Dipper Trip Ensamble	20.7

AÑO	DESCRIPCIÓN	TOTAL (hrs)
2017	Cucharon	25.0
2017	Implementos	22.1
2017	Total	165.0
2018	Barreton del Cucharon	77.7
2018	Dipper Trip Ensamble	25.7
2018	Cucharon	23.7
2018	Implementos	29.2
2018	Total	156.3
Total		576.1

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

TABLA 29. Horas de parada por partes de componentes adjuntos

AÑO	DESCRIPCIÓN SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN PARTE	TOTAL (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2016	Barreton del Cucharon	Amortiguador del seguro de compuerta	1.6	
2016	Barreton del Cucharon	Barretón	64.4	Cambio de barretones, reparaciones de alojamientos.
2016	Barreton del Cucharon	Espada	15.6	Ruptura de espadas, cambio de pernos
2016	Barreton del Cucharon	Lainas (de barretón)	15.9	Por el impacto que sufren los barretones, se desgatan y se tiene que regular la altura.
2016	Dipper Trip Ensamble	Cable auxiliar (dipper trip)	20.0	Se realiza cada 500 hrs, pero se producen cambios por caídas de rocas que cortan el cable.
2016	Dipper Trip Ensamble	Polea de dipper trip	9.0	
2016	Cucharon	Adaptadores	36.6	Se cambian por condición, personal de ESCO evalúa cada para que tiene la pala.
2016	Cucharon	Entredientes cutting edge segm	0.1	
2016	Cucharon	Guarda de esquina de cucharón	0.1	
2016	Cucharon	Puntas cucharón	37.5	Se cambian por condición, personal de ESCO evalúa cada para que tiene la pala.
2016	Cucharon	Puntas ripper	0.1	
2016	Implementos	Asa del cucharón padlock	6.2	
2016	Implementos	Bujes y bocinas de cucharón	6.9	
2016	Implementos	Compuerta	9.8	
2016	Implementos	Cucharón	5.9	
2016	Implementos	Freno de compuerta	20.4	Regulaciones y 1 cambio de frenos por accidente.
2016	Implementos	Pines de cucharón	3.9	
2017	Barreton del Cucharon	Amortiguador del seguro de compuerta	0.3	

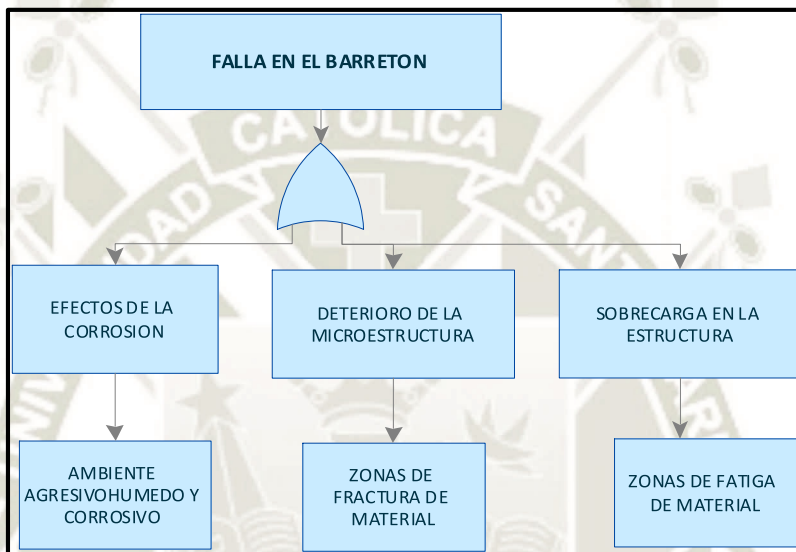
AÑO	DESCRIPCIÓN SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN PARTE	TOTAL (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2017	Barreton del Cucharon	Barretón	70.4	Cambio de barretones, reparaciones de alojamientos.
2017	Barreton del Cucharon	Espada	12.7	Ruptura de espadas, cambio de pernos
2017	Barreton del Cucharon	Lainas (de barretón)	13.5	Por el impacto que sufren los barretones, se desgatan y se tiene que regular la altura.
2017	Dipper Trip Ensamble	Cable auxiliar (dipper trip)	19.9	Se realiza cada 500 hrs, pero se producen cambios por caídas de rocas que cortan el cable.
2017	Dipper Trip Ensamble	Motor de apertura de compuerta	0.4	
2017	Dipper Trip Ensamble	Polea de dipper trip	0.3	
2017	Cucharon	Adaptadores	0.6	
2017	Cucharon	Guarda de esquina de cucharón	2.0	
2017	Cucharon	Puntas cucharón	21.7	Se cambian por condición, personal de ESCO evalúa cada para que tiene la pala.
2017	Cucharon	Puntas ripper	0.7	
2017	Implementos	Asa del cucharón padlock	12.1	
2017	Implementos	Cucharón	6.6	
2017	Implementos	Pasadores y bujes de compuerta	2.4	
2017	Implementos	Pines de cucharón	0.9	
2018	Barreton del Cucharon	Barra de inserto	1.1	
2018	Barreton del Cucharon	Barretón	50.7	Cambio de barretones, reparaciones de alojamientos.
2018	Barreton del Cucharon	Espada	8.4	Ruptura de espadas, cambio de pernos
2018	Barreton del Cucharon	Lainas (de barretón)	17.3	Por el impacto que sufren los barretones, se desgatan y se tiene que regular la altura.
2018	Dipper Trip Ensamble	Cable auxiliar (dipper trip)	7.2	
2018	Dipper Trip Ensamble	Motor de apertura de compuerta	8.6	
2018	Dipper Trip Ensamble	Polea de dipper trip	9.8	
2018	Cucharon	Adaptadores	7.7	Se cambian por condición, personal de ESCO evalúa cada para que tiene la pala.
2018	Cucharon	Guarda de esquina de cucharón	1.5	
2018	Cucharon	Puntas cucharón	14.4	Se cambian por condición, personal de ESCO evalúa cada para que tiene la pala.
2018	Implementos	Asa del cucharón padlock	12.7	
2018	Implementos	Compuerta	4.3	
2018	Implementos	Cucharón	2.8	
2018	Implementos	Freno de compuerta	1.3	
2018	Implementos	Pasadores y bujes de compuerta	0.9	
2018	Implementos	Pines de cucharón	7.1	
TOTAL			576.18	

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

3.6.1. ANÁLISIS DE FALLAS DEL BARRETÓN

La parte del barretón ocasiona el 40% de detenciones de todo este sistema por cambios del componente, reparaciones y regulaciones que en los 3 años suman 232.5 horas, a continuación se analiza este sistema.

FIGURA 73. Árbol de fallas del barretón CAT 7495HR



Fuente: Elaboración propia, 2018, Viña C.

El dipper o balde es un componente muy pesado y sujetado por los cables de levante, este elemento junto con la compuerta permiten la carga y descarga del material extraído. Debido al desgaste producido durante la operación los problemas usualmente se dan en el cierre de la compuerta, elementos como el barretón suelen estar expuesto a impactos originando fisuras que no soportan los esfuerzos normales de trabajo causando fracturas en la estructura.

FIGURA 74. Barretón fracturado y zona fatigada pala 2162



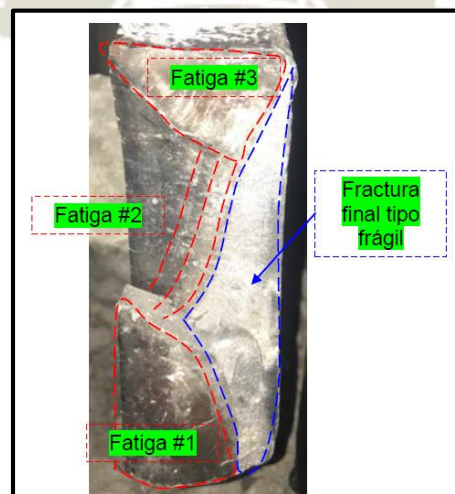
Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 75. Fisura inicial, zonas de fatiga y marcas de trinquete #2 pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 76. Zonas de fatiga con oxido y fractura final frágil pala 2162



Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

3.7. ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE GIRO

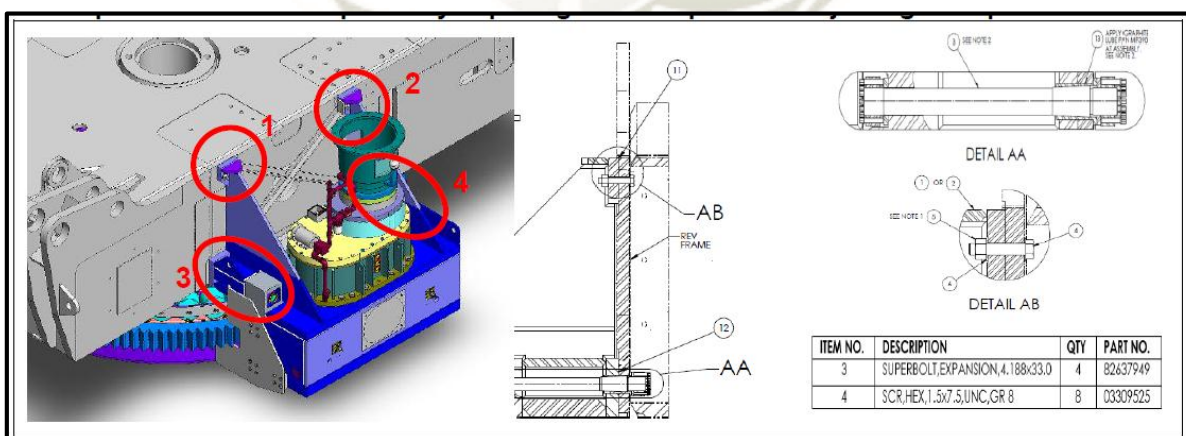
TABLA 30. Horas de parada por parte del sistema de giro

AÑO	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN PARTE	Total (hrs)	DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS
2017	Estructura	Pin central	0.3	
2017	Freno motor de giro	Freno de motor de giro	0.5	
2017	Transmisión de giro	Transmisión de giro	64.2	Se rompen pernos de tx de Giro, Solo 1 evento
2017	Lubricación	Inyectores	0.4	
2017	Lubricación	Bombas	3.2	
2018	Motor de giro	Motor de giro	20.1	Se cambia motor por falla en encoder, 1 evento.
2018	Freno motor de giro	Freno de motor de giro	1.0	
2018	Transmisión de giro	Transmisión de giro	156.5	Se rompen pernos de tx de Giro, Solo 1 evento

Fuente: Datos de DISPATCH Pala Electromecánica CAT 7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

En el sistema de giro se encontraron 2 fallas repetidas en el año 2017 y 2018 de los pernos de tx de Giro con estructura A frame, esto ocurrió por fatiga. A continuación se explica lo ocurrido:

FIGURA 77. Superbolts de la caja del sistema de giro 2162



Fuente: CAT SIS, 2018, Caterpillar Inc.

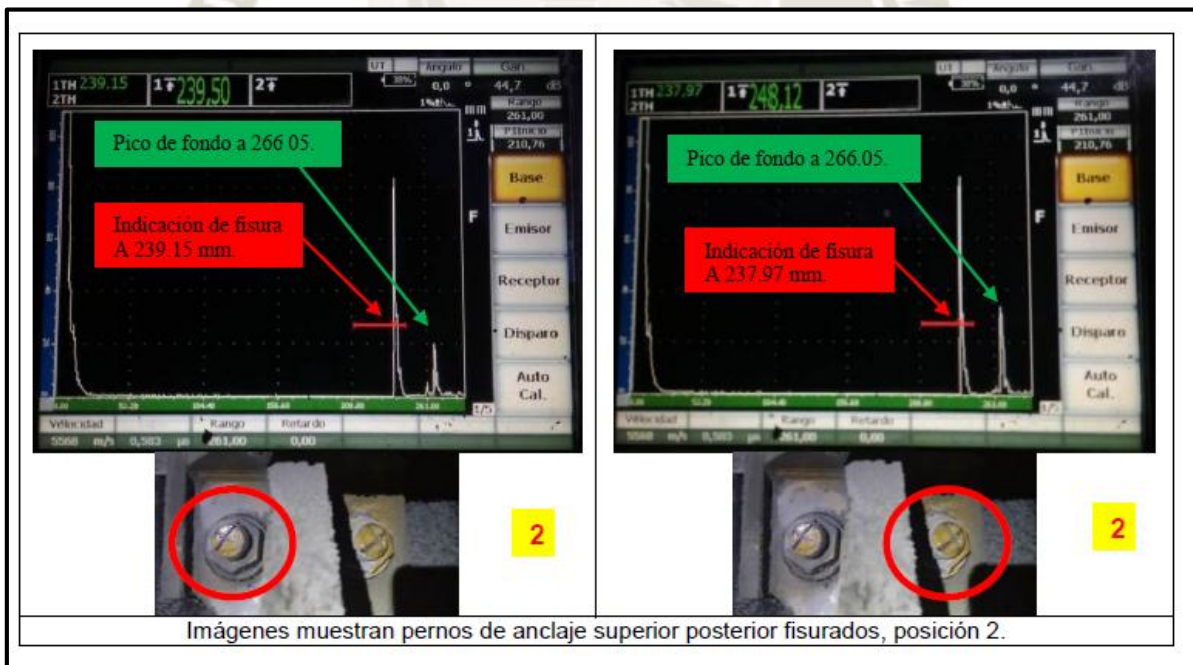
FIGURA 78. Pernos de anclaje superiores de la caja de giro



Imágenes muestran pernos de anclaje superior delantero rotos y fisurados, posición 1.

Fuente: Reporte de análisis de confiabilidad pala 2162, Compañía Minera Antapaccay

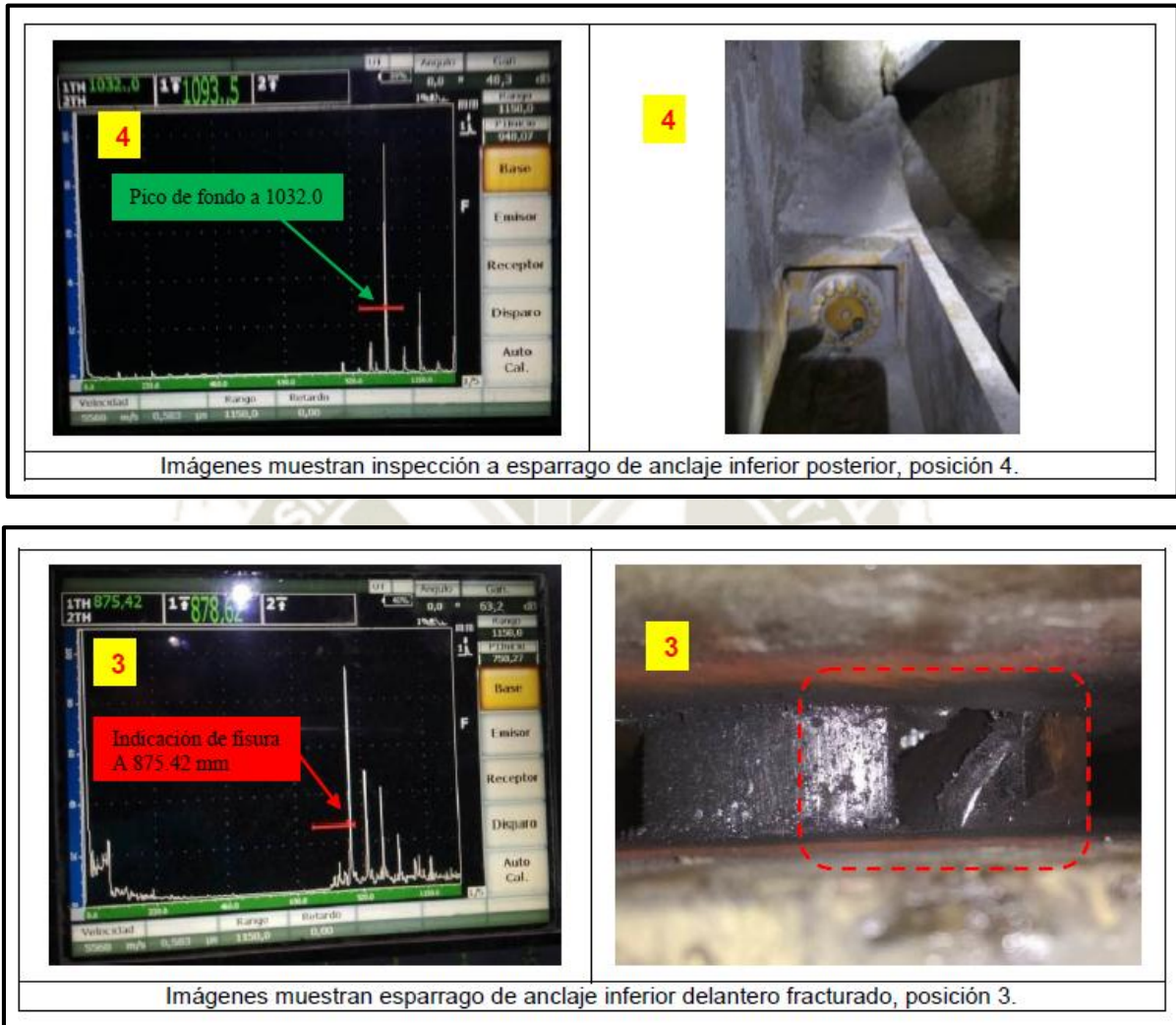
FIGURA 79. Ultrasonido a pernos de anclaje superiores pala 2162



Imágenes muestran pernos de anclaje superior posterior fisurados, posición 2.

Fuente: Reporte de análisis de confiabilidad pala 2162, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 80. Ultrasonido a pernos de espárragos pala 2162



Fuente: Reporte de análisis de confiabilidad pala 2162, Compañía Minera Antapaccay

CAPITULO IV: RESULTADOS

4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE JACK KNIFE Y ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

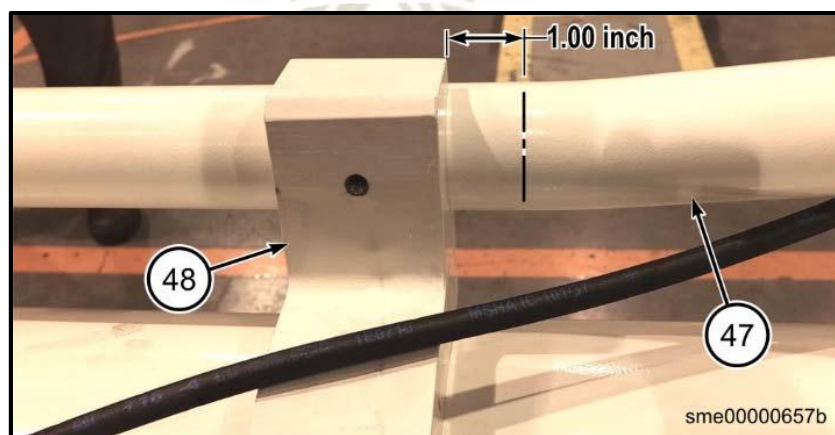
4.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo se presentara las soluciones a las fallas más críticas que impactaron en la disponibilidad, en el porcentaje de mantenimiento preventivo, de los sistemas de empuje, componentes adjuntos y sistema de giro.

4.2. COVERS DEL CILINDRO DE HYDRACROWD

- Existe el número de parte 411-9574 mejorado de abrazaderas de acuerdo al Service Magazine BI643161 del 27/06/2014, el cual es más robusto debido a un mayor ancho, espesor y tiene 5 veces más el torque en los pernos de sujeción respecto al antiguo modelo.
- Se programó la reposición de covers y abrazaderas del cilindro hidracrowd en la pala 2162, con las nuevas abrazaderas.
- Para el cambio y reposición de las abrazaderas primero será necesario tomar las distancias como se muestra en la figura.

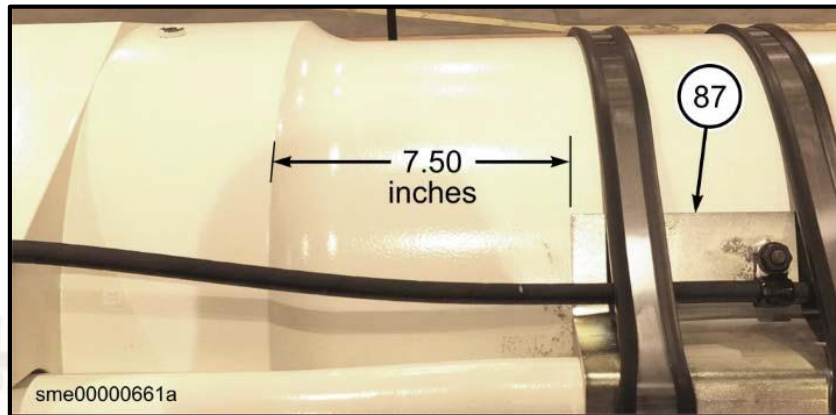
FIGURA 81. Medición de distancias para abrazaderas cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

- Una vez realizadas las marcas se procederán a montar las siguientes abrazaderas de protección, llegando al extremo la manguera se ira colocando en la parte superior.

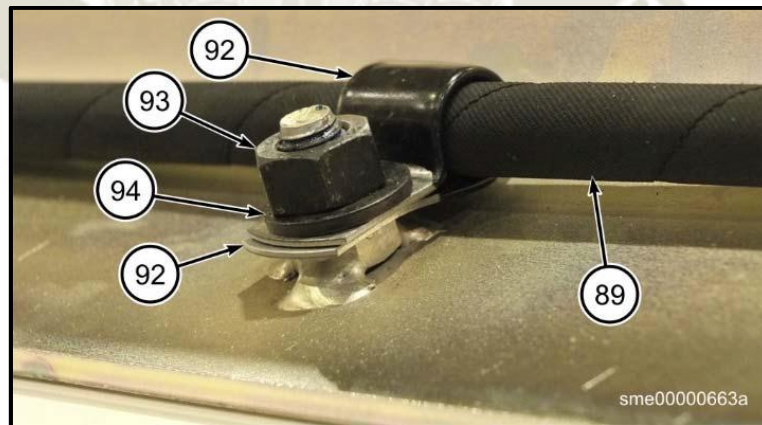
FIGURA 82. Montaje de manguera y abrazaderas cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

- En el extremos del vástago del cilindro la manguera pasara a través de orificios y casquillos guías, la manguera no puede tener curvas bruscas.

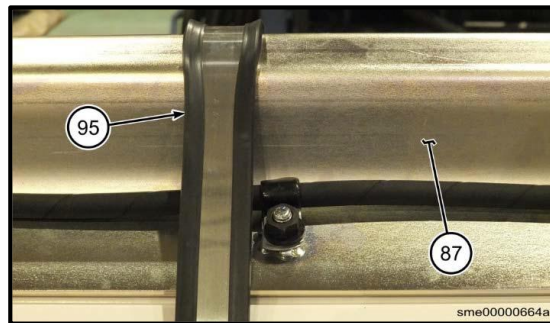
FIGURA 83. Instalación de mangueras cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

- Se acomodan las abrazaderas no ajustadas para evitar el solapamiento.
- Se verifica el torque de ajuste de las abrazaderas.

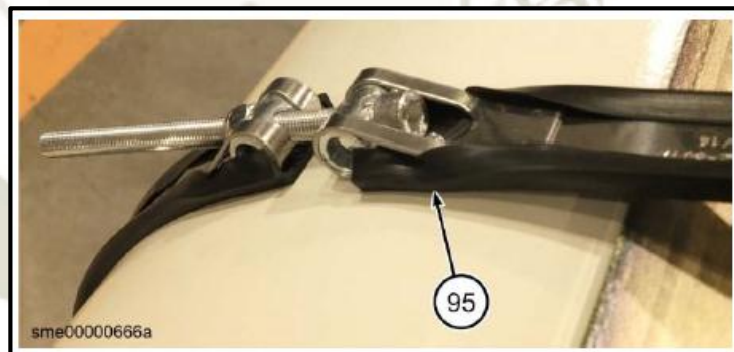
FIGURA 84. Posicionamiento final de abrazadera intermedia cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

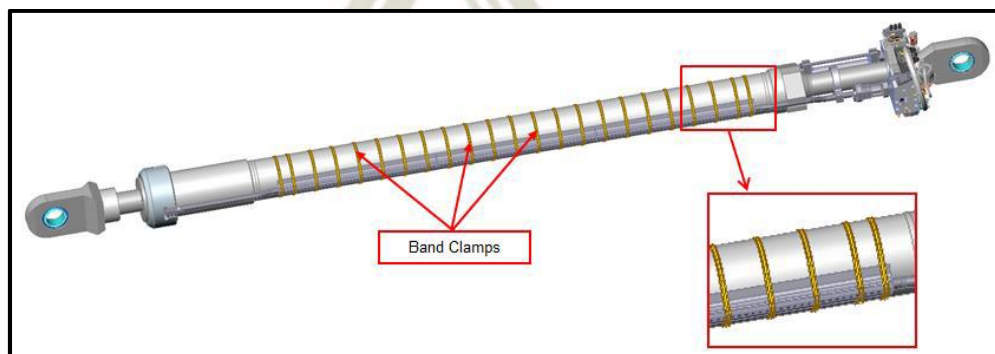
- Una vez posicionadas todas las abrazaderas se realizara el ajuste a través del tornillo allen controlando un torque de 28Nm.

FIGURA 85. Posicionamiento final de abrazadera cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

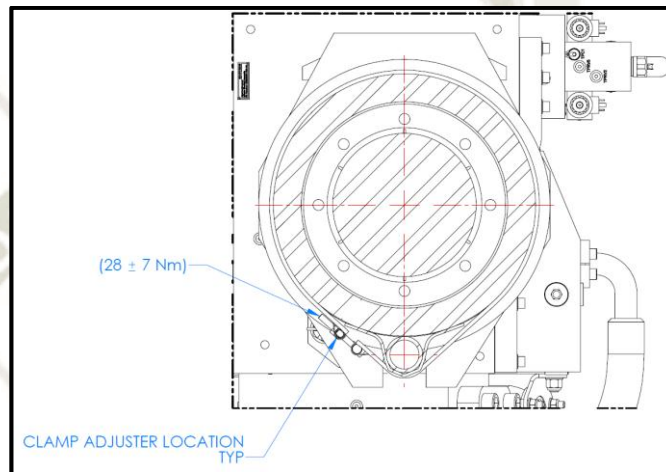
FIGURA 86. Ilustración final de componente cilindro Hydracrowd



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

- Las nuevas abrazaderas con bandas rediseñadas aseguran las cubiertas de protección del tubo de alimentación, este diseño es más robusto que las abrazaderas de banda al ser más ancho y más grueso y tiene 5 veces el valor de torque de la abrazadera anterior, su instalación se realizara según el grafico mostrado.

FIGURA 87. Componente afectado



Fuente: Service Magazine BI643161, 2017, Caterpillar Inc

- Debido a que el nuevo cilindro no llevo con abrazaderas con número de parte mejorado es posible gestionar el reclamo por garantía.

FIGURA 88. Abrazaderas instaladas en cilindro de Hydracrowd



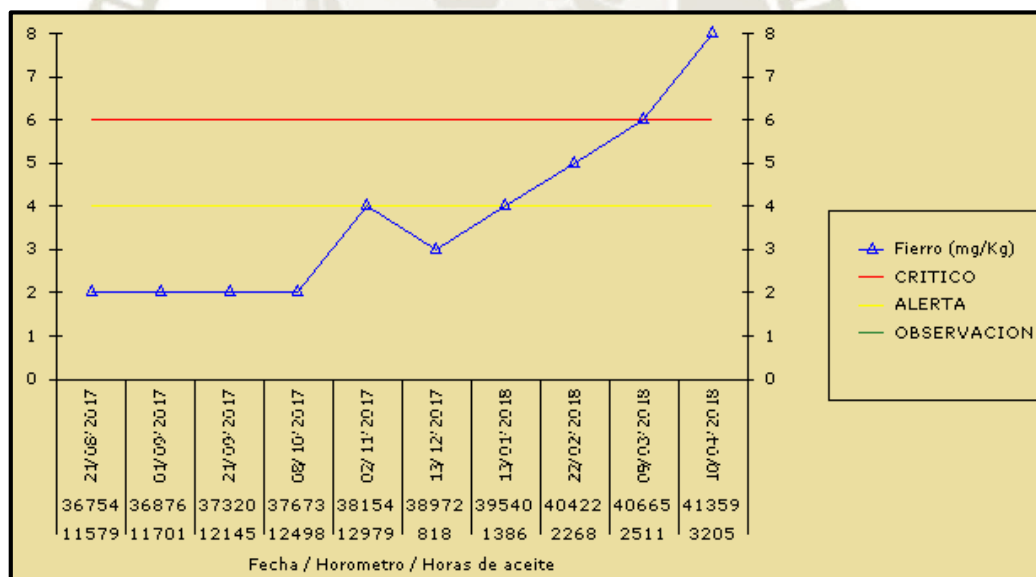
Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

Finalmente se programa la inspección de las abrazaderas instaladas verificando el número de parte instalado, condición y cambio de ser necesario. A continuación se puede ver el cilindro de Hydracrowd con las abrazaderas mejoradas.

4.3. FUGA EN LOS CILINDROS DE HDYRACROWD

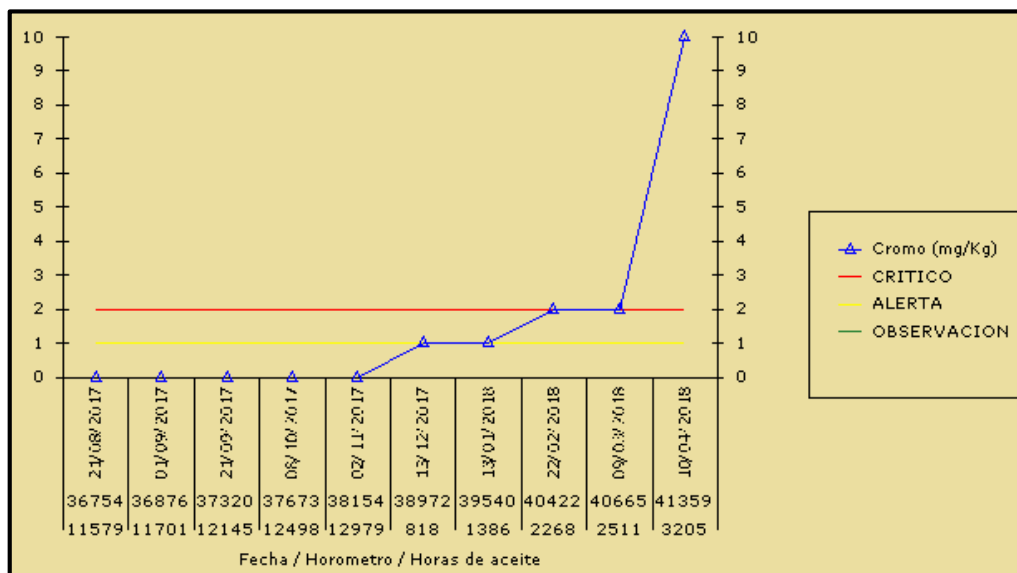
Se realizó el reclamo de garantía del cilindro de Hydracrowd en el cual se desprendió el cromo, para lo cual Ferreyros aceptó el 50%, brindándonos un cilindro nuevo. El que se está montado Ferreyros nos entregará uno nuevo ya que este vino mal reparado y a requerimiento de la operación se montó el que vino, Ferreyros cubrirá los gastos de los sistemas que pueda malograr por desprendimiento de material de cromo.

FIGURA 89. Análisis de aceite de fierro en cilindro Hydracrowd



Fuente: Reporte de análisis de confiabilidad pala 2162, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 90. Análisis de aceite de cromo



Fuente: Reporte de análisis de confiabilidad pala 2162, Compañía Minera Antapaccay

El análisis de aceite se llevará cada 500 hrs ya que en el tiempo fue aumentando los niveles de fierro y cromo y no se tomaron medidas correctivas al respecto como se refleja en las figuras siguientes.

Este vástago del cilindro no se puede inspeccionar después del montaje por motivos de que está recubierto con el sleeve y el dipper Handle a lo cual tomaría 2.5 días el montaje y desmontaje de este.

4.4. PERDIDAS DE PRESIONES EN EL MANIFOLD

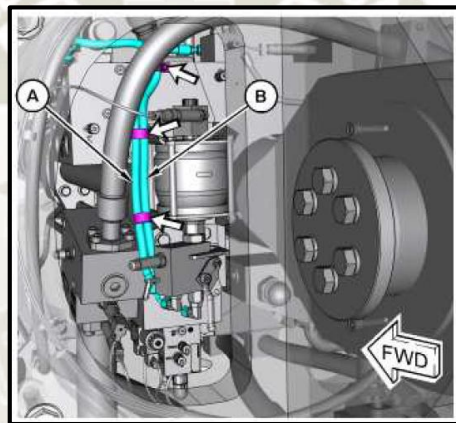
Las regulaciones de presión que son constante se creó un formato de control el cual se trabajó con el personal del Taller de Palas y los especialistas de Ferreiros.

Este formato se presentara como anexos pruebas hidráulicas de sistemas de empuje CAT

7495HR, en este formato ya se tienen las presiones a las cuales tiene que estar cada válvula, esto antes no se tenía y se comenzaba a realizar de forma desordenada buscando la falla y no se tenía registro de control del sistema.

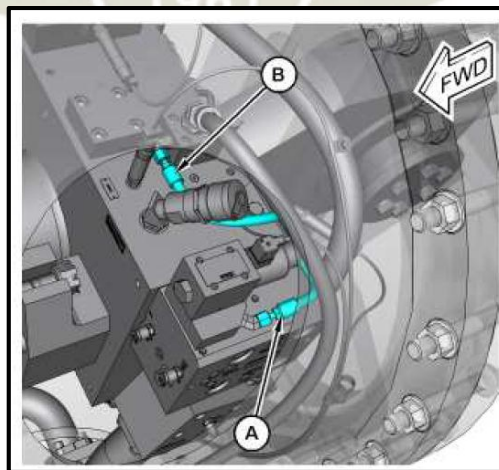
Con respecto a los acumuladores, cada tipo tiene sus ventajas, pero los diseños de vejiga generalmente se consideran los más versátiles de los tres. Sin embargo las unidades de pistón a pesar de tener un reacción lenta frente a las ondas de choque, tienen una capacidad mucho mayor que los de diafragma, consiguiendo un mayor rendimiento. Caterpillar brindó un Service Magazine el cual es el REHS5464, con fecha de publicación 17/08/2018. Es por ello que se planteó el cambio de los acumuladores siguiendo el proceso ilustrado a continuación.

FIGURA 91. Descarga de las líneas de acumuladores rec y crgv CAT 7495HR



Fuente: Service Magazine REHS54641, 2017, Caterpillar Inc

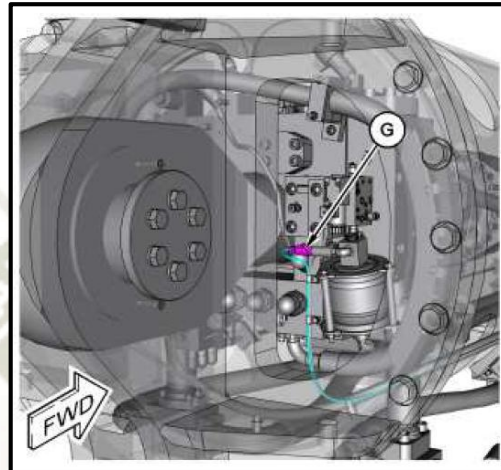
FIGURA 92. Vista superior de los cilindros colectores CAT 7495HR



Fuente: Service Magazine REHS54641, 2017, Caterpillar Inc

Finalmente se retira el conjunto del acumulador y sus accesorios de montaje. Tal como se muestra en la figura. De ser posible se pueden salvar componentes como los transductores de presión para su reutilización.

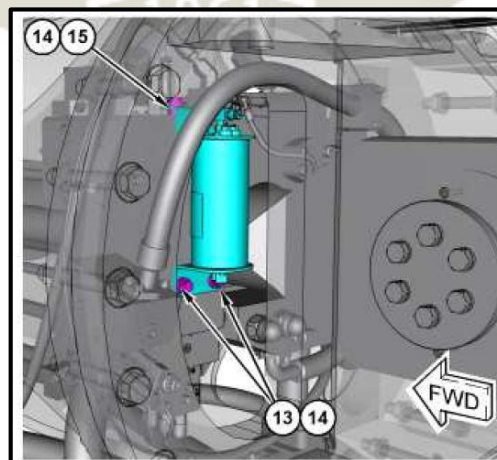
FIGURA 93. Retiro y desecho del conjunto de manguera



Fuente: Service Magazine REHS54641, 2017, Caterpillar Inc

Para la instalación del nuevo conjunto se emplean nuevos soportes, pernos, arandelas y accesorios como la válvula de bola y la junta torica.

FIGURA 94. Instalación de nuevo acumulador



Fuente: Service Magazine REHS54641, 2017, Caterpillar Inc

Finalmente se retira el conjunto del acumulador y sus accesorios de montaje. Tal como se muestra en la figura. De ser posible se pueden salvar componentes como los transductores de presión para su reutilización. Se cargan los acumuladores de acuerdo a la presión de carga acorde las tablas proporcionadas por el fabricante.

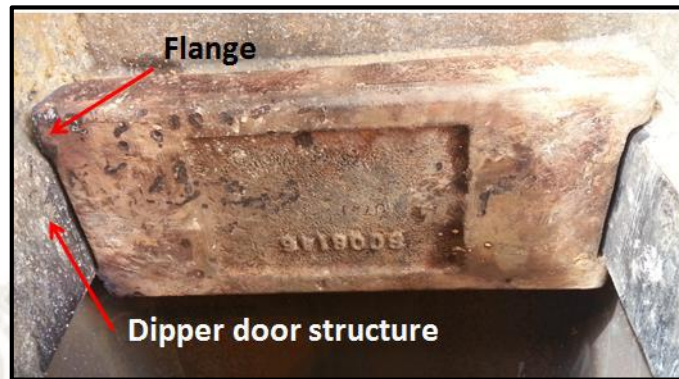
4.5. BARRETÓN - CUCHARÓN

En la mejora planteada se realizara el reemplazo de todos los componentes como los elementos del cerrojo de compuerta e inclusive la compuerta ya que podría resultar un causante de fallo. Este nuevo conjunto contiene componentes de sacrificio y elementos guidores para facilitar su mantenimiento y mejorar su rendimiento, frecuencia de cambio y duración de componentes. Para realizar las tareas mencionadas se tomaran las recomendaciones proporcionadas por el fabricante:

- Todos los componentes como el barretón y el latch lever deben de estar dentro de las tolerancias establecidas no solamente en el caso de fábrica sino también en los trabajos de reconstrucción.
- El límite máximo de reparaciones de barretón será de 5 veces y el latch lever podrá ser reconstruido hasta 3 veces. Esto resulta en un plan de reemplazo de 8 meses para el barretón y 10 meses para el latch lever aproximadamente.

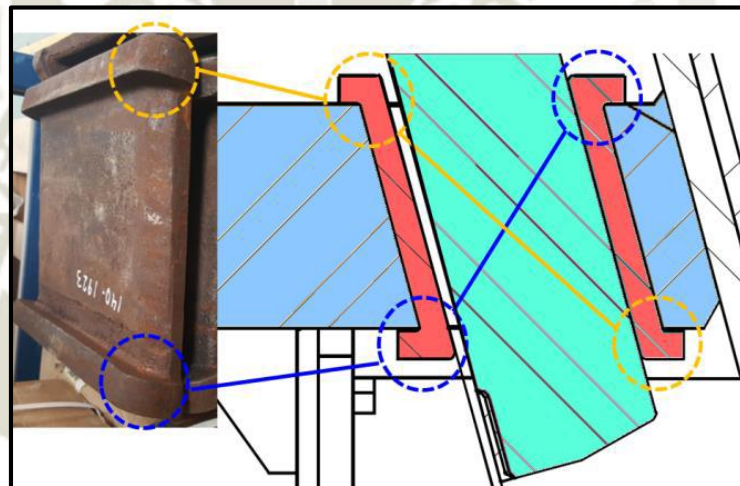
Los problemas más comunes que se pueden presentar durante la instalación de este nuevo conjunto son: Ajuste inapropiado de pernos de insertos, regulación del barretón fuera de especificaciones, guidores superiores no encajan, instalación incorrecta de guidores inferiores.

FIGURA 95. Guiadores superiores no encajan pala CAT 7495HR



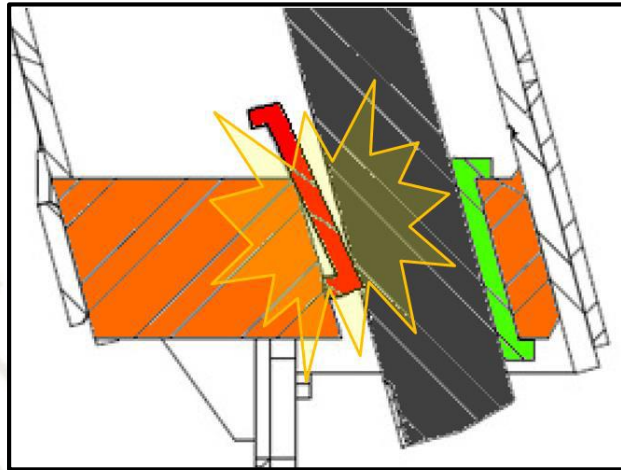
Fuente: Pala 2162 CAT7495HR, 2018, Compañía Minera Antapaccay

FIGURA 96. Instalación incorrecta de guiadores de barretón en pala CAT 7495HR



Fuente: Manual de Operación, 2017, Compañía Minera Antapaccay

Dentro de los problemas más importantes podemos encontrar una reconstrucción fuera de la especificación y sin verificar la planitud. Guiador superior o inferior se introduce en el interior del canal y traba el cerrojo (No abre o no cierra) la causa raíz de este problema es una mala reconstrucción o excesivo desgaste que permitió que el espacio libre sea mayor a lo especificado por el fabricante. Para ello se recomienda esmerilar la superficie en desnivel y/o revise el estado de los alojamientos de los guiadores y reconstruya según sea el caso.

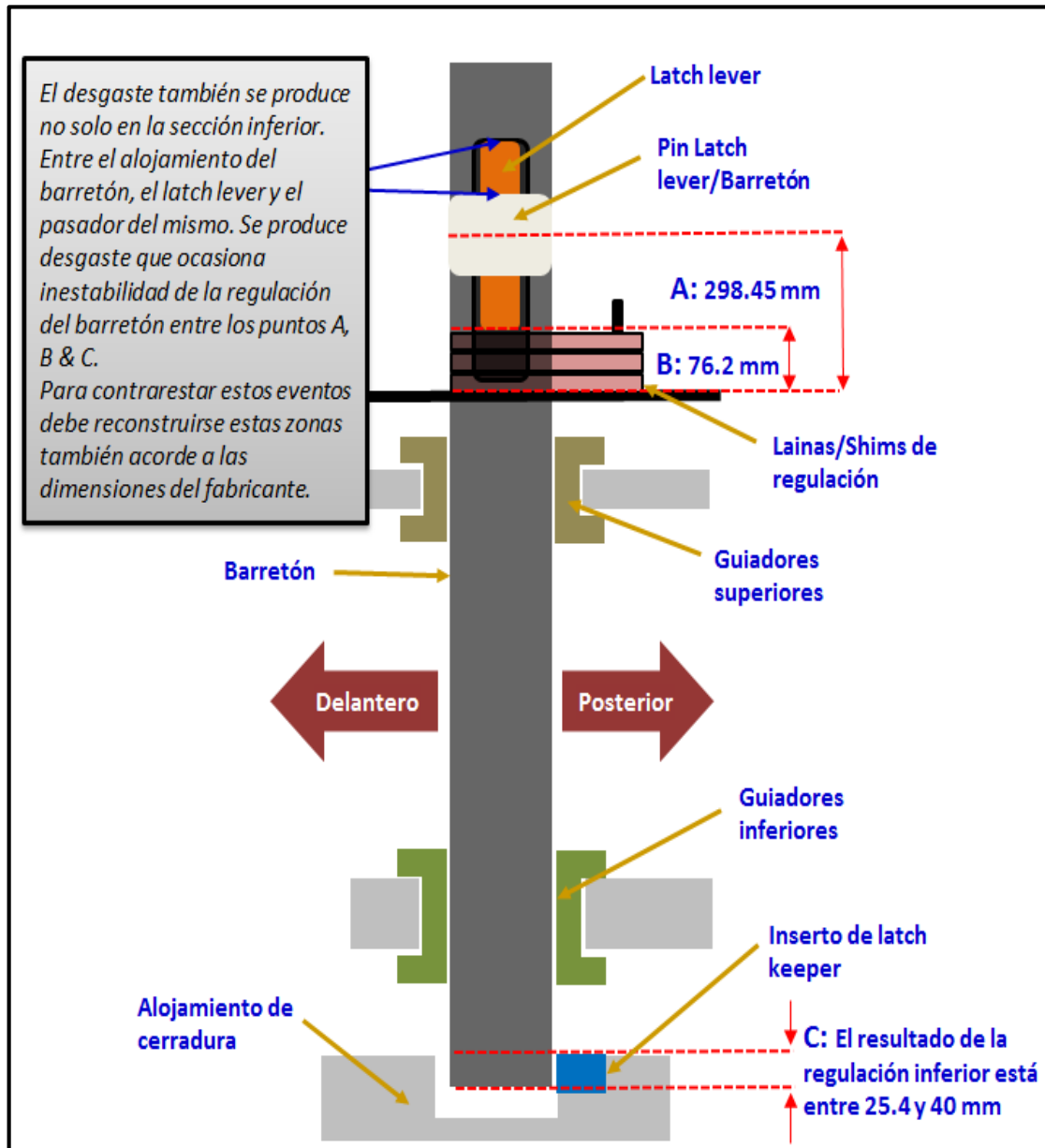
FIGURA 97. Instalación incorrecta de guidores inferiores

Fuente: Manual de Operación, 2017, Compañía Minera Antapaccay

Los amortiguadores latch lever también es un problema importante ya que al no contar con los soportes de poliuretano inferior y superior se puede causar un severo daño en la compuerta e incluso a la estructura del mismo balde.

Con esta estrategia se debe respetar los materiales de reconstrucción llegando a alcanzar un intervalo de regulación entre 20 y 30 días. La limpieza y el ajuste apropiado juegan un papel importante durante el montaje. El sistema de compuerta demanda un especial cuidado y mantenimiento. Sí no se aplica una estrategia periódica es casi seguro que se perderá el control del mantenimiento, ocasionando reiteradas paradas a consecuencia de los múltiples factores que aquejan al sistema de cerrojo. Procure siempre reconstruir el barretón, el latch lever y el alojamiento de los guidores, ya que cualquiera de estos elementos sea independiente o combinada podrían ser los culpables de una alta frecuencia de parada.

FIGURA 98. Tolerancias componentes y desgaste pala CAT 7495HR



Fuente: Manual de Operación, 2017, Compañía Minera Antapaccay

4.6. SUPERBOLTS Y PERNOS DE LA CAJA DE GIRO

Estos Superbolts y pernos están sometidos a esfuerzos y vibración ya que transmiten la fuerza ejercida al momento de girar los piñones a la estructura de la pala, según manual de mantenimiento se tienen que inspeccionar no indicando frecuencia definida. Se está poniendo una frecuencia de 2000 hrs o cada PM3 a la vez el tiempo de reparación que tomaron los 2

eventos de 220 hrs se debió a que estos pernos no eran considerados ítem's críticos por lo cual no se tenía stock de protección en la minera y era solicitado a pedido de usuario, por lo cual al momentos del mantenimiento correctivo se tuvo que esperar horas de traslado de los pernos desde Lima. Se cambiaron de pedido de usuario a ítem críticos teniendo 2 juegos para la caja de giro como protección mínima.



4.7. HOJA DE INFORMACIÓN DE FALLAS

EQUIPO: PALA ELECTROMECHANICA CAT 7495HR																
COMPONENTES	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA POTENCIAL	FRECUENCIA DE FALLA	ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS	ACCION DEL MANTENIMIENTO A EJECUTAR	MANTENIMIENTO							
									ANTES							
A	CILINDRO DE HYDRACROWD	1	Dar movimiento horizontal al cucharón para un peso de 120 TON a una velocidad de 0.8 m/s.	A	Perdida de Velocidad	1.A.1	Falta de regulaciones en válvulas REICV y CRGV.	Evidente: Si, Descripción del efecto: Las válvulas comienzan a enviar un menor flujo de aceite hidráulico a las cámaras del cilindro hidráulico, se tienen que regular a la presión recomendada.	A1.A.1.1	No se realiza con una frecuencia adecuada los seteos de las presiones del cilindro de Hydracrowd.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas.	Medición de presiones y limpieza	Se realizaba Mantenimiento Correctivo para regulación de presiones.		
									A1.A.1.2	No se realiza limpieza a las válvulas ya que estas trabajan en ambiente libre (polvo) Los spuls se traban.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento y limpieza cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas.	Medición de presiones y limpieza	No se realizaba limpieza		
						1.A.2	Fugas de aceite por los sellos del cilindro de Hydracrowd	Evidente: Si, Descripción del efecto: Debido a la fuga del aceite hidráulico por los sellos inferiores del vástago, se demora en llenar las cámaras lo cual hace que el movimiento sea lento.	A1.A.2.1	Se tienen contaminación en el aceite el cual carcome el sello con el trabajo.	1 año	Mantenimiento Programado Inspecciones del vástago del cilindro de Hydracrowd antes de montaje y monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Inspección y monitoreo de aceites	Se realizaba el cambio de componente, ya que los sellos se dañaban por contaminación en el aceite por partículas desprendidas del vástago.		
									A1.A.2.2	El aceite está a una temperatura elevada el cual no está dentro de parámetro de trabajo del sello	1 año	Mantenimiento Programado monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Monitoreo de aceites	El monitoreo de aceites no se realizaba con una frecuencia establecida		
						B	Pérdida de Fuerza	1.B.1	Falta de regulaciones en válvulas PUV y CROWD.	Evidente: Si, Descripción del efecto: Las válvulas de regulación de presión de aceite hidráulico no elevan la presión a lo adecuado para cargar las 120 Ton.	A1.B.1.1	No se realiza con una frecuencia adecuada los seteos de las presiones del cilindro de Hydracrowd.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas.	Medición de presiones y limpieza	Se realizaba Mantenimiento Correctivo para regulación de presiones.
											A1.B.1.2	No se realiza limpieza a las válvulas ya que estas trabajan en ambiente libre (polvo) Los spuls se traban.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento y limpieza cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas.	Medición de presiones y limpieza	Se realizaba Mantenimiento Correctivo para regulación de presiones ni limpiezas.
				1.B.2	Fugas de aceite por los sellos del cilindro de Hydracrowd			Evidente: Si, Descripción del efecto: Debido a la fuga del aceite hidráulico por los sellos inferiores del vástago, se demora en llenar las cámaras lo cual hace que el movimiento sea lento.	A1.B.2.1	Se tienen contaminación en el aceite el cual carcome el sello con el trabajo.	1 año	Mantenimiento Programado Inspecciones del vástago del cilindro de Hydracrowd antes de montaje y monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Inspección y monitoreo de aceites	Se realizaba el cambio de componente, ya que los sellos se dañaban por contaminación en el aceite por partículas desprendidas del vástago.		
									A1.B.2.2	El aceite está a una temperatura elevada el cual no está dentro de parámetro de trabajo del sello	1 año	Mantenimiento Programado monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Monitoreo de aceites	El monitoreo de aceites no se realizaba con una frecuencia establecida		
				C	No realiza movimientos			1.C.1	Ruptura de válvulas REICV o CRGV o PUV o Crowd.	Evidente: Si, Descripción del efecto: Las válvulas se dañaron los asientos o los resortes y se tiene que realizar el cambio, se tienen que medir presiones para identificar cual es el que origino el problema.	A1.C.1.1	No se realiza limpieza a las válvulas ya que estas trabajan en ambiente libre (polvo) Los spuls se traban.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento y limpieza cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas. Cambio a condición	Medición de presiones y limpieza	No se realizaba mediciones ni limpiezas.
											A1.C.1.2	Al no tener un seteo adecuado de presiones ocurrió una sobrepresión que dañaron los asientos o resortes.	45 días	Mantenimiento Programado Inspecciones de Mantenimiento cada 500 hrs midiendo presiones y evaluando el estado de válvulas.	Medición de presiones y limpieza	No se realizaba mediciones ni limpiezas.
						1.C.2	Falla de sellos de vástago del cilindro de Hydracrowd	Evidente: Si, Descripción del efecto: Los sellos se rompieron por lo cual ya no se pueden llenar las cámaras del cilindro de	A1.C.2.1	Se tienen contaminación en el aceite el cual carcome el sello con el trabajo.	1 año	Mantenimiento Programado Inspecciones del vástago del cilindro de Hydracrowd antes de montaje y monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Inspección y monitoreo de aceites	Se realizaba el cambio de componente, ya que los sellos se dañaban por contaminación en el aceite		

EQUIPO: PALA ELECTROMECHANICA CAT 7495HR

COMPONENTES	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA POTENCIAL	FRECUENCIA DE FALLA	ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS	ACCION DEL MANTENIMIENTO A EJECUTAR	MANTENIMIENTO				
									ANTES				
				Hydracrowd con aceite, se tiene que realizar el cambio de componentes.					por partículas desprendidas del vástago.				
					A1.C.2.2	El aceite está a una temperatura elevada el cual no está dentro de parámetro de trabajo del sello	1 año	Mantenimiento Programado monitoreo de aceite cada 500 hrs.	Monitoreo de aceites	El monitoreo de aceites no se realizaba con una frecuencia establecida.			
			1.C.3	Falla en abrazaderas del cilindro de Hydracrowd	Evidente: Si, Descripción del efecto: Las abrazaderas se rompieron y los cover del cilindro de Hydracrowd se soltaron por lo cual rompió el cableado eléctrico de los tables JB30 y JB31, por lo cual no funciona el cilindro.	A1.C.3.1	Ruptura de las abrazaderas.	1 año	Aplicación de mejora Se aplica Service Magazine BI643161 brindado por Caterpillar para las abrazaderas de cilindro de Hydracrowd, las cuales son mejoradas. Cambio a condición	Cambio a condición	Se esperaba a que las abrazaderas se dañen, no se realizaban inspecciones.		
B	TRANSMISIÓN DE GIRO	1	Dar movimiento de rotación a la sala de máquinas	A	No realiza movimiento	1.A.1	Falla en pernos de sujeción de caja de transmisión de giro a estructura de pala	B.1.A.1.1	No se torquearon los pernos adecuadamente con la frecuencia dada.	1 año	Mantenimiento Programado Retorquear cada 2000 hrs y se realiza inspección por ultrasonido cada 4000 hrs.	Ultrasonido y retorqueo	No se realizaban tareas de inspección ni retorques.
								B.1.A.1.2	No se realizó análisis vibracional a las cajas de transmisión de giro.	1 año	Mantenimiento Programado Análisis vibracional cada 2000 hrs.	Análisis vibracional	El análisis vibracional no tiene una frecuencia establecida.
								B.1.A.1.3	No se realizó ultrasonido a los pernos con la frecuencia adecuada.	1 año	Mantenimiento Programado Inspección por ultrasonido cada 4000 hrs.	Ultrasonido	El monitoreo de aceites no se realizaba con una frecuencia establecida
C	BARRETÓN DE CUCHARÓN	1	Permite la apertura y cierre de la compuerta del cucharón	A		1.A1	Desgaste en el Barretón	C.1.A.1.1	Se trabaja en un material más duro, lo cual acelera el desgaste prematuro.	1 mes	Aplicación de mejora Se aplica la mejora BI76593 en donde tiene un inserto el barretón con una dureza mejorada. Mantenimiento Programado Mantenimiento cada 500 hrs.	Inspección y cambio de elemento de desgaste	No se realizaban inspecciones por lo cual su desgaste no era medido y se tenía que parar el equipo en un mantenimiento correctivo para su reparación
								C.1.A.1.2	Se trabaja en un material más duro, lo cual acelera el desgaste prematuro.	1 mes	Aplicación de mejora Se aplica la mejora BI76593 en donde tiene un inserto el barretón con una dureza mejorada. Mantenimiento Programado Mantenimiento cada 500 hrs.	Inspección y cambio de elemento de desgaste	No se realizaban inspecciones por lo cual su desgaste no era medido y se tenía que parar el equipo en un mantenimiento correctivo para su reparación
							1.A.2	Ruptura del Barretón	Evidente: Si, Descripción del efecto: Se rompe el barretón usualmente en la parte inferior que hace contacto con el cucharón, esto ocurre por el constante impacto que se llega a tener.	C.1.A.2.1	No se realizó una inspección adecuada, por lo cual no se reparó en el momento adecuado	6 meses	Mantenimiento Programado Se realiza el cambio del barretón cada 4000 hrs.

4.7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

Código de Equipo	Descripción de Equipo	Probabilidad	CP	IO	IC	IA	Consecuencia	Criticidad rango	Criticidad rango 1	Criticidad Elipse
2160	PALA BUCYRUS 495HR2	A	4	4	3	2	4	AS	Criticidad Extrema	A
2161	PALA CAT 7495 HYDRACROWD AC	A	2	4	3	2	4	AS	Criticidad Extrema	A
2162	PALA CAT 7495 HYDRACROWD AC	A	2	4	3	2	4	AS	Criticidad Extrema	A

4.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE REPUESTOS

Código de Stock	Descripción	Numero de Parte	Nemónico	Und	EGI	Estrategia	Frec. Cambio	IE	CE	LT	CA	I	Criticidad rango	Criticidad rango 1
000254490	SELLOS DE VÁSTAGO CILINDRO HYDRACROWD	1238466	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000254235	VÁLVULA PUV	1240051	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000254219	VÁLVULA REICV	1236814	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000254094	VÁLVULA CRGV	1124185	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000253989	VÁLVULA CROWD	C108037-01	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000253971	PERNOS TX DE GIRO	1279632	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000259259	SUPERBOLT TX DE GIRO	S134535	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico
000259143	TUERCAS DE TX DE GIRO	1528164	CAT	PZ	7495HR	1	4	4	4	4	5	10.1	40.4	Altamente Critico

CAPITULO V: CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. En el sistema de empuje del cilindro de hydracrowd causa un promedio de 188 horas de paradas por mantenimiento correctivo o una pérdida de disponibilidad del 0.7% debido al cambio de componentes por fugas de aceite hidráulico por el sello inferior el cual es dañado por partículas de cromo y fierro que se desprende de la capa de cromado del vástago, los 2 eventos ocurridos que se registraron fueron con cilindro reparados, a la vez se identificó que el cilindro que se tiene en stand by tiene rayaduras longitudinales y radiales. El monitoreo de aceite será de cada 500 horas e inspección visual y dureza del vástago en la recepción y montaje del componente.
2. En el sistema de giro la fractura de los superbolts y pernos en las cajas de transmisión ocasionaron 220 horas de parada por mantenimiento correctivo o una pérdida de disponibilidad del 0.8%, esto ocurrió por no torquear con la frecuencia recomendada de cada 2000 horas y no realizar las inspecciones de ultrasonido a los superbolts cada 4000 horas, estas recomendaciones fueron dadas por Caterpillar desde el 2016, pero no se incluyeron en las cartillas de inspección. A la vez el tiempo de reparación aumento debido a que los pernos no se tenían en almacén. Se incluyeron las recomendaciones por el fabricante y se catalogaron los superbolt, pernos y tuercas como repuestos altamente crítico.
3. En el sistema de componentes adjuntos, el barretón del cucharón causa 80 horas de paradas o una pérdida de disponibilidad del 0.3% por regulaciones y cambios debido a su desgaste

premature, this premature wear is being done due to the impact that it has at the moment of closing the door, to which an insert is being placed in the head of the barretón avoiding the change of the component prematurely, saving time and minimizing regulations.

4. Con las mejoras presentadas creadas para mitigar los mantenimientos correctivos se tendrá una mejora de la disponibilidad en 1% lo cual disminuirá el porcentaje del mantenimiento correctivo del 50% a 36.8%.
5. Con el análisis de Pareto se identificó que el sistema de empuje tiene aproximadamente el 30% de mantenimientos correctivos, el análisis Jack Knife nos muestra la misma información, pero dando otra perspectiva desde la cantidad de eventos, el tiempo de reparación e impacto a la disponibilidad, por lo cual el análisis de Pareto sería mejor utilizado cuando se trata con costos.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Se debería analizar la información de fallas mensualmente con Jack Knife y Pareto para poder tener un control y seguimiento sobre las mejoras instaladas; a la vez poder analizar las otras fallas críticas, crónicas y aguadas que se tienen.
2. El área de reparables tiene que mejorar su gestión de calidad de reparaciones ya que se encuentran componentes reparados que son críticos con defectos lo cual causa complicaciones al momento de las instalaciones o pueden conllevar a una falla prematura con el riesgo de que la garantía no se pueda reconocer.
3. Se deberían realizar reuniones con los dealers de las marcas semestralmente acerca de mejoras que dio fábrica ya que la falla de los covers la mejora salió en el 2014 y a la fecha no se instaló ocasionando paradas y daños a los equipos, a la vez los especialistas que están en mina deberían estar informando constantemente sobre las mejoras que van saliendo.
4. La criticidad de los repuestos que se tienen que tener en spare en mina se debería volver analizar con los especialistas de los dealers ya que la criticidad de repuestos actual fue realizada por personal de planeamiento y ejecución a lo cual no se consideraron los pernos de la caja de giro cuando los dealers lo tenían catalogado como crítico.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Revistar ENCARE – Benchmarking & Gestión ed.2017, Disponibilidades Físicas de equipos de palas, Santiago de Chile, 2017.
2. Riquelme Hernández, Marcel Alberto, “Proyecto en Monitoreo de Condiciones para mantenimiento Predictivo de Palas Electromecánicas”, Tesis (Título Profesional de Ingeniero Civil Electricista) Universidad de Chile, 2013.
3. Revista ENCARE – Benchmarking & Gestión ed.2017, Disponibilidades Físicas de equipos de palas, Santiago de Chile, 2017.

BIBLIOGRAFÍA

1. Donald W. Benbow, Hugh W. Broome, The Certified Reliability Engineer Handbook (2012).
2. Jhon Moubray. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (2004).
3. José Luis Rivera Stay. Modelo de toma de decisiones de mantenibilidad para evaluar impactos en disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad y costos, Santiago de Chile (2015).
4. Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffua, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Ait Kadi, Handbook of Maintenance Management and Engineering.
5. Richard D. Palmer. Maintenance Planning and Scheduling Handbook (2012).
6. Bożena Skotnicka Zasadzień. An Analysis of possibilities to use a Pareto Chart for evaluation mining machines failure frequency. Maintenance and Reliability NR 3/2011.

7. Dr. Rodrigo Pascual. Optimización en la gestión del equipo y del mantenimiento. Programa de especialización en Ingeniería de Mantenimiento (2012).
8. Jeffrey K. Liker and David Meier. The Toyota way Fieldbook (2006).
9. José Luis Amendola Valencia. Organización y gestión del Mantenimiento (2002).
10. Joseph M. Juran, Joseph A. De Feo. Juran's Quality Handbook.
11. Karydas DM, Gifun JF. A method for the efficient prioritization of infrastructure renewal projects. Reliability Engineering and System Safety (2006).
12. Matt Bellias. Asset Management. The evolution of maintenance (2017).
13. Peter F. Knights. Downtime Priorities, Jack-Knife Diagrams, and the Business Cycle. Maintenance Journal (2004).
14. R.Pascual, G. Del Castillo, D. Louit, P. Knights. Business-oriented prioritization: A novel graphical technique. Reliability Engineering and System Safety 94 (2009).
15. Ricky Smith, R. Keith Mobley, Industrial Machinery Repair (2012).
16. Rodrigo Pascual J. Optimización en la gestión de activos físicos. V Foro INFOR, Santiago de Chile, (2007).
17. Víctor D. Manríquez. El principio de Pareto y los Malos Actores. Predictiva 21.

ANEXOS

1. Ajuste de Superbolts
2. Dimensiones Pala Cat 7495HR
3. Ficha Técnica Pala Cat 7495HR
4. Pruebas Hidraulicas Sistema de Empuje CAT 7495HR
5. Torqueo Superbolts



NOTES:

THIS PROCEDURE IS SUITABLE FOR SUPERBOLT TORQUENUTS WITH (8) OR MORE JACKBOLTS.

ALL TORQUE VALUES ARE TO COME FROM THE ASSEMBLY DRAWINGS. DO NOT USE THE VALUES STAMPED ON THE TORQUENUTS.

MAKE SURE SPECIAL STEEL WASHERS SUPPLIED WITH TORQUENUTS ARE USED UNDER EACH TORQUENUT - DO NOT USE STANDARD COMMERCIAL WASHERS.

AN IMPACT WRENCH MAY BE USED FOR THE INITIAL RUN UP, BUT A TORQUE WRENCH MUST BE USED FOR THE FINAL VALUES.

INSTALLATION PROCEDURE:

STEP 1: JACKBOLT THREADS & END FACES ARE PRE-LUBRICATED BY VENDOR WITH GRAPHITE LUBE. ENSURE THAT GRAPHITE LUBE FILM IS PRESENT ON THESE SURFACES AND APPLY ADDITIONAL GRAPHITE LUBE (MP390331) AS NEEDED.

STEP 2: CHECK BASE OF TORQUENUT TO ENSURE THAT ALL JACKBOLTS ARE FLUSH WITH BOTTOM.

STEP 3: LUBRICATE THE THREADS OF THE MAIN STUD WITH ANTI-SEIZE LUBRICANT.

STEP 4: SLIDE THE HARDENED WASHER ONTO THE STUD, THEN SPIN THE TENSIONER ONTO THE MAIN THREAD UNTIL IT SEATS AGAINST THE WASHER.

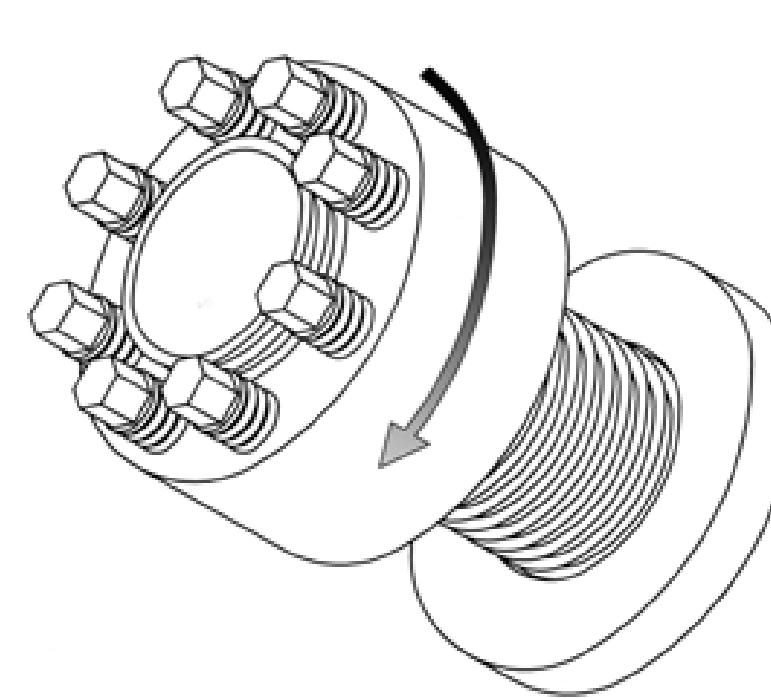
STEP 5: USING A SUITABLE TORQUING DEVICE, TIGHTEN (4) JACKBOLTS AT 90 ° APART (SEE FIGURE TO RIGHT FOR SEQUENCE) ON ALL STUDS WITH A PARTIAL TORQUE (30-70%).

STEP 6: AT 120% TARGET TORQUE, TIGHTEN THE SAME (4) JACKBOLTS ON ALL STUDS.

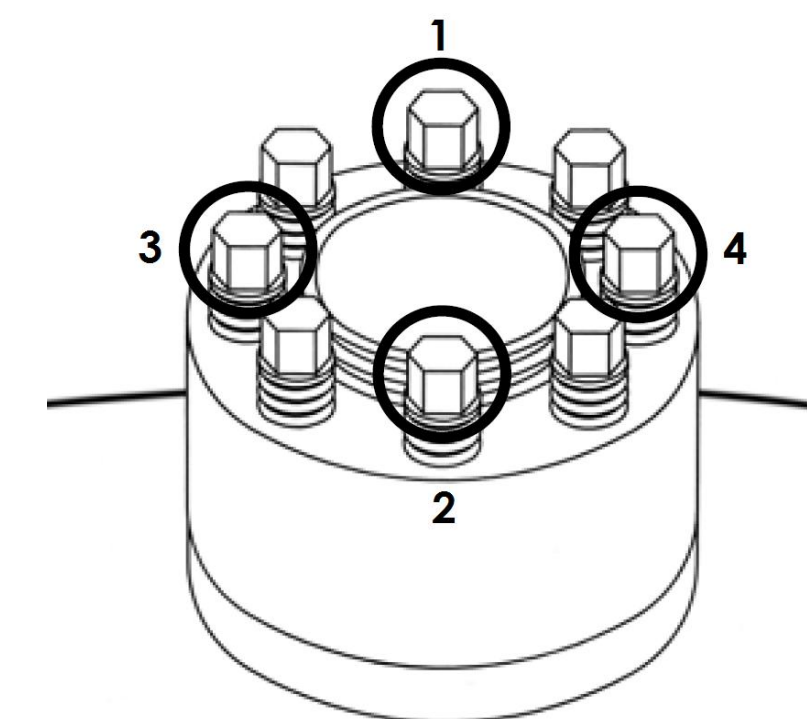
STEP 7: AT 120% TARGET TORQUE, TIGHTEN ALL JACKBOLTS IN A CIRCULAR PATTERN. DO THIS FOR ALL STUDS (1 ROUND ONLY).

STEP 8: CONTINUE TO TIGHTEN ALL JACKBOLTS TO 120% TARGET TORQUE IN A CIRCULAR PATTERN FOR 1 ADDITIONAL PASS. DO THIS FOR ALL STUDS.

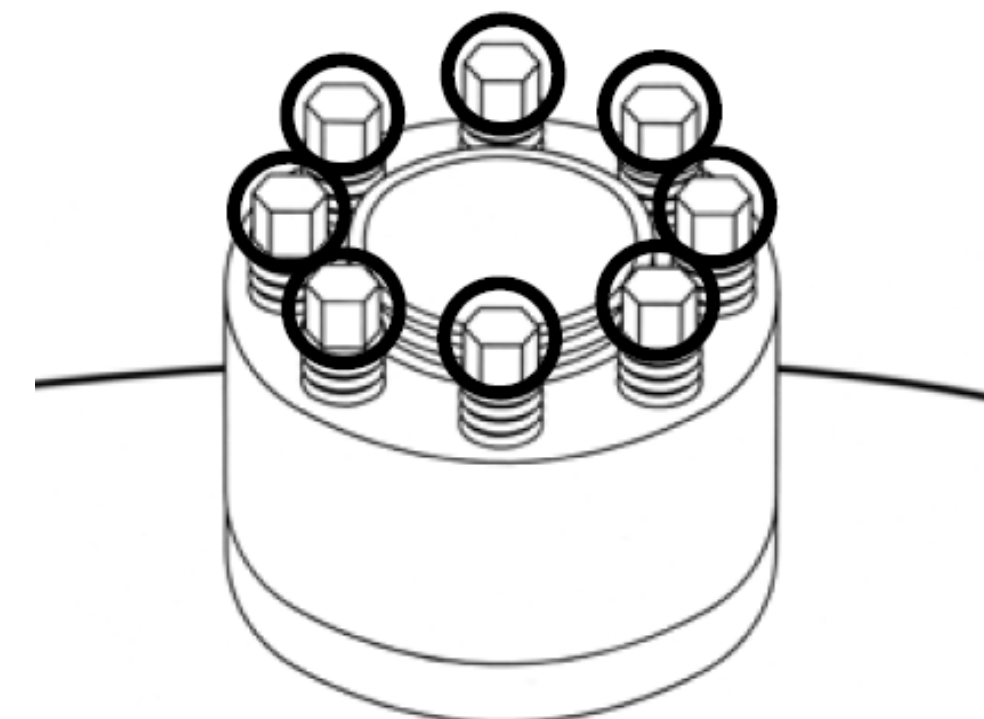
STEP 9: SWITCH TO A TORQUE WRENCH AND TIGHTEN ALL JACKBOLTS TO 100% TARGET TORQUE IN A CIRCULAR PATTERN UNTIL ALL JACKBOLTS ARE STABILIZED (LESS THAN 10 ° ROTATION). THIS USUALLY REQUIRES 2-4 ADDITIONAL PASSES.



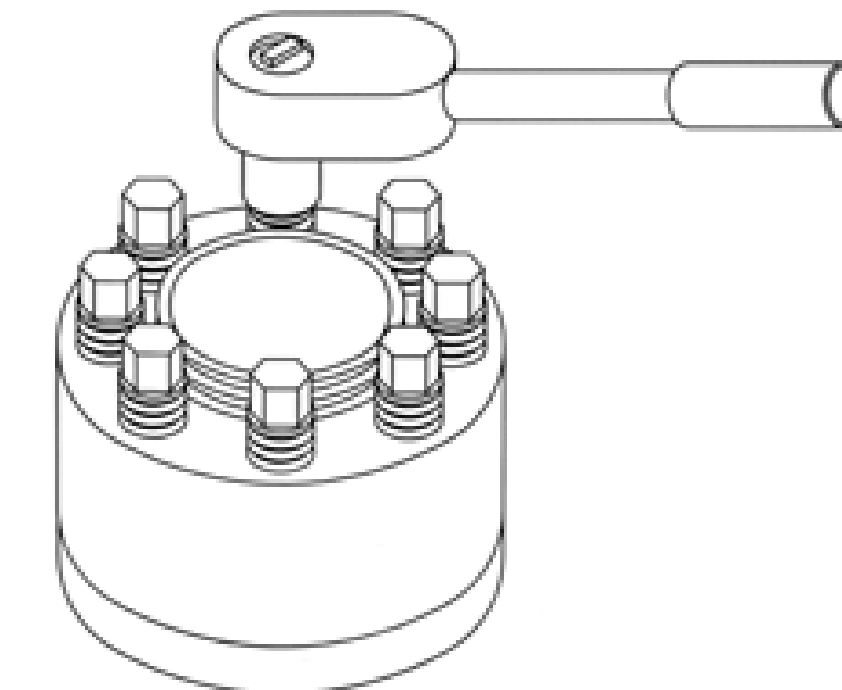
STEP 4



STEPS 5 & 6
(INITIAL TORQUE SEQUENCE)



STEPS 7 & 8



STEP 9

REMOVAL PROCEDURE:

PREPARATION: SPRAY JACKBOLTS WITH PENETRATING OIL OR HYDRAULIC OIL PRIOR TO START.

STEP 1: LOOSEN EACH JACKBOLT 1/8 TURN FOLLOWING A CIRCULAR PATTERN AROUND THE TENSIONER (1 ROUND ONLY). AS YOU MOVE AROUND AND GET BACK TO THE FIRST JACKBOLT, IT WILL BE TIGHT AGAIN. DO THIS FOR ALL STUDS ON THE JOINT PRIOR TO THE NEXT STEP.

STEP 2: REPEAT A 2ND ROUND AS ABOVE FOR ALL STUDS, NOW LOOSENING EACH JACKBOLT 1/4 TURN IN A CIRCULAR PATTERN.

STEP 3: CONTINUE LOOSENING 1/4 TURN FOR 3RD AND SUCCESSIVE ROUNDS UNTIL ALL JACKBOLTS ARE LOOSE. NOTE: USUALLY AFTER THE 3RD OR 4TH ROUND, AN IMPACT TOOL CAN BE USED TO COMPLETELY EXTRACT THE JACKBOLTS, ONE BY ONE. FOR LONG BOLTS OR TIE RODS, ADDITIONAL ROUNDS MAY BE REQUIRED BEFORE REMOVING THE JACKBOLTS WITH AN IMPACT TOOL.

STEP 4: REMOVE, CLEAN AND RELUBRICATE THE JACKBOLT THREADS AND TIPS PRIOR TO NEXT USE WITH CORRECT SUPERBOLT LUBRICANT (MP390331).

CAUTION! JACKBOLTS MUST BE UNLOADED GRADUALLY. IF SOME JACKBOLTS ARE FULLY UNLOADED PREMATURELY, THE REMAINING JACKBOLTS WILL CARRY THE ENTIRE LOAD AND MAY BE HARD TO TURN. WITH EXTREME ABUSE, A JACKBOLT TIP CAN DEFORM, MAKING REMOVAL DIFFICULT.

STUCK JACKBOLT REMOVAL: IF A JACKBOLT WILL NOT TURN, REMOVE, RE-LUBE, AND RETIGHTEN A NEIGHBORING JACKBOLT. THEN TRY TO TURN THE STUCK JACKBOLT.

REVISION DATA	
REV	DESCRIPTION
BY	
DATE	
ECN	

ISSUE DATE

SOLIDWORKS DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2013 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

BUCYRUS Bucyrus International, Inc.

DESCRIPTION
INSTRUCTION - SUPERBOLT MJT

REF DWGS

MODEL	495HF/HR	UNIT	FIN WGT (LBS)
DET	VITAS J.	DATE (MM-DD-YYYY)	REV
ENG CONTACT	YAUNKE J.	DWG SIZE	C
NO.	4388000		SHEET 1 OF 1

ALL DIMENSIONS IN INCHES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

MACHINING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

- 2 PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .01 FOR EACH 12 MAX ± .09
- 3 PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .005 UP TO 36, ± .010 OVER 36
- CONCENTRICITY OF CYLINDRICAL SURFACES = .010 T.I.R.
- PARALLELISM, SQUARENESS, OR ANGULARITY BETWEEN SURFACES AND/OR HOLE CENTERLINES = 0.7° (.002 INCH/INCH)

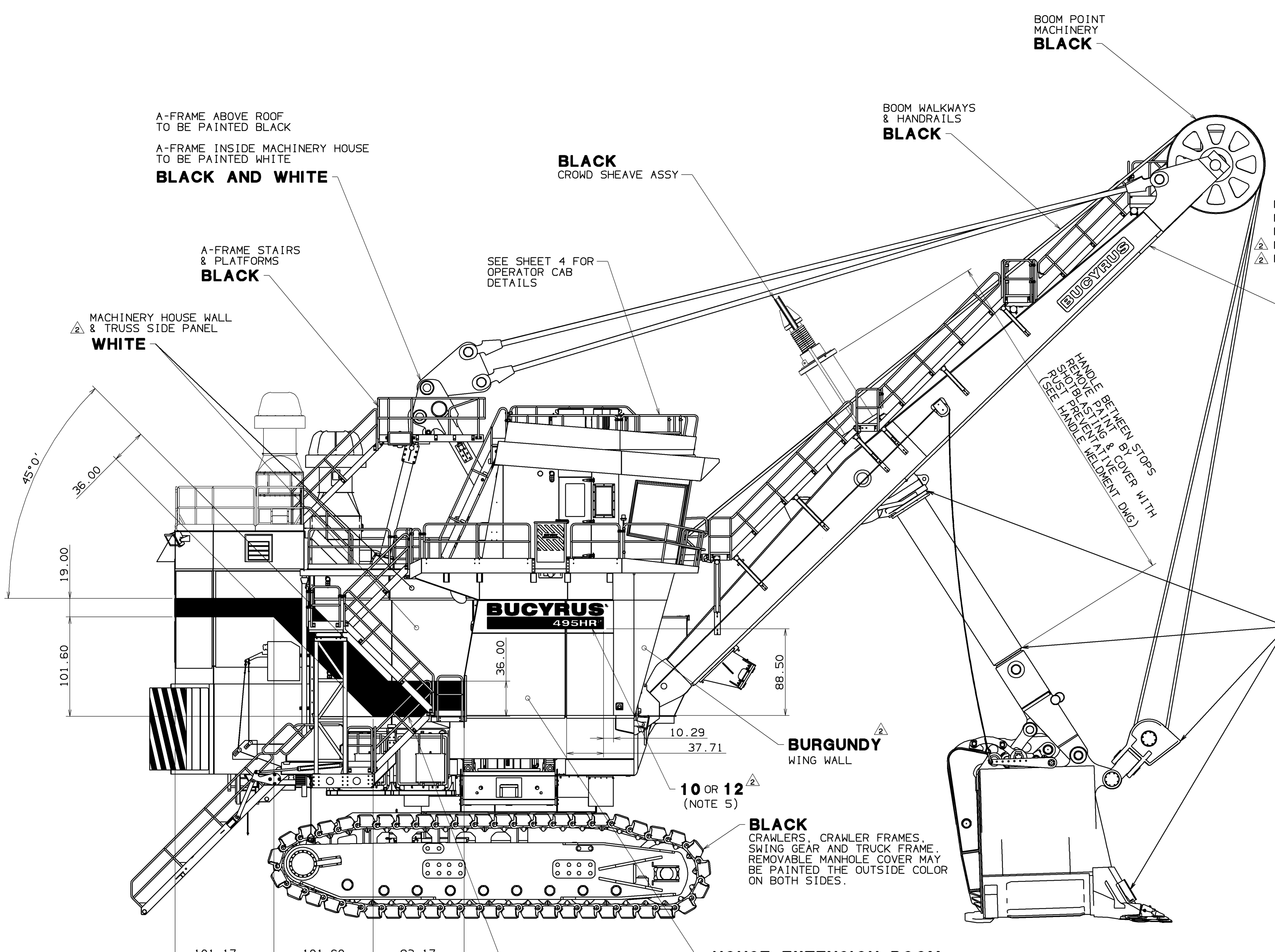
FABRICATING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. MATERIAL THICKNESS	DIMENSIONS	± TOLERANCE
A. LESS THAN .12	0 TO 36	.03
	OVER 36	.06
B. .12 TO .50	0 TO 36	.06
	OVER 36	.12
C. .50 TO 1.00	0 TO 36	.09
	OVER 36	.19
D. OVER 1.00	0 TO 36	.19
	OVER 36	.25

2. BENT ANGLES ± 1° (0.17 IN/IN) FOR EACH .37 OF MATERIAL THICKNESS (MAX ± 3°)

WELDMENT TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. DIMENSION	MATERIAL THICKNESS	± TOLERANCE
A. UP TO 36"	UP TO 1"	.06
	1" AND GREATER	.12
B. 36" TO 10'	UP TO 1"	.12
	1" AND GREATER	.19
C. 10' TO 30'	UP TO 1"	.19
	1" AND GREATER	.25
D. OVER 30'	ALL	.25



QUAN	QUAN	QUAN	ITEM NO.	DESCRIPTION	PART NO.		
*				PAINT, STANDARD, FIELD	E024668-01		
				PAINT, STANDARD, SHOP	-02		
				PAINT, STANDARD, SUBC	-03		
				DECALS, 495HR2, FLD ASSY	-04		
				DECALS, 495HF2, FLD ASSY	-05		
15	100	5	-	1	PAINT, GLOSS BLACK	61 005 030	
5	-	-	-	2	PAINT, CAT YELLOW	61 037 687	
30	50	200	-	3	PAINT, NORTHWEST ORIENT WHITE	61 005 033	
20	15	30	-	4	PAINT, BURGUNDY	61 005 050	
10	320	530	-	5	PRIMER	61 005 034	
				6			
	8	-	-	7	SEALER, CASTING	61 211 251	
				8			
NOTE 5	-	-	1	1	DECAL, BUCYRUS, BLACK-BRGNDY	S096203	
NOTE 5	-	-	1	-	10	DECAL, 495HR2, WHITE-BLACK	S096202
NOTE 5	-	-	1	-	11	DECAL, 495HR2, BLACK-BRGNDY	S096200
NOTE 5	-	-	-	1	12	DECAL, 495HF2, WHITE-BLACK	S120679
NOTE 5	-	-	-	1	13	DECAL, 495HF2, BLACK-BRGNDY	S124560

* MATERIAL IS LISTED IN POSITION 7850 OF MACHINE BOM

BOOM
EXTERIOR - BLACK
INTERIOR - WHITE

BLACK
HANDLE, PADLOCKS, SADDLEBLOCK, DIPPER

- NOTES:**
1. ALL METAL SURFACES MUST BE CLEANED & PRIMED BEFORE FINISH PAINTING USING ITEMS 5 & 7.
 2. ALL PAINT TO SD 2305.
 3. PRIMER TO BE APPLIED AT 3.5 - 5 MIL DRY FILM THICKNESS.
 4. HOUSE STRIPE TO BE FIELD PAINTED.
 5. PAINT MUST CURE APPROXIMATELY 24-36 HOURS BEFORE APPLYING DECALS.

RIGHT HAND VIEW

SEE NOTE 4

REV	BY	RLA	DATE	DESCRIPTION
1			01-14-2011	ECN 20112018049
2			01-14-2011	ADDED QTY 5 OF ITEM 2.
3			01-14-2011	DELETED ITEM 2, ADDED ITEM 12 & 13. SHEET 1: ADDED COLOR DEFINITION TO WING WALL & TRUSS SIDE PANEL. SHEET 2: ADDED VIEW OF BOARDING. ADDED COLOR DEFINITION TO WING WALL, DIPPER TRIP GUARD & ROOF TRUSS FRONT PANELS. UPDATED ADDED REV FRAME VIEW.

REVISION DATA

REISSUE DATE 01-14-2011

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

MACHINING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. 2 PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .01 FOR EACH 12 MAX ± .09

2. 3 PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .005 UP TO .36

3. CONCENTRICITY OF CYLINDRICAL SURFACES ± .010 T.I.R.

4. PARALLELISM, SQUARENESS, OR ANGULARITY BETWEEN SURFACES AND/OR HOLE CENTERLINES ± .017 1.000 INCH/INCH

FABRICATING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. MATERIAL THICKNESS DIMENSIONS ± TOLERANCE

A. LESS THAN .12 0 TO OVER .03

B. .12 TO .50 0 TO OVER .06

C. .50 TO 1.00 0 TO OVER .08

D. OVER 1.00 0 TO OVER .10

2. BENT ANGLES ± 1° .017 IN/IN FOR EACH .37 OF MATERIAL THICKNESS (MAX 3°)

MELDMENT TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. DIMENSION MATERIAL THICKNESS ± TOLERANCE

A. UP TO 1" UP TO 1" ± .06

B. 30° TO 10° UP TO 1" ± .08

C. 10° TO 30° UP TO 1" ± .10

D. OVER 30° ALL AND GREATER ± .12

DESCRIPTION

PAINT, STANDARD, 495HR2/HF2

REF DWGS E024668

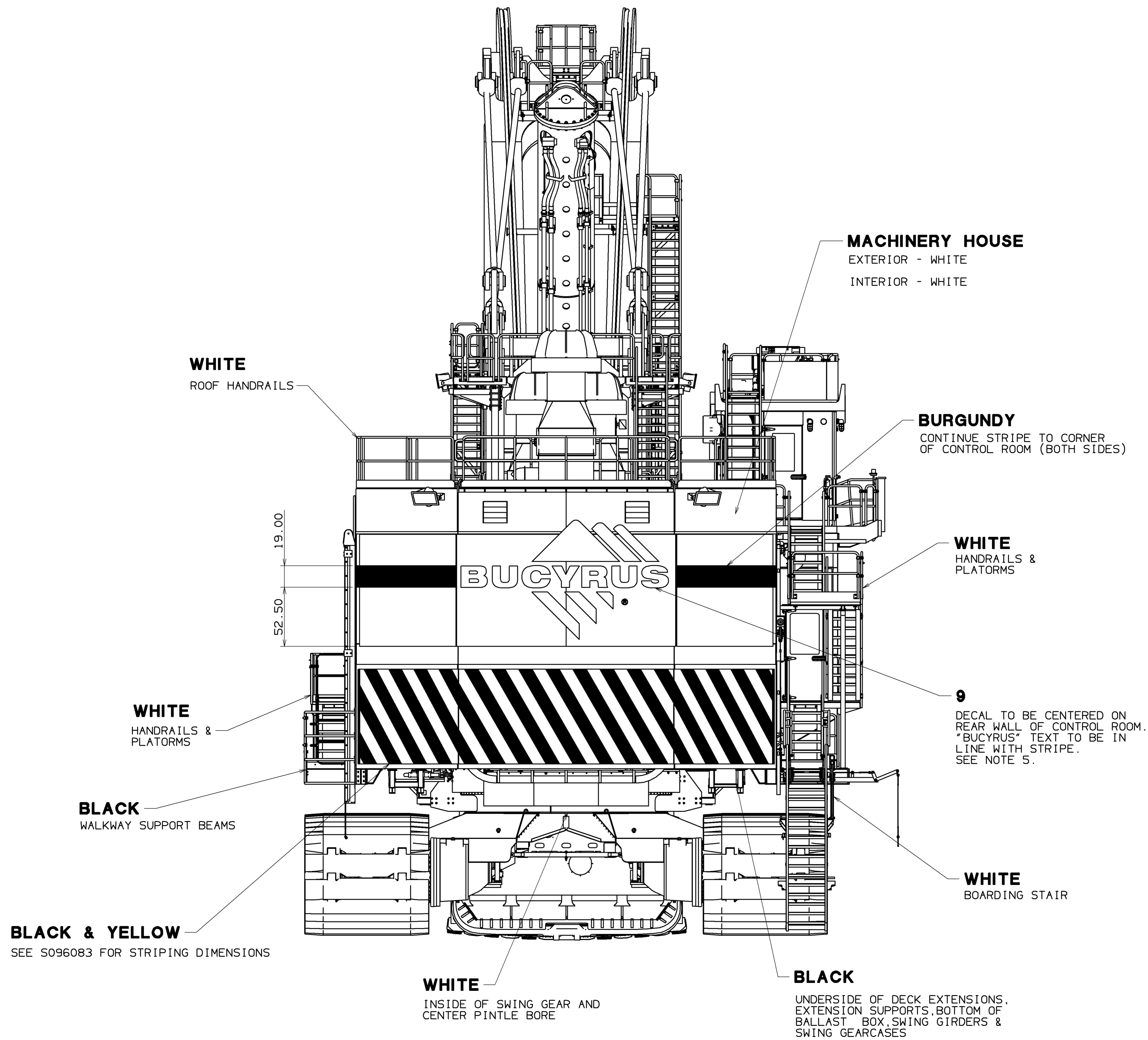
DET R. ANDERSON MODEL 495HR2/HF2

ENG CONTACT UNIT 6200, 6300

R. ANDERSON DATE 06-02-2010

DWG SIZE E REV 2 SHEET

NO. E024683 1 OF 4

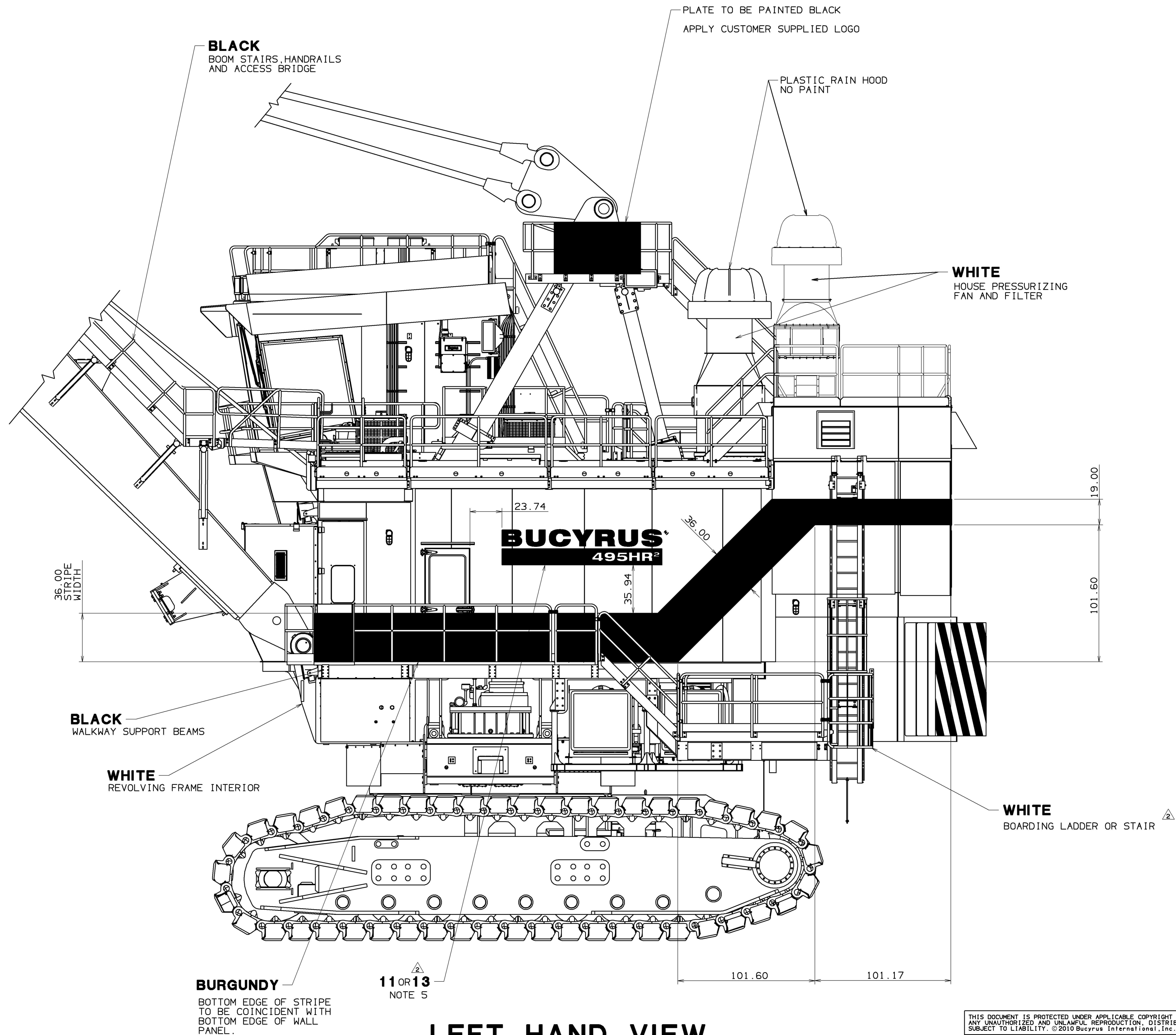


REAR VIEW

REISSUE DATE
01-14-2011

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. ©2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

	DESCRIPTION	
	PAINT, STANDARD, 495HR2/HF2	
	DWG SIZE E	REV 2 SHEET NO.
NO. E024683		2



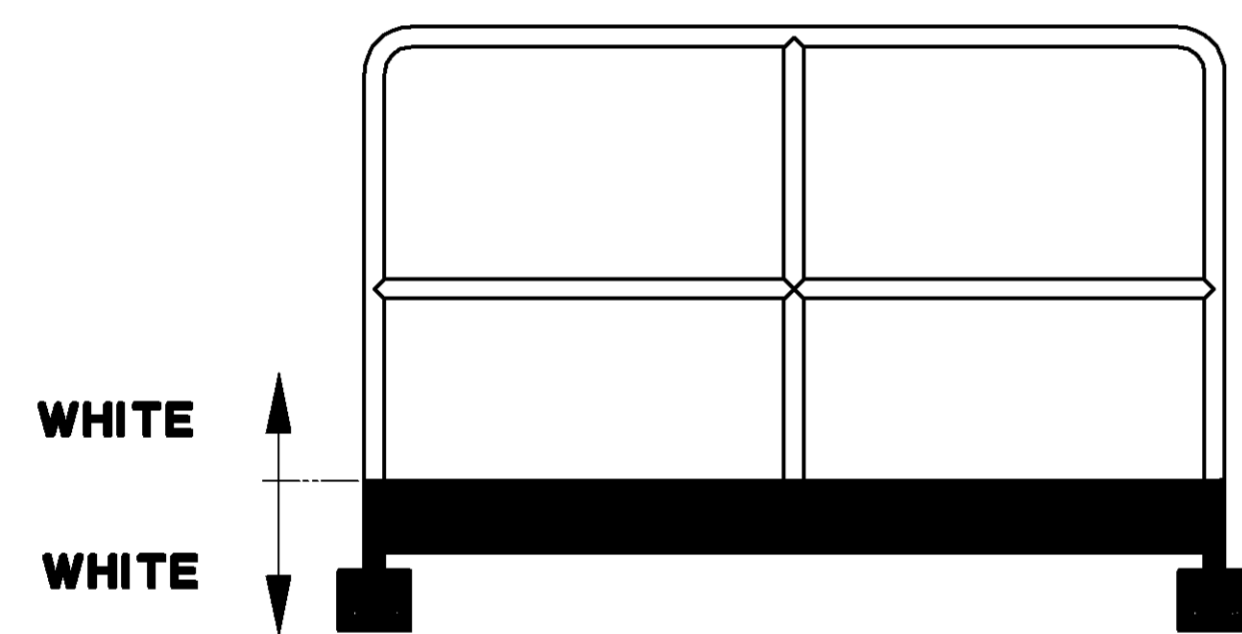
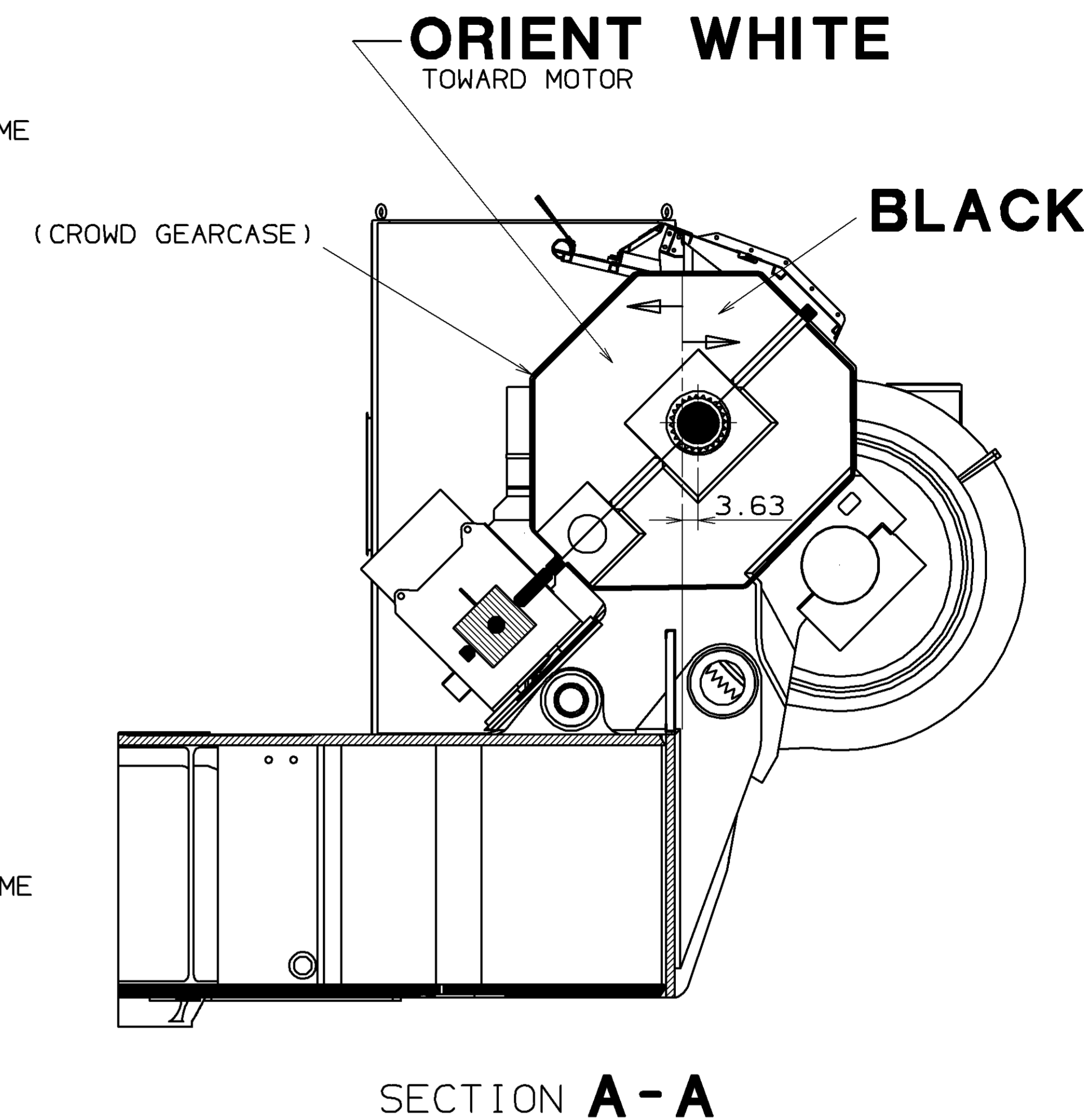
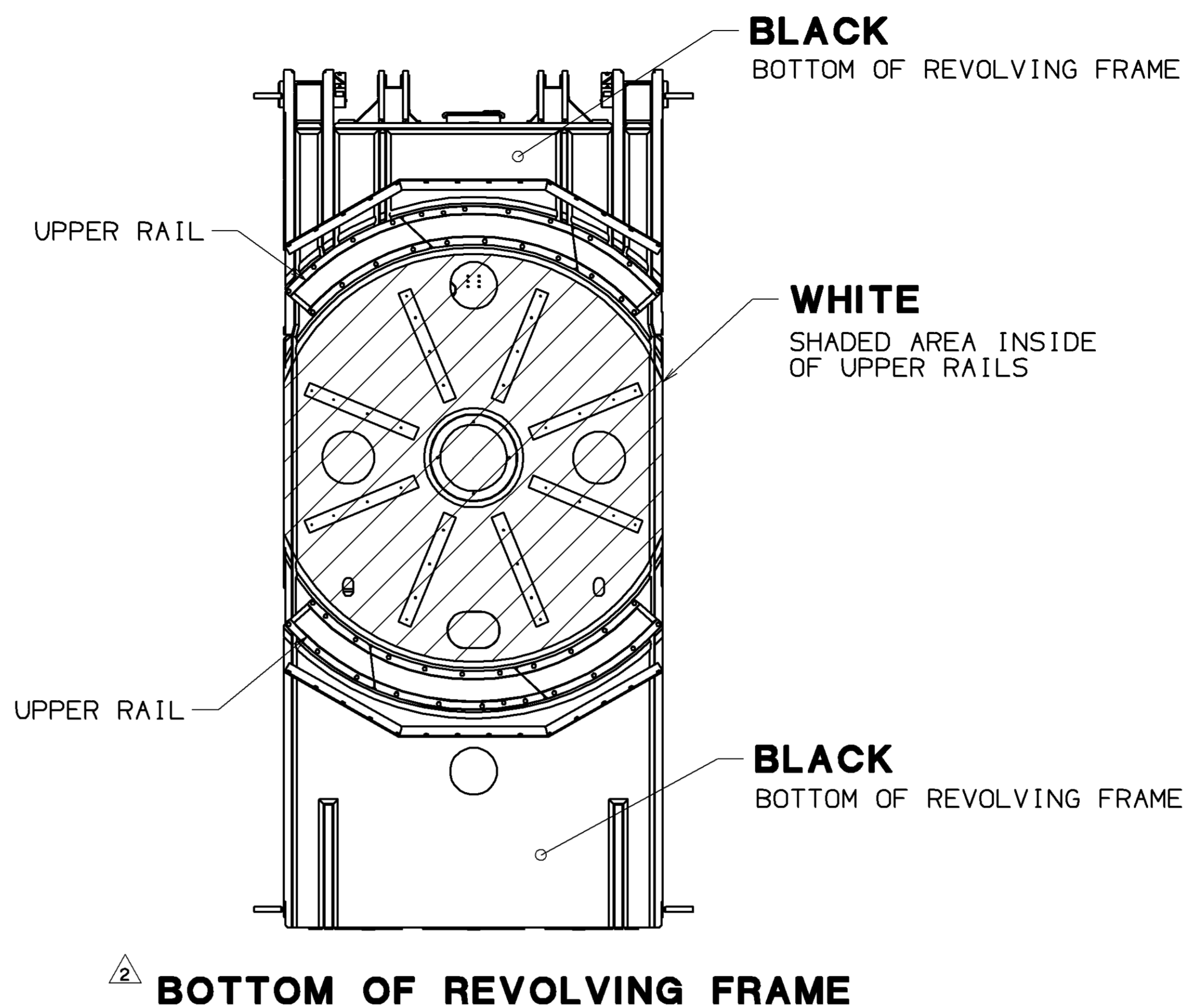
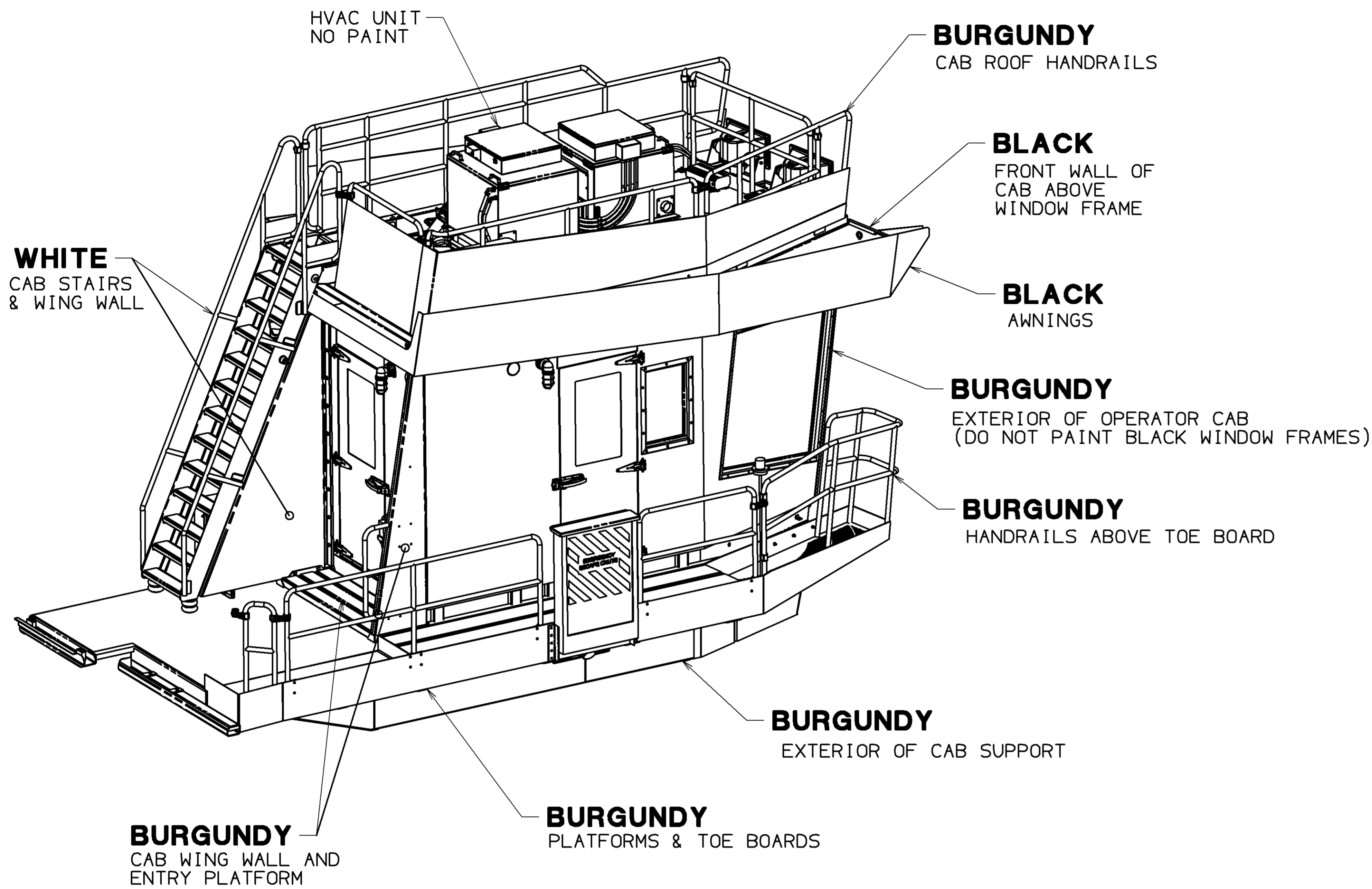
LEFT HAND VIEW

REISSUE DATE
01-14-2011

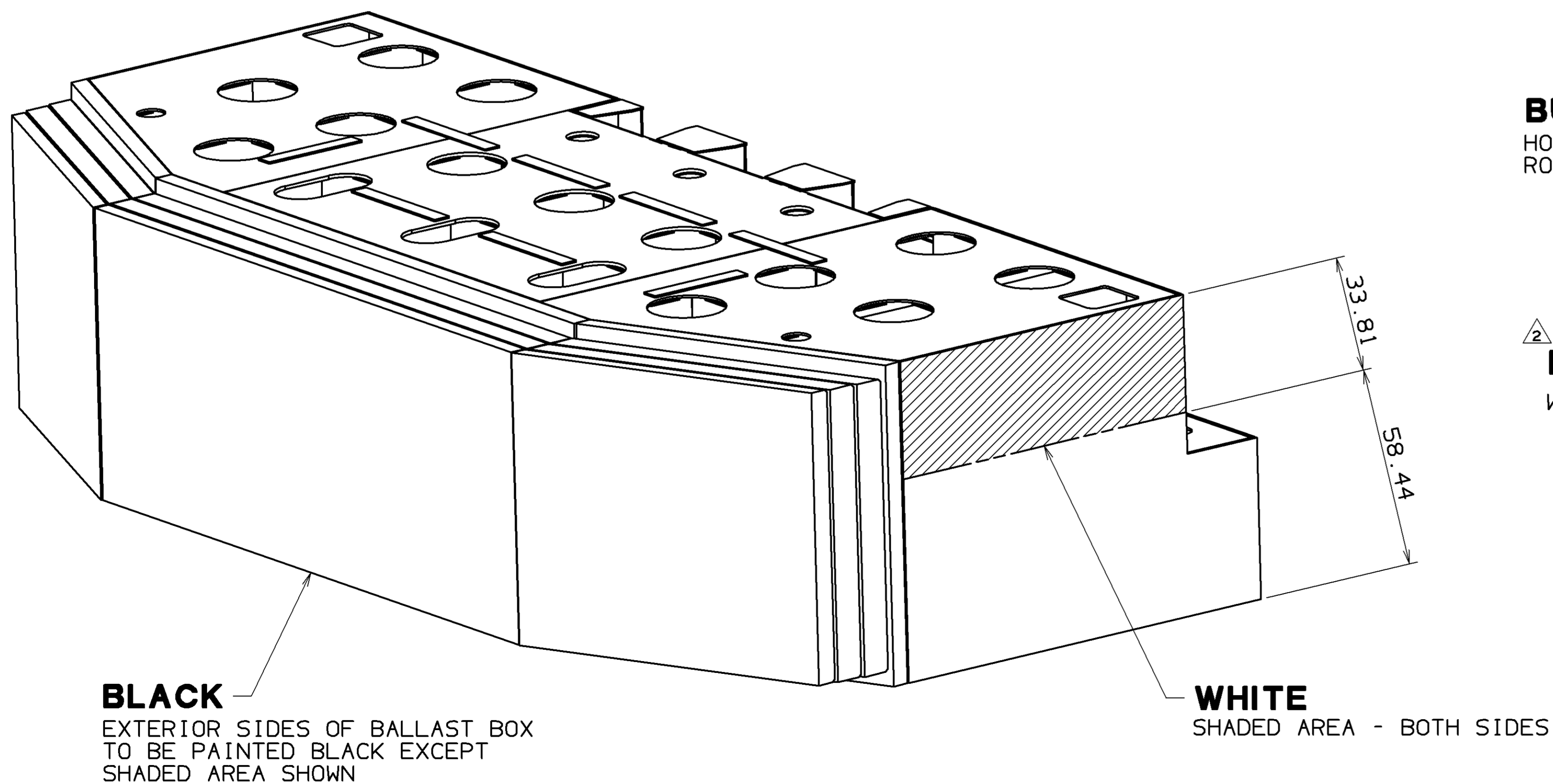
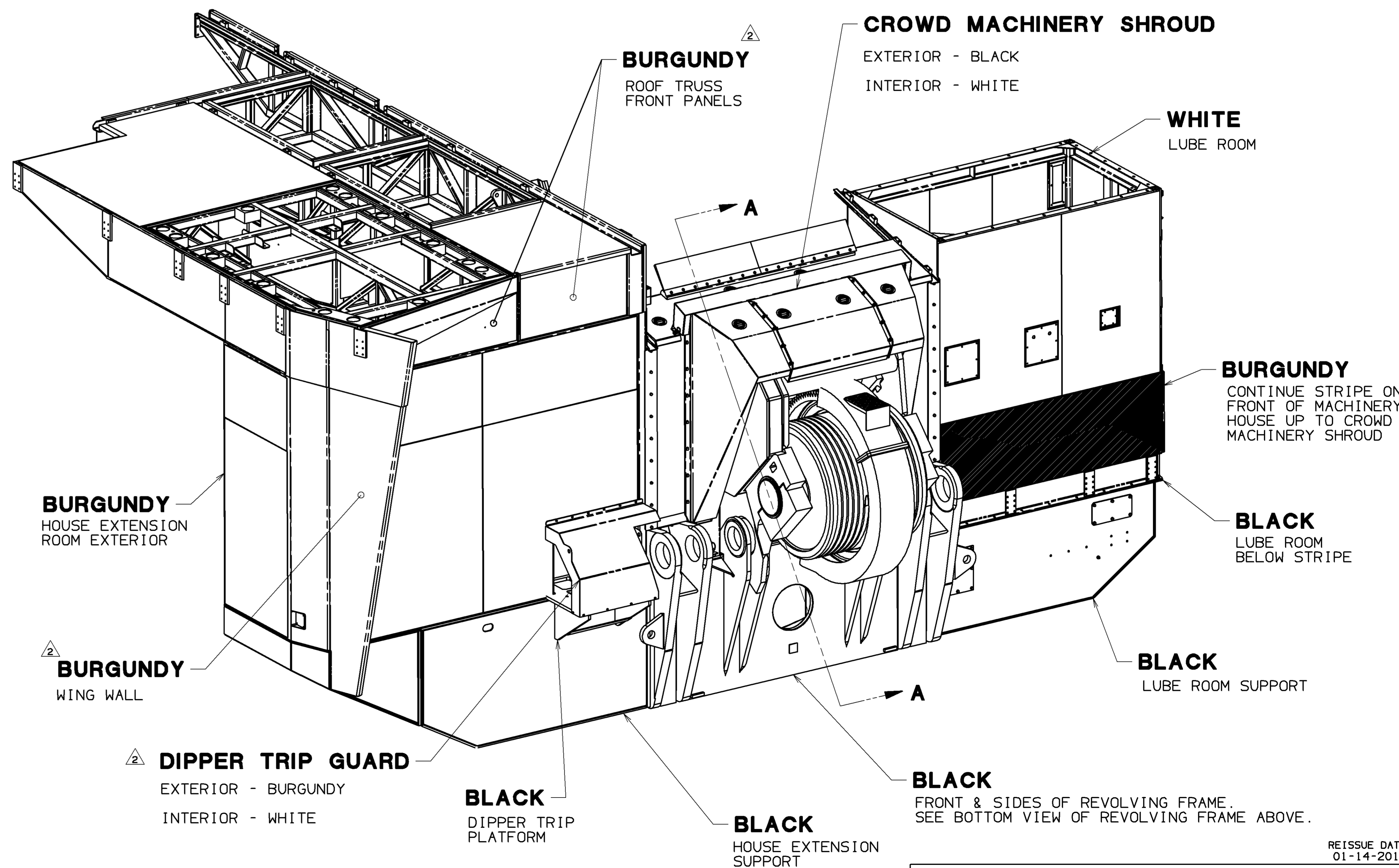
THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE.
ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE
SUBJECT TO LIABILITY. ©2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

	DESCRIPTION	
	PAINT, STANDARD, 495HR2/HF2	
	DWG SIZE E	REV 2 SHEET NO.
NO. E024683		3

CADRA DRAWING



TYPICAL HANDRAIL PAINTING UNLESS OTHERWISE SHOWN



REISSUE DATE
01-14-2011

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. ©2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

BUCYRUS Bucyrus International, Inc.	DESCRIPTION	
	PAINT, STANDARD, 495HR2/HF2	
	DWG SIZE E	REV 2 SHEET NO.
	NO. E024683	4

7495 Electric Rope Shovel Specifications

Dimensions – with HydraCrowd

Dipper payload (Available dipper payloads up to 109 tonnes (120 tons) when specified)	100 tonnes	110 tons
Dipper capacity	30.6-61.2 m ³	40-80 yd ³
Length of boom	20.4 m	67 ft
Effective length of dipper handle	10.9 m	35 ft 10 in
Overall length of dipper handle	14.3 m	47 ft

Weights – with HydraCrowd

Working weight, with dipper and standard links	1 382 400 kg	3,047,670 lb
Net weight, domestic, without ballast or dipper	999 182 kg	2,202,820 lb
General-purpose dipper – 56 m ³ (73 yd ³)	80 603 kg	177,700 lb
Ballast (furnished by customer)	302 614 kg	667,150 lb

- These weights will vary slightly depending upon dipper and optional equipment selection

Main Structures – with HydraCrowd

Crawler Mounting

Overall width 200.7 cm (79 in) treads, standard	11 m	36 ft
Overall length of mounting	11.43 m	37 ft 6 in
Overall width 259.1 cm (102 in) treads	13.5 m	44 ft 3 in
Total effective bearing area (200.7 cm treads)	36.1 m ² 374 kPa	388.6 ft ² 54.2 psi
Total effective bearing area (259.1 cm treads)	46.6 m ² 289 kPa	501.7 ft ² 50 psi
Number and diameter of rollers		
Lower: 16	78 cm	30.7 in
Lower rear: 2	106.7 cm	42 in
Upper	Slides	
Take-up tumblers diameter	162 cm	63.8 in
Number and pitch of treads: 94	50.8 cm	20 in

Planetary Propel

Dual-motor independent drive

Revolving Frame (Center Section)

Welded, impact-resistant steel

Length	8.38 m	27 ft 6 in
Width	3.68 m	12 ft 1 in

Turntable

Forged rim, alloy steel swing rack pitch diameter	5.26 m	17 ft 3 in
Teeth external cut – face	24.13 cm	9.5 in
Tapered, forged alloy steel roller rails diameter	4.52 m	14 ft 10 in
Number of tapered rollers	50	
Tapered rollers diameter	27.31 cm	10.75 in

Swing

Two planetary gearboxes, each driven by a vertically mounted motor, are mounted on either side of the revolving frame. Dual-output pinion shafts from each gearbox engage the swing rack.

Hoist

A planetary gearbox with dual-output pinions provides the hoist torque transfer from the electric motor to the hoist drum gear.

Lube System – with HydraCrowd

- Single-line system applies lubricant and grease via the PLC
- Six pumps (four for lubricant and two for grease) located in an insulated, double-walled lube room

Electrical – with HydraCrowd

Drive

IGBT Acutrol drive system

Power Requirements

Voltage	3 phase, 50/60 Hz, 7200V
Average 15-minute demand	926-1297 kW
Peak power	3706 kW

- Other voltage options available to suit customer requirements

Distribution System Requirements

Machine on separate system	4000 kVA
----------------------------	----------

Main Electrical Systems

System voltage (nominal)	50/60 Hz, 7200V
Trail cable (furnished by customer)	SHD-3-#1/0 at 8000V
Transformer, auxiliary	350 kVA, 7200V primary
Lighting transformer	25 kVA 120/240V secondary

Lights

- HPS lights on boom feet, top of A-frame, machinery house, lube room, control room, and utility room
- Incandescent lights for ground lights and on walkways

Front End – with HydraCrowd

Boom

Boom welded, impact-resistant steel

Boom point sheaves twin-grooved, flame-hardened

Boom point sheave diameters 243.84 cm 96 in

Handle diameter 86.36 cm 34 in

Wall thickness (nominal) 7.62 cm 3 in

Rope Data

	No.	Diameter	Type	Construction
Hoist	2	69.8 mm (2.75 in)	twin dual	8 × 37
Boom susp.	4	82.6 mm (3.25 in)	equalized	struct. strand
Dipper trip	1	19.1 mm (0.75 in)	single	7 × 25

Crowd

HydraCrowd, hydraulic power skid, located at the front center of the revolving frame deck, powers a large hydraulic cylinder to move the dipper handle fore and aft

Hydraulic cylinder bore diameter 35.6 cm 14 in (nominal)

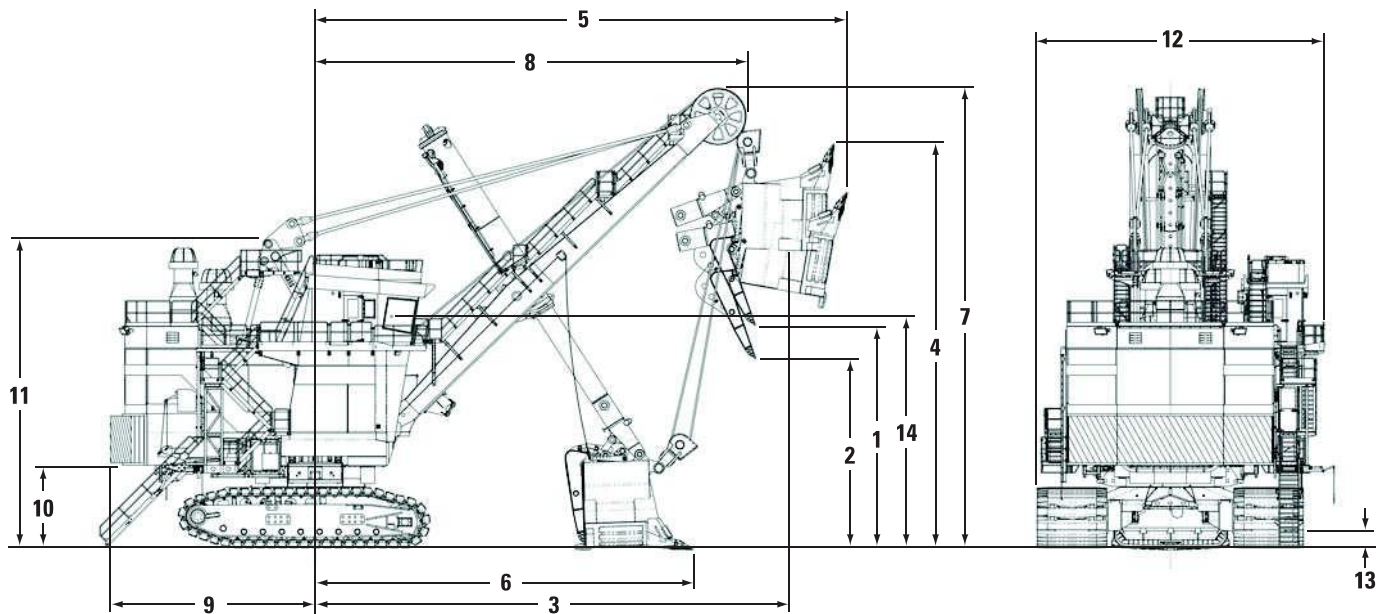
Hydraulic cylinder rod diameter 25.4 cm 10 in (nominal)

(Optional) Rope Crowd, the crowd machinery is located at the front center of the revolving frame, consisting of motor, brake, drum and gearing. Plastic-coated crowd and retract ropes are used to move the dipper handle fore and aft.

7495 Electric Rope Shovel Specifications

Dimensions – with HydraCrowd

All dimensions are approximate.



Optimal Working Ranges

1 Dumping height	10.06 m	33 ft 0 in
2 Dumping height at maximum electric crowd limit	8.61 m	28 ft 3 in
3 Maximum dumping radius	21.64 m	71 ft 0 in
4 Maximum cutting height	17.8 m	58 ft 5 in
5 Maximum cutting radius	25.2 m	82 ft 8 in
6 Radius of level floor	17.47 m	57 ft 4 in
7 Clearance height (boom point sheaves)	20.87 m	68 ft 6 in
8 Clearance radius (boom point sheaves)	19.65 m	64 ft 5 in
9 Maximum clearance radius (revolving frame)	9.34 m	30 ft 8 in
10 Clearance under frame (to ground)	3.76 m	12 ft 4 in
11 Height of A-frame	14.00 m	46 ft 0 in
12 Overall width	13.11 m	43 ft 0 in
13 Clearance under lowest point in truck frame/propel gearcase	0.90 m	2 ft 11.5 in
14 Operator's eye level	10.61 m	34 ft 10 in

Dimensions – with Rope Crowd

Dipper payload (Available dipper payloads up to 109 tonnes (120 tons) when specified)	100 tonnes	110 tons
Dipper capacity	30.6-61.2 m ³	40-80 yd ³
Length of boom	20.4 m	67 ft
Effective length of dipper handle	10.9 m	35 ft 10 in
Overall length of dipper handle	14.3 m	47 ft

Weights – with Rope Crowd

Working weight, with dipper and standard links	1 369 246 kg	3,018,670 lb
Net weight, domestic, without ballast or dipper	988 100 kg	2,173,820 lb
General purpose dipper – 56 m ³ (73 yd ³)	80 603 kg	177,700 lb
Ballast (furnished by customer)	302 614 kg	667,150 lb

- These weights will vary slightly depending upon dipper and optional equipment selection

Main Structures – with Rope Crowd

Crawler Mounting

Overall width 200.7 cm (79 in) treads, standard	11 m	36 ft
Overall length of mounting	11.43 m	37 ft 6 in
Overall width 259.1 cm (102 in) treads	13.5 m	44 ft 3 in
Total effective bearing area (200.7 cm treads)	36.1 m ² 372 kPa	388.6 ft ² 53.9 psi
Total effective bearing area (259.1 cm treads)	46.6 m ² 288 kPa	501.7 ft ² 41.8 psi
Number and diameter of rollers		
Lower: 16	78 cm	30.7 in
Lower rear: 2	106.7 cm	42 in
Upper	Slides	
Take-up tumblers diameter	162 cm	63.8 in
Number and pitch of treads: 94	50.8 cm	20 in

Planetary Propel

Dual-motor independent drive

Revolving Frame (Center Section)

Welded, impact-resistant steel

Length	8.38 m	27 ft 6 in
Width	3.68 m	12 ft 1 in

Turntable

Forged rim, alloy steel swing rack pitch diameter	5.26 m	17 ft 3 in
Teeth external cut – face	24.13 cm	9.5 in
Tapered, forged alloy steel roller rails diameter	4.52 m	14 ft 10 in
Number of tapered rollers	50	
Tapered rollers diameter	27.31 cm	10.75 in

Swing

Two planetary gearboxes, each driven by a vertically mounted motor, are mounted on either side of the revolving frame. Dual-output pinion shafts from each gearbox engage the swing rack.

Hoist

A planetary gearbox with dual-output pinions provides the hoist torque transfer from the electric motor to the hoist drum gear.

7495 Electric Rope Shovel Specifications

Lube System – with Rope Crowd

- Single-line system applies lubricant and grease via the PLC
- Six pumps (four for lubricant and two for grease) located in an insulated, double-walled lube room

Electrical – with Rope Crowd

Drive

IGBT Acutrol drive system

Power Requirements

Voltage	3 phase, 50/60 Hz, 7200V
Average 15-minute demand	926-1297 kW
Peak power	3706 kW

- Other voltage options available to suit customer requirements

Distribution System Requirements

Machine on separate system	4000 kVA
----------------------------	----------

Main Electrical Systems

System voltage (nominal)	50/60 Hz, 7200V
Trail cable (furnished by customer)	SHD-3-#1/0 at 8000V
Transformer, auxiliary	350 kVA, 7200V primary
Lighting transformer	25 kVA 120/240V secondary

Lights

- HPS lights on boom feet, top of A-frame, machinery house, lube room, control room, and utility room
- Incandescent lights for ground lights and on walkways

Front End – with Rope Crowd

Boom

Boom	welded, impact-resistant steel
------	--------------------------------

Boom point sheaves	twin-grooved, flame-hardened
--------------------	------------------------------

Boom point sheave diameters	243.84 cm	96 in
-----------------------------	-----------	-------

Handle diameter	86.36 cm	34 in
-----------------	----------	-------

Wall thickness (nominal)	7.62 cm	3 in
--------------------------	---------	------

Rope Data

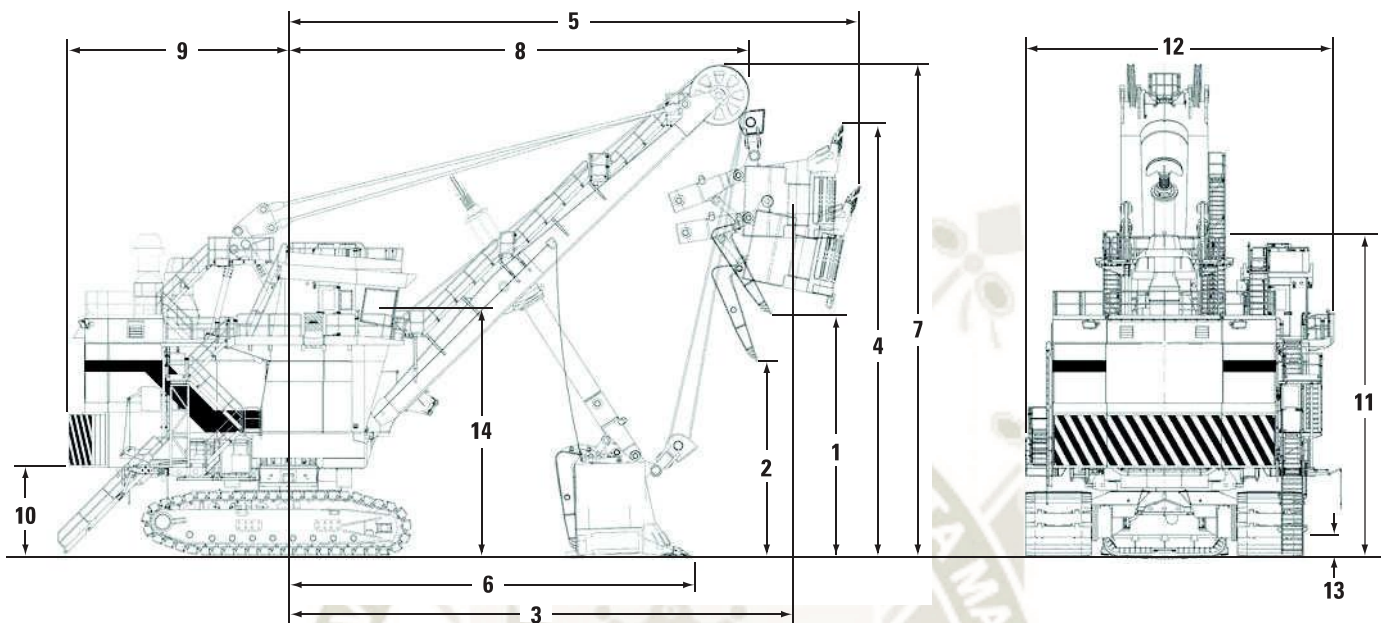
	No.	Diameter	Type	Construction
Hoist	2	69.8 mm (2.75 in)	twin dual	8 × 37
Crowd	1	63.5 mm (2.5 in)	single dual	8 × 37
Retract	1	63.5 mm (2.5 in)	single dual	8 × 37
Boom Susp.	4	82.6 mm (3.25 in)	equalized	struct. strand
Dipper Trip	1	19.1 mm (0.75 in)	single	7 × 25

Crowd

Rope Crowd with the crowd machinery is located at the front center of the revolving frame, consisting of motor, brake, drum and gearing. Plastic coated crowd and retract ropes are used to move the dipper handle fore and aft.

Dimensions – with Rope Crowd

All dimensions are approximate.



Optimal Working Ranges

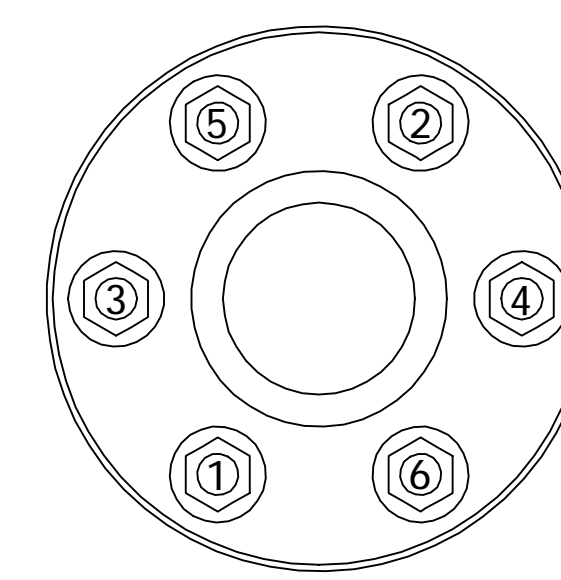
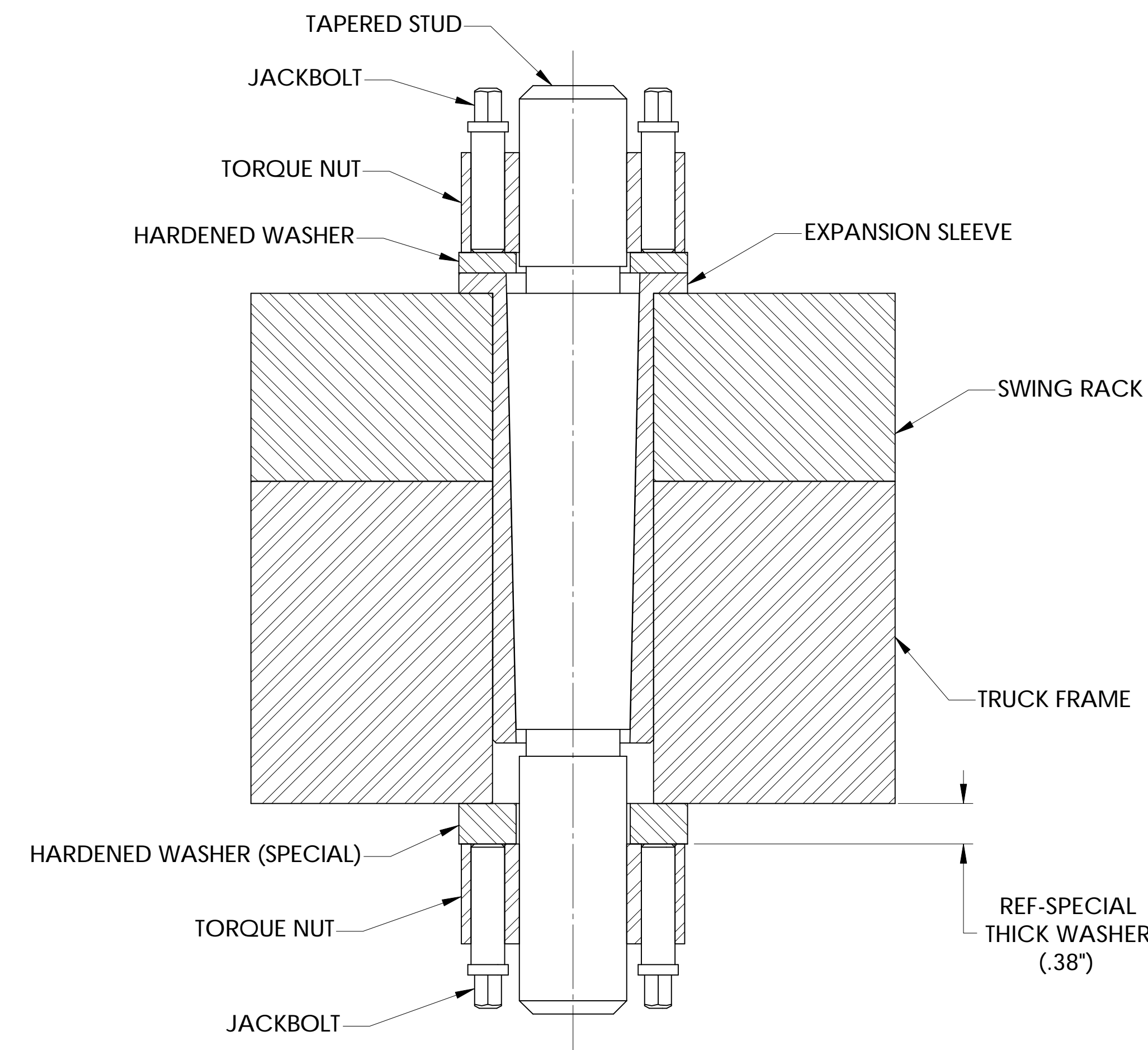
1 Dumping height	10.06 m	33 ft 0 in
2 Dumping height at maximum electric crowd limit	8.61 m	28 ft 3 in
3 Maximum dumping radius	21.64 m	71 ft 0 in
4 Maximum cutting height	17.8 m	58 ft 5 in
5 Maximum cutting radius	25.2 m	82 ft 8 in
6 Radius of level floor	17.47 m	57 ft 4 in
7 Clearance height (boom point sheaves)	20.87 m	68 ft 6 in
8 Clearance radius (boom point sheaves)	19.65 m	64 ft 5 in
9 Maximum clearance radius (revolving frame)	9.34 m	30 ft 8 in
10 Clearance under frame (to ground)	3.76 m	12 ft 4 in
11 Height of A-frame	14.00 m	46 ft 0 in
12 Overall width	13.11 m	43 ft 0 in
13 Clearance under lowest point in truck frame/propel gearcase	0.90 m	2 ft 11.5 in
14 Operator's eye level	10.61 m	34 ft 10 in

PRUEBAS HIDRAULICAS SISTEMA DE EMPUJE CAT 7495HR						
ID EQUIPO:		HOROMETRO:		FECHA:		
GUARDIA:		HORA INICIO:				
INSPECTOR:		HORA TERMINO:				
CIRCUITO HIDRAULICOS PRINCIPALES						
Item	Sistemas	Condiciones	Especificaciones	Prueba	Ajuste	Nota
1	Bombas principales	Bomba 1	Presion 3700psi			
		Bomba 2	Presion 3700psi			
		Bomba 3	Presion 3700psi			
		Bomba 4	Presion 3700psi			
2	Flujometros	PCDM1	gpm			
		PCDM2	gpm			
		PCDM3	gpm			
		PCDM4	gpm			
3	PDT	Presion	20psi (min) - 100psi(max)			
		Temperatura	85°C max.			
4	Sistema de recirculacion	Filtro de recirculacion	psi			
			gpm			
5	Sensor HOCM	Monitor de contaminacion	ISO 14/16/18			
6	Bloque de valvulas	PUV (1)	3700 PSI / BAR 255			
		PUV (2)	3700 PSI / BAR 255			
		PUV (3)	3700 PSI / BAR 255			
		PUV (4)	3700 PSI / BAR 255			
7	Verificar CECVE	Esta valvula está activada durante la extensión y retracción.	Neutro/Crowd/Retract			
		Si está desactivado, la presión se construiría sobre RV2 (no RV1 o RV5).				
		Para verificar, coloque el manómetro en TPRV2, si se muestra presión, CECVE puede no activarse y debe verificarse.				
8	Verificar presion RV5	Para verificar, coloque el manómetro en TPRV5 (en un círculo rojo) para ver si la presión es de alrededor de 200 psi.	psi			
		Luego, el operador debe extender y retraer para ver si la presión va de 0 a 200 psi.				
9	Presion de acumuladores	CRGV	900psi			
		RECV	900psi			
10	Temperaturas valvulas	RV3(1)	T°C			
		RV3(2)	T°C			
		RV3(3)	T°C			
		RV4	T°C			
11	Perifericos	Mounting plate				
		Promedio desgaste de guias	135mm			
		Estado de aisladores				
		Bombas de recirculacion				
		Enfriadores hidraulicos y PDT				
		Valvula de alivio				
12	Pruebas de operacion	Velocidad de extension	140ipm			
		velocidad de retraccion	120ipm			
		Estanqueidad				
		drifting				
Comentarios :		<p>Se tuvo algunos problemas para entregar el equipo, el empuje estaba muy lento debido a la fuga de la valvula CRGV, se le cambiaron los orings</p> <p>El acumulador RECV esta roto, se necesita su cambio urgente, adicionalmente el Aislador número 5 tiene presencia de aceite se recomienda limpieza.</p> <p>Todos los puntos resaltados en rojo indican fallas que se deben de levantar</p>				

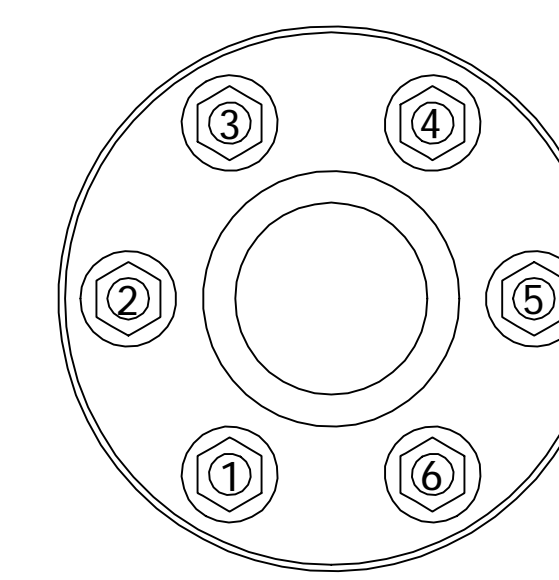
INSTALLATION

1. JACKBOLT THREADS, TAPERED PORTION OF ROD BOLT, AND EXPANSION SLEEVE I.D. ARE PRE-LUBRICATED BY THE VENDOR WITH GRAPHITE LUBE. ENSURE THAT LUBE FILM IS PRESENT ON THESE SURFACES AND APPLY ADDITIONAL GRAPHITE LUBE (SUPERBOLT JL-G, BUCYRUS P/N MP390331) AS NEEDED. ALSO APPLY A THIN FILM OF GRAPHITE LUBE TO THE O.D. OF THE EXPANSION SLEEVE, THE SWING RACK AND THE TRUCK FRAME HOLES FOR THE EXPANSION SLEEVE, AND THE JACKBOLT END FACES AND THREADS.
2. CHECK BASE OF BOTH TORQUE NUTS TO ENSURE THAT ALL JACKBOLTS ARE FLUSH WITH BOTTOM.
3. INSERT EXPANSION SLEEVE FROM TOP SIDE, INTO THE MATING SWING RACK AND TRUCK FRAME HOLES.
4. INSERT TAPERED STUD INTO EXPANSION SLEEVE FROM TOP SIDE. (NOTE DIRECTION OF TAPER - WITH SMALL END DOWNWARD)
5. SLIP "SPECIAL (THICK 3/8")" HARDENED WASHER OVER LOWER THREADED END OF TAPERED STUD.
6. THREAD LOWER TORQUE NUT ONTO TAPERED STUD BY HAND AND SPIN HAND-TIGHT AGAINST "SPECIAL" LOWER HARDENED WASHER.
7. SEAT AND EXPAND THE TAPERED SLEEVE IN THE MATING SWING RACK AND TRUCK FRAME HOLES, BY TIGHTENING THE LOWER TORQUE NUT JACKBOLTS TO 27 LB-FT USING THE PROCEDURE AS FOLLOWS:
 - A. AN IMPACT WRENCH CAN BE USED FOR THE INITIAL RUN UP, BUT A TORQUE WRENCH MUST BE USED FOR THE FINAL VALUES.
 - B. USING THE "STAR" PATTERN (SHOWN BELOW), START BY SNUGGING THE JACKBOLTS (ONE ROUND ONLY) TO APPROXIMATELY 50% TORQUE = 15 LB-FT EACH.
 - C. CHANGE TO THE "CIRCULAR" PATTERN (SHOWN BELOW). USING A TORQUE WRENCH, TIGHTEN (ONE ROUND ONLY) TO 27 LB-FT (100% OF FINAL TORQUE).
8. SLIP HARDENED WASHER OVER UPPER THREADED END OF TAPERED STUD.
9. THREAD UPPER TORQUE NUT ONTO TAPERED STUD BY HAND AND SPIN HAND-TIGHT AGAINST HARDENED WASHER.
10. FINALIZE THE PRELOAD OF THE UPPER TORQUE NUT, BY TIGHTENING THE UPPER TORQUE NUT JACKBOLTS TO 27 LB-FT AS FOLLOWS:
 - A. AN IMPACT WRENCH CAN BE USED FOR THE INITIAL RUN UP, BUT A TORQUE WRENCH MUST BE USED FOR THE FINAL VALUES.
 - B. USING THE "STAR" PATTERN , SNUG THE JACKBOLTS (ONE ROUND ONLY) TO APPROXIMATELY 50% OF FINAL TORQUE = 15 LB-FT EACH.
 - C. CHANGE TO A TORQUE WRENCH SET TO 27 LB-FT (100% OF FINAL TORQUE). WORKING IN THE "CIRCULAR" PATTERN, CONTINUE TIGHTENING THE JACKBOLTS OF THE UPPER TORQUE NUT UNTIL THEY ARE "STABILIZED" AT FULL TORQUE (THIS MAY TAKE SEVERAL ROUNDS). "STABILIZED" MEANS THAT THE TORQUE WRENCH IS MOVING LESS THAN 1/8 TURN.
11. FINALLY, FINALIZE THE PRELOAD OF THE LOWER TORQUE NUT, BY TIGHTENING THE LOWER TORQUE NUT JACKBOLTS TO 27 LB-FT AS FOLLOWS:

SET THE TORQUE WRENCH TO 27 LB-FT (100% OF FINAL TORQUE). WORKING IN THE "CIRCULAR" PATTERN, TIGHTEN THE JACKBOLTS OF THE LOWER TORQUE NUT UNTIL THEY ARE "STABILIZED" AT FULL TORQUE (THIS MAY TAKE SEVERAL ROUNDS).



"STAR" PATTERN



CIRCULAR PATTERN

REMOVAL

1. ON LOWER TORQUE NUT, TURN FIRST JACKBOLT CCW UNTIL IT FEELS LOOSE (NO MORE THAN 1/4 TURN).
2. MOVE IN A CIRCULAR PATTERN TO THE NEXT JACKBOLT AND REPEAT STEP 1.
3. REPEAT PATTERN, USUALLY AFTER 2 OR 3 PASSES THE TORQUE NUT CAN BE SPUN OFF BY HAND. ALSO REMOVE THE "SPECIAL" HARDENED LOWER WASHER.
4. ON UPPER TORQUE NUT, TIGHTEN JACKBOLTS IN A CIRCULAR PATTERN TO EXTRACT TAPERED STUD FROM EXPANSION SLEEVE.

REVISION DATA	
REV 3	BY PHOTR DATE 04-03-2012 EGN
DESCRIPTION REVISED NOTE 7.	

REISSUE DATE 04-03-2012

SOLIDWORKS DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2006 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

BUCYRUS Bucyrus International, Inc.

DESCRIPTION
DWG,INSTRUCT,SUPERBOLT,SW RACK

MODEL	495BII	UNIT	FIN WGT	0.0
DET	BOROCZ B.	DATE	12-14-2001	REV
ENG	CONTACT BROWN B.	DWG	D	3
NO.	S006760			SHEET
				1 of 1

ALL DIMENSIONS IN INCHES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
MACHINING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. 2 PLACE DECIMAL DIMENSIONS : .01 FOR EACH 12 MAX ± .09
2. 3 PLACE DECIMAL DIMENSIONS : .005 UP TO .36, ± .010 OVER .36
3. CONCENTRICITY OF CYLINDRICAL SURFACES = .010 I.A.S.
4. PARALLELISM, SQUARENESS, OR ANGULARITY BETWEEN SURFACES AND/OR HOLE CENTERLINES = .011" (.002 INCHES)

FABRICATING TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. MATERIAL THICKNESS	DIMENSIONS	TOLERANCE
A. LESS THAN .12	0 TO .36	.03
	OVER .36	.06
B. .12 TO .50	0 TO .36	.06
	OVER .36	.12
C. .50 TO 1.00	0 TO .36	.09
	OVER .36	.19
D. OVER 1.00	0 TO .36	.19
	OVER .36	.25

2. BENT ANGLES : 1" (.017 IN) FOR EACH .37 OF MATERIAL THICKNESS (MAX ± 3°)

WELDMENT TOLERANCES-UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

1. DIMENSION	MATERIAL THICKNESS	TOLERANCE
A. UP TO .36"	UP TO 1"	.06
B. .36" TO 10"	1" AND GREATER	.12
C. 10" TO 30"	UP TO 1"	.19
	1" AND GREATER	.25
D. OVER 30"	ALL	.25

PLANOS

1. Plano de Transmisión de Giro Pala CAT 7495HR
2. Plano de Barretón de Cucharón



4

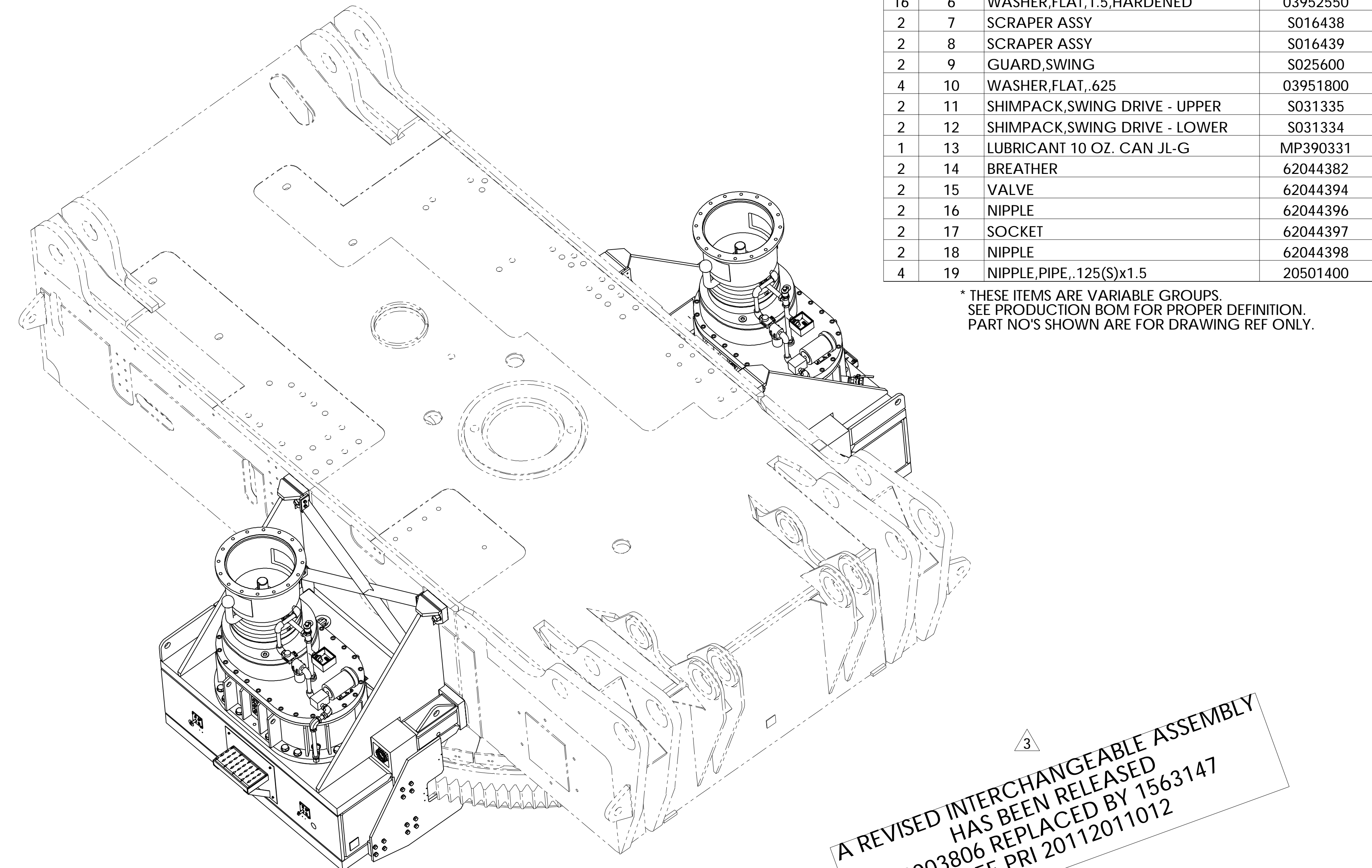
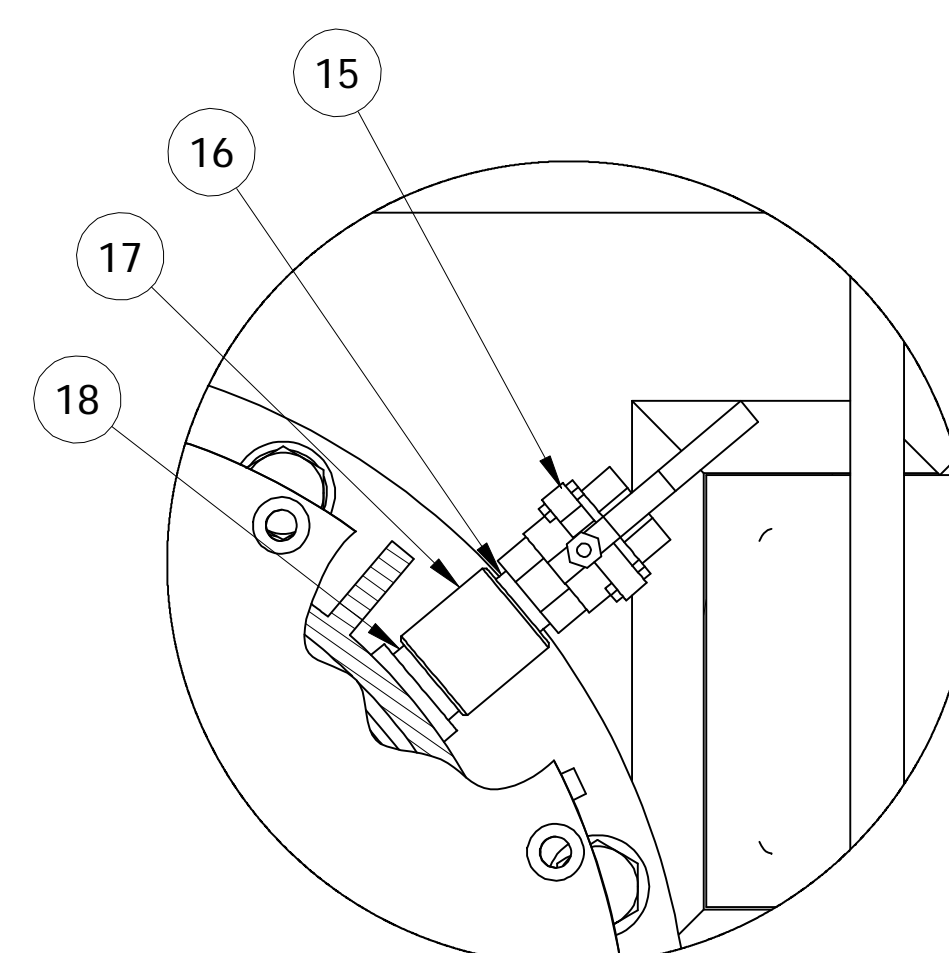
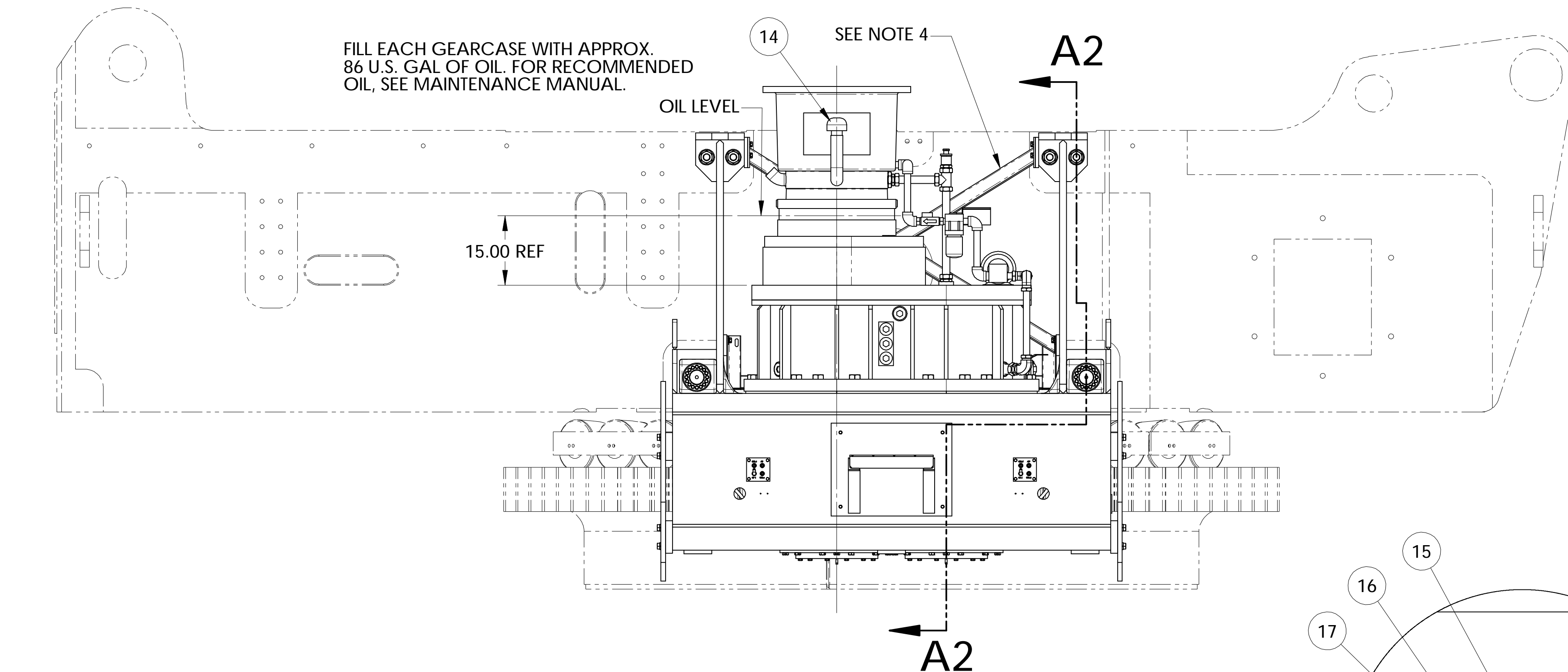
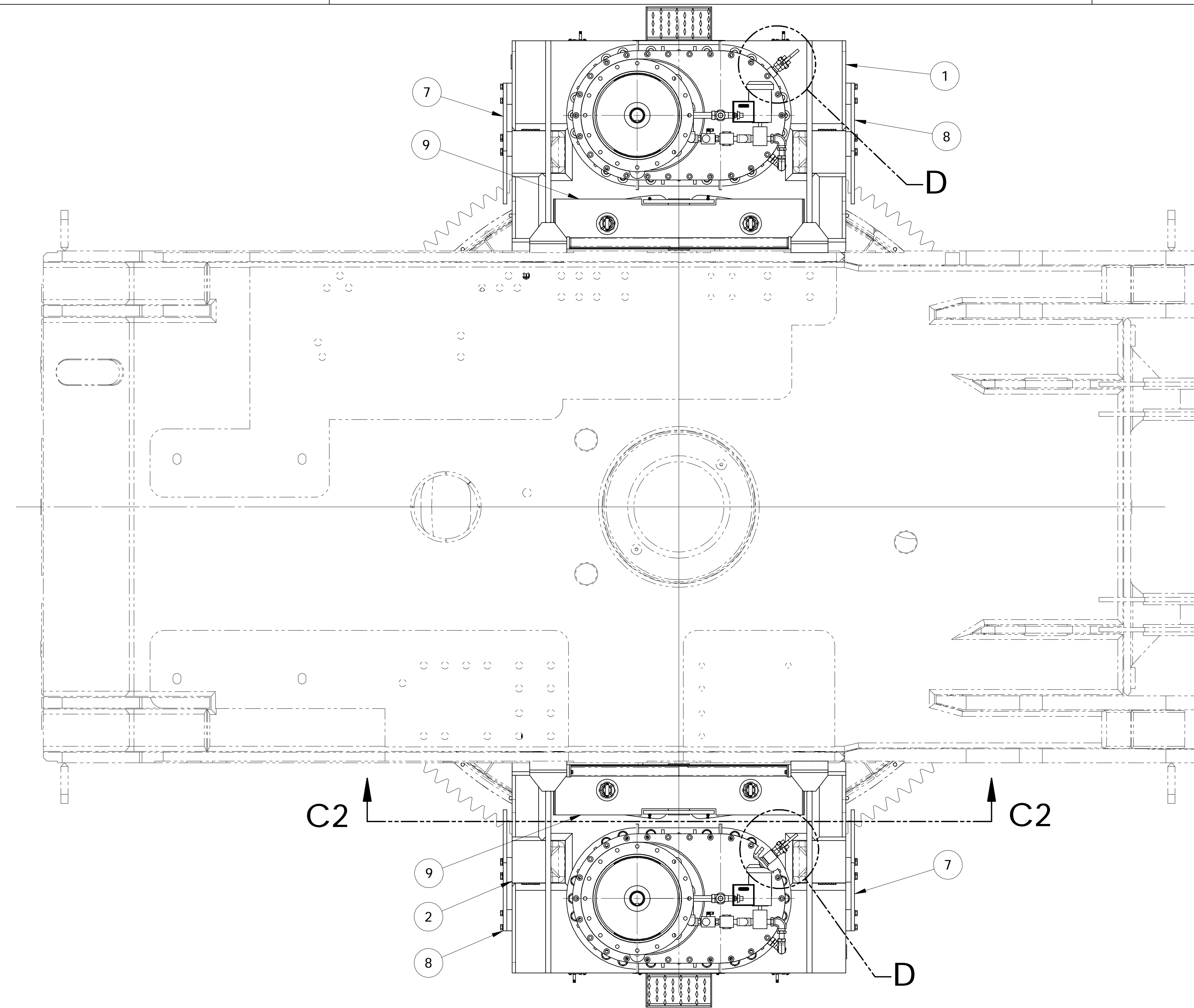
COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

5

COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

6

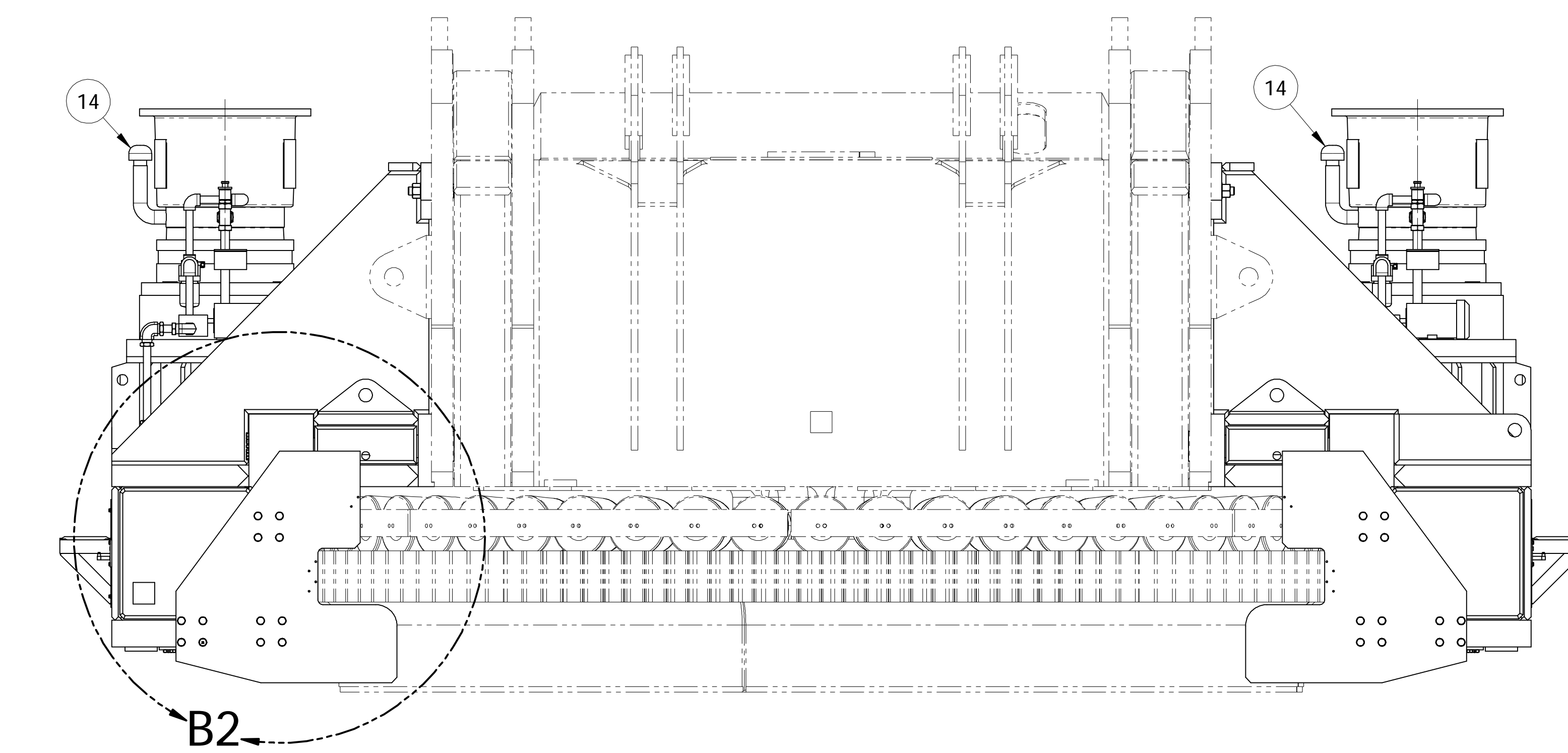
COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING



QTY.	ITEM NO.	DESCRIPTION	PART NO.
1	1	DRIVE, SWING, LH SHIPPING ASSY	5003847
1	2	DRIVE, SWING, RH SHIPPING ASSY	5003807
4	3	SUPERBOLT, EXPANSION, 4.188x33.0	82637949
8	4	SCR. HEX, 1.5x7.5, UNC, GR 8	03309525
8	5	NUT, HEX, HVY FULL, 1.5 UNC, GR8	02720106
16	6	WASHER, FLAT, 1.5, HARDENED	03952550
2	7	SCRAPER ASSY	S016438
2	8	SCRAPER ASSY	S016439
2	9	GUARD, SWING	S025600
4	10	WASHER, FLAT, .625	03951800
2	11	SHIMPACK, SWING DRIVE - UPPER	S031335
2	12	SHIMPACK, SWING DRIVE - LOWER	S031334
1	13	LUBRICANT 10 OZ. CAN JL-G	MP390331
2	14	BREATHER	62044382
2	15	VALVE	62044394
2	16	NIPPLE	62044396
2	17	SOCKET	62044397
2	18	NIPPLE	62044398
4	19	NIPPLE, PIPE, .125(S)x1.5	20501400

* THESE ITEMS ARE VARIABLE GROUPS.
SEE PRODUCTION BOM FOR PROPER DEFINITION.
PART NO'S SHOWN ARE FOR DRAWING REF ONLY.

A REVISED INTERCHANGEABLE ASSEMBLY
S003806 REPLACED BY 1563147
SEE PRI 20112011012



- NOTES:
- TIGHTEN BY TURN OF NUT AS DEFINED BY DRAWING 747773-01 (1/3 TURN ±10%).
 - SEE DRAWING S001139 FOR INSTALLATION PROCEDURE AND TORQUE VALUES FOR SUPERBOLTS.
 - POSITION SCRAPER ASSEMBLIES TO DIMENSIONS SHOWN. BOTTOM EDGE OF SCRAPER TO BE PARALLEL TO TOP SURFACE OF TRUCK FRAME.
 - REMOVE (UNBOLT) ANGLE BRACING AFTER INSTALLATION OF SWING GIRDERS ONTO REV. FRAME.
 - INSTALL GUARDS (ITEM 9) AFTER ANGLE BRACING IS REMOVED. USE HARDWARE FROM ANGLE BRACING ALONG WITH FLAT WASHERS (ITEM 10) FOR INSTALLATION. SEE SECTION VIEW C2.
 - REPLACE PIPE PLUG WITH ITEM 19, 4 PLACES

REV	BY	DATE	DESCRIPTION
3	BAKER D	06-09-2011	ECN 37581
			DESCRIPTION: A REVISED INTERCHANGEABLE ASSEMBLY HAS BEEN RELEASED. S003806 REPLACED BY 1563147. SEE PRI 20112011012.

REVISION DATE 06-09-2011

SOLIDWORKS DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2002 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

ALL DIMENSIONS IN INCHES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

MACHINING TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

- PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .01 FOR EACH 12 MAX ± .02
- PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .005 UP TO .36 ± .010 OVER .36
- CONCENTRICITY OF CYLINDRICAL SURFACES ± .010 I.R.
- PARALLELISM, SQUARENESS, OR ANGULARITY BETWEEN SURFACES AND/OR HOLE CENTERLINES ± .07 (100 INCHES)

FABRICATING TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

DIMENSIONS	TOLERANCE
A. LESS THAN .12	0 TO .36 ± .03
OVER .12	0 TO .36 ± .06
OVER .36	0 TO .36 ± .12
B. .12 TO 1.00	0 TO .36 ± .09
OVER .36	0 TO .36 ± .18
OVER 1.00	0 TO .36 ± .25
OVER .36	0 TO .36 ± .32

2. BENT ANGLES ± 1° (0.17 IN/IN) FOR EACH .37 OF MATERIAL THICKNESS (MAX ± 5°)

WELDMENT TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

DIMENSION	MATERIAL THICKNESS	TOLERANCE
A. UP TO .36"	.06	± .06
B. .36" TO 10"	1" AND GREATER	± .12
UP TO 1"	1" AND GREATER	± .12
C. 10" TO 30"	1" AND GREATER	± .19
UP TO 1"	1" AND GREATER	± .19
D. OVER 30"	ALL	± .25

DESCRIPTION: DRIVE, SWING, FLD ASSY

REF DWGS: S032798

MODEL	UNIT	DATE	FIN WGT
495	2000	08-05-2005	59400.0

DET	SZPEK F.	DATE	REV
		08-05-2005	3

CONTRACT: GILMORE C. DWG: E

NO. **S003806** SHEET 1 OF 2

BUCYRUS Bucyrus International, Inc.

4

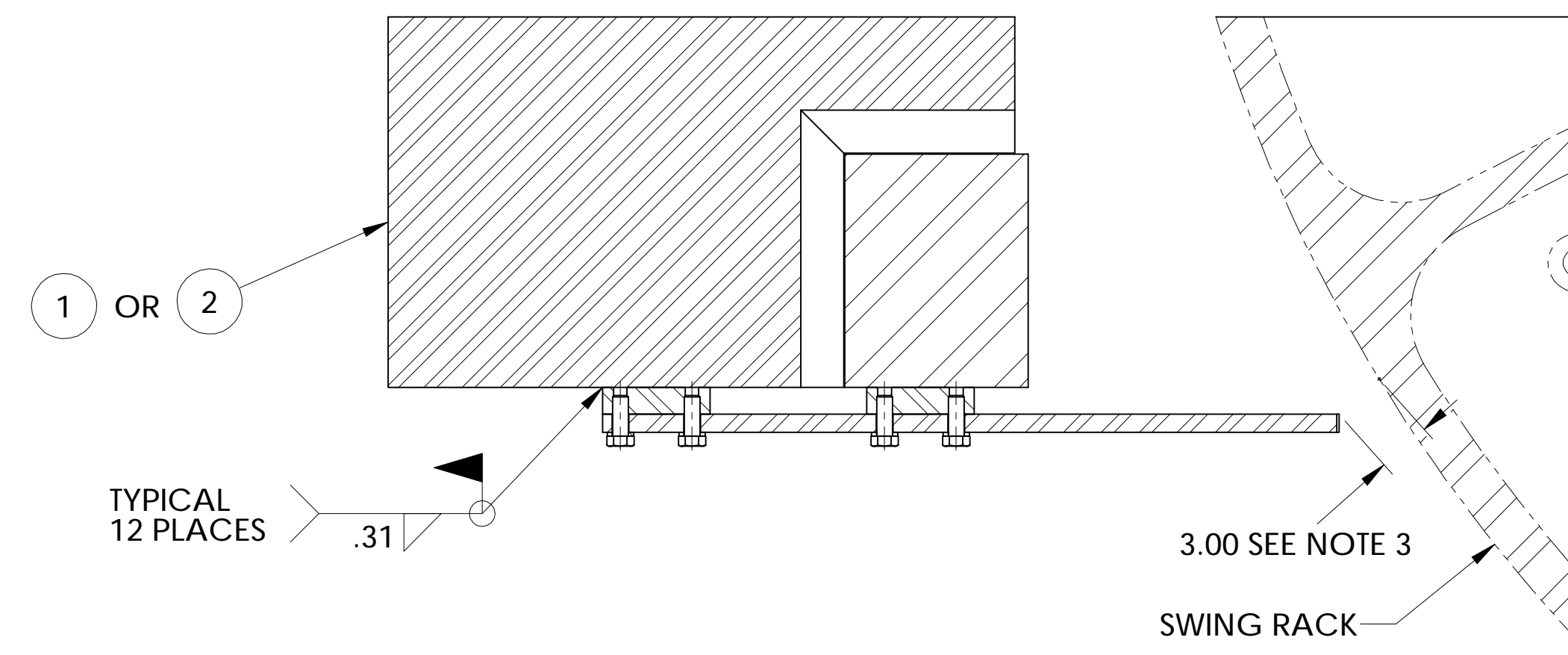
COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

5

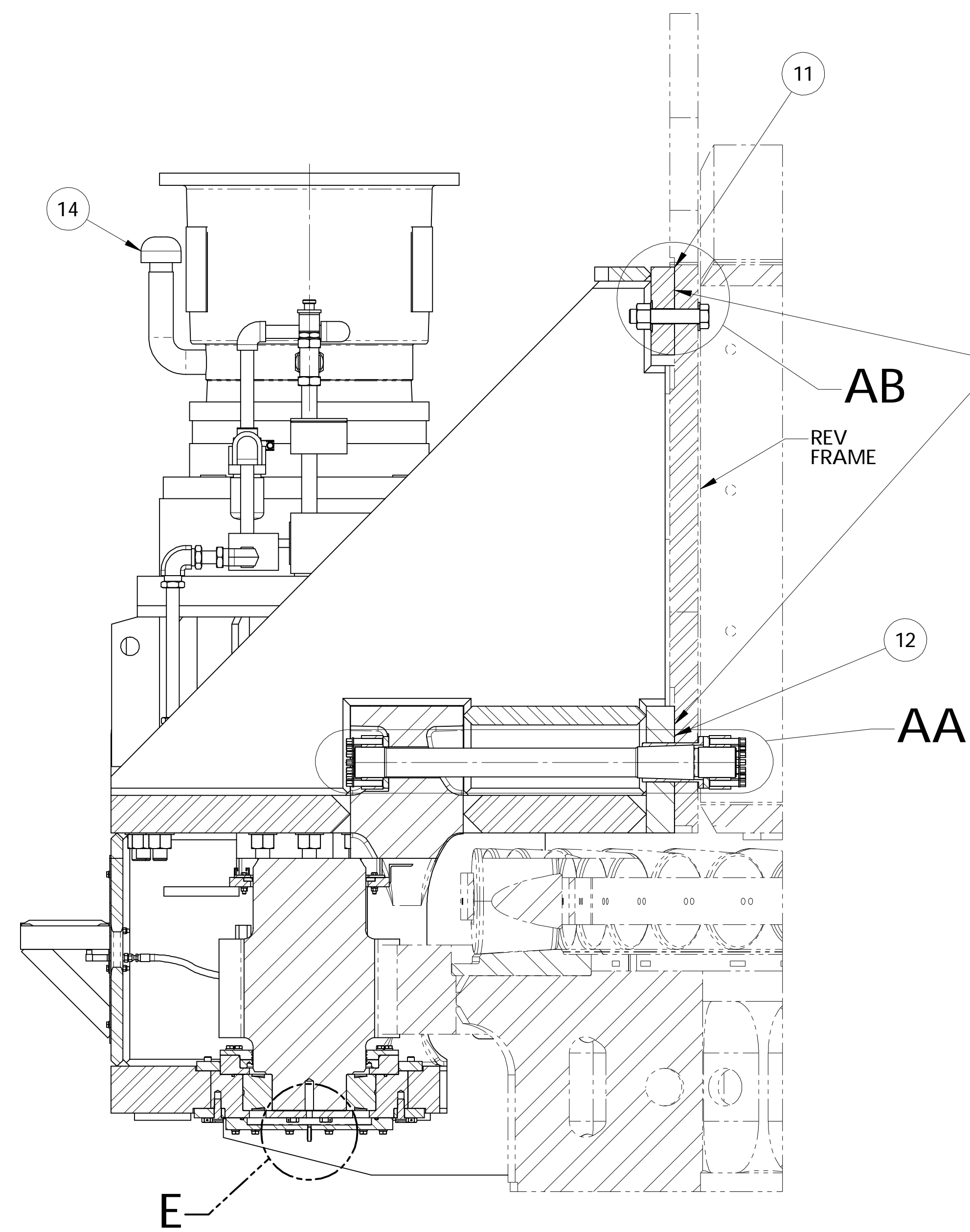
COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING

6

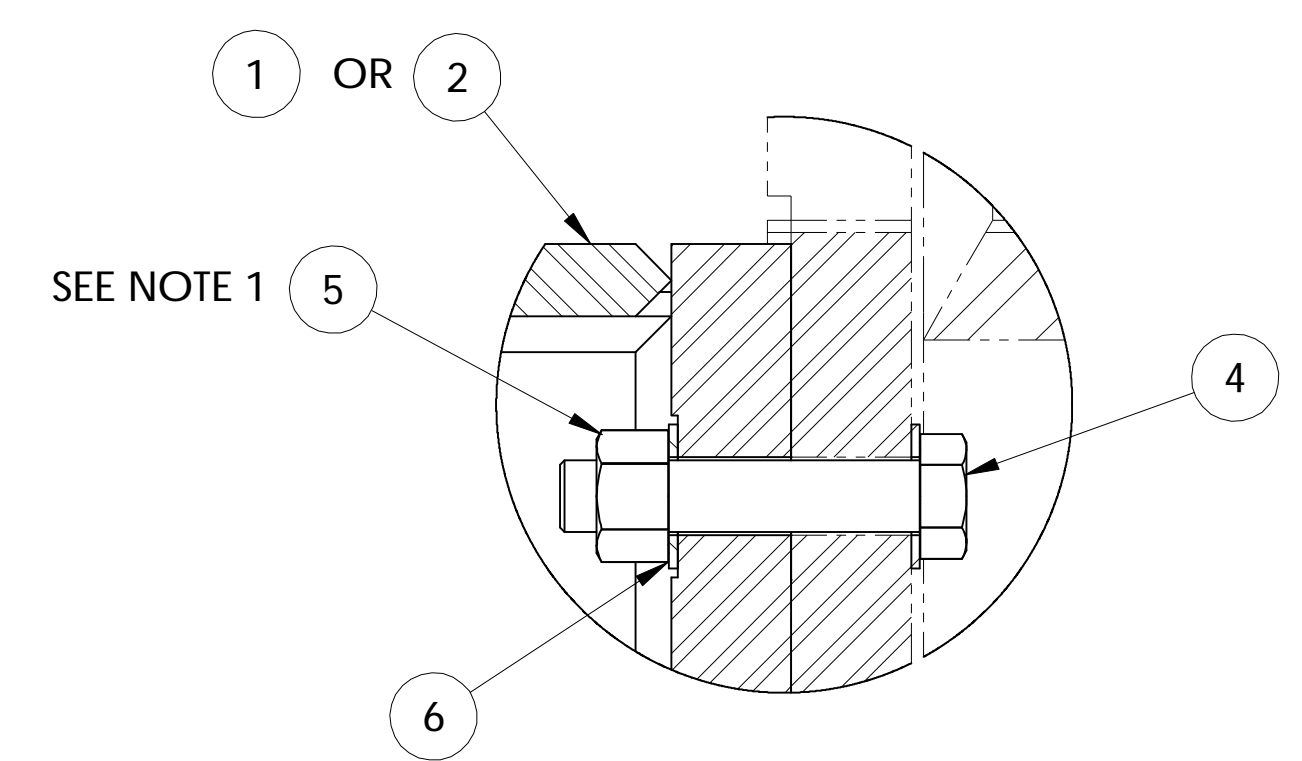
COPYRIGHTED-CUSTOMER INFORMATION DRAWING



SECTION BA-BA

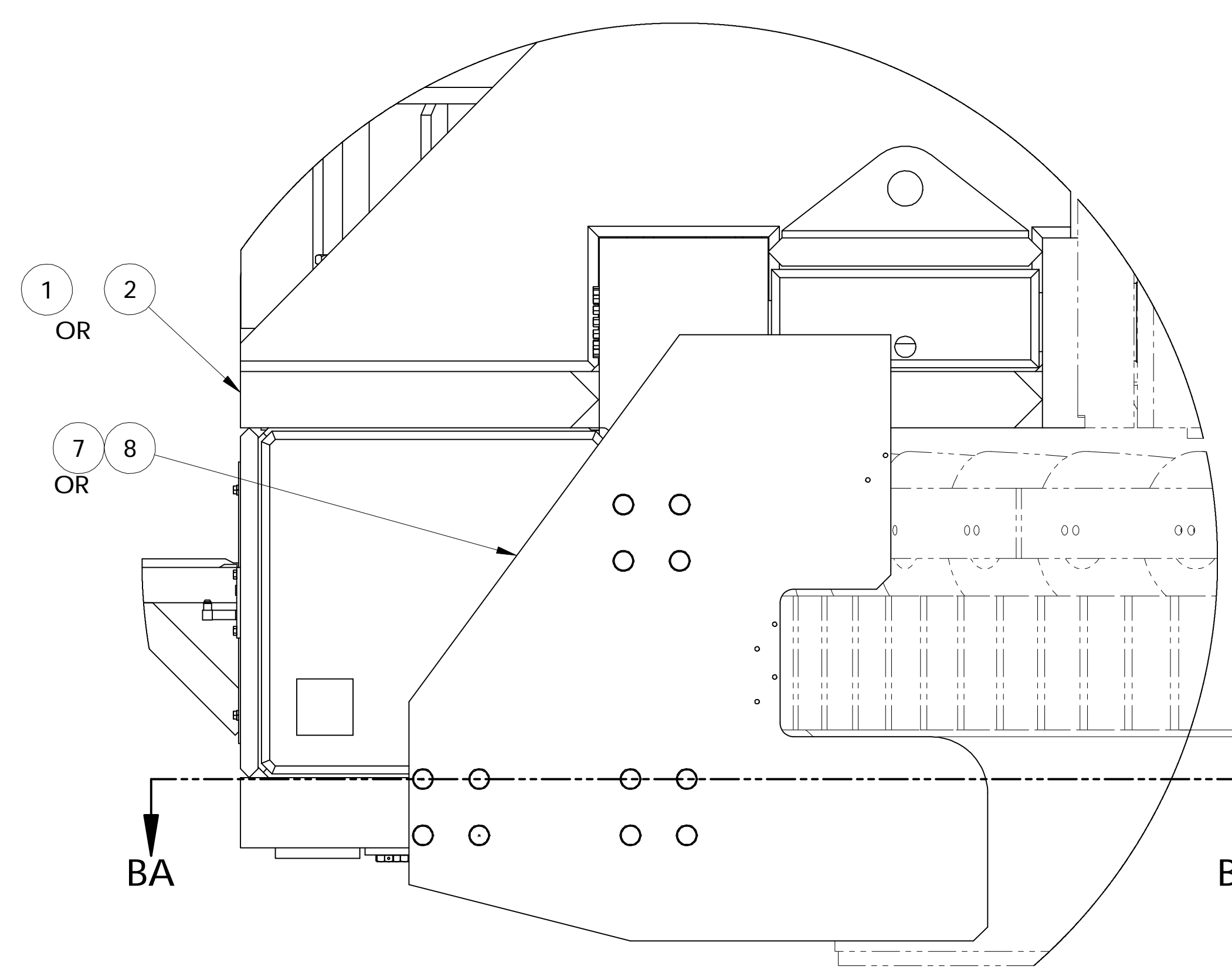


SECTION A2-A2



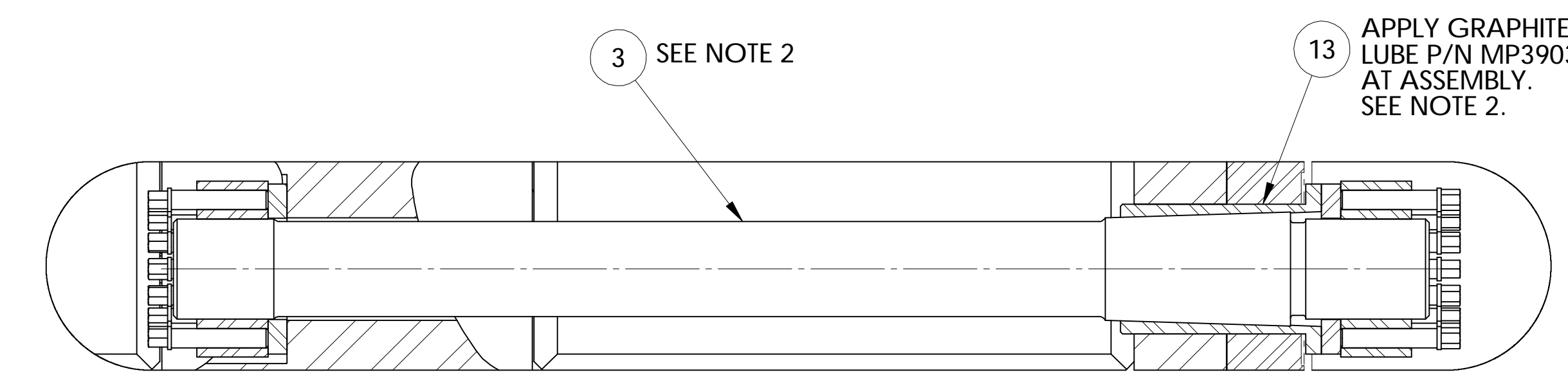
DETAIL AB

SHIM IF REQUIRED FOR ALIGNMENT OR CENTER DISTANCE. PAD WILL BE STAMPED FOR REQUIREMENT.

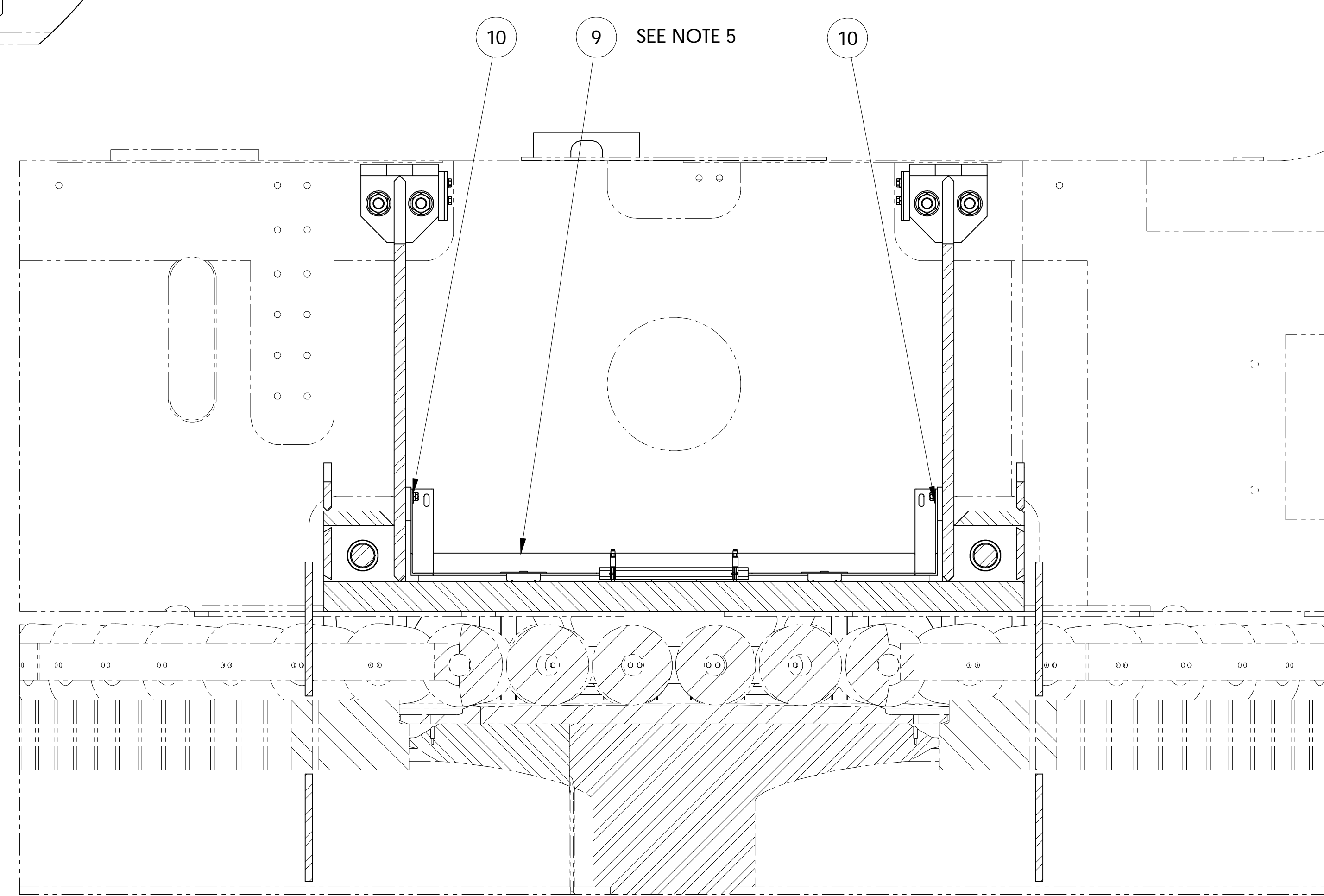


DETAIL B2

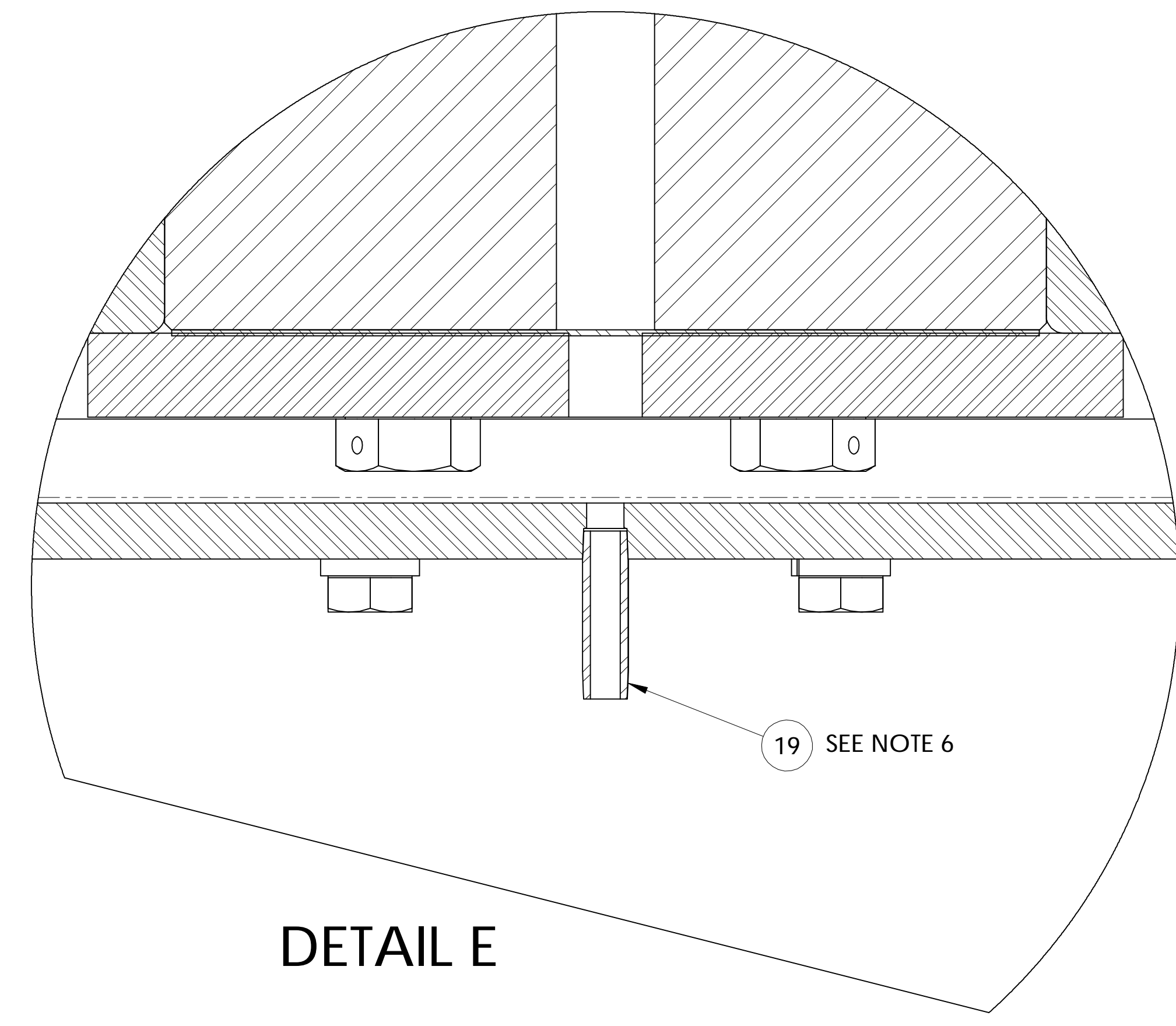
.50 TYP. SEE NOTE 3 ABOVE & BELOW RACK



DETAIL AA



SECTION C2-C2



DETAIL E

SEE SHEET 1 FOR NOTES

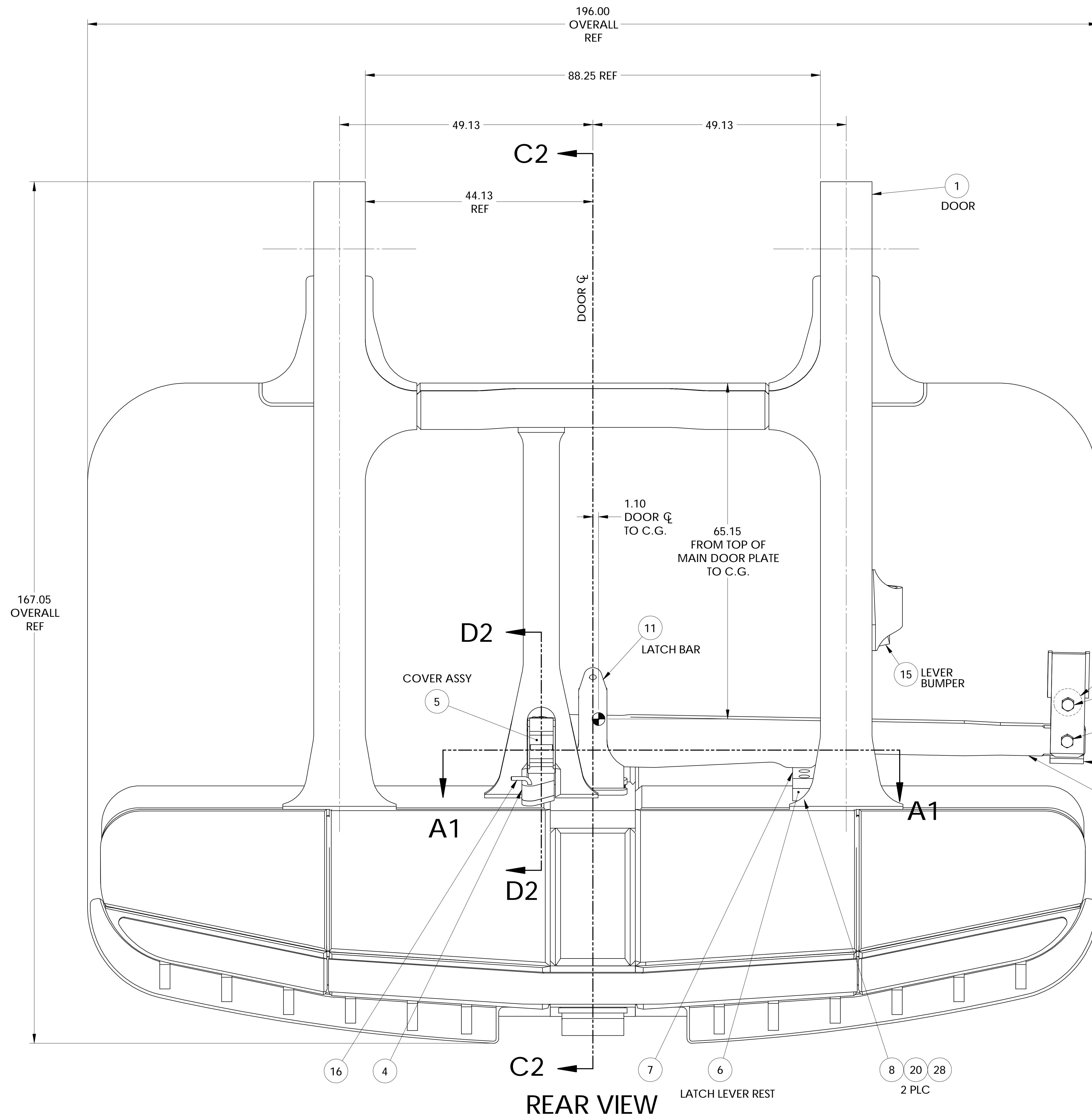
REISSUE DATE 06-09-2011
SOLIDWORKS DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2002 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.



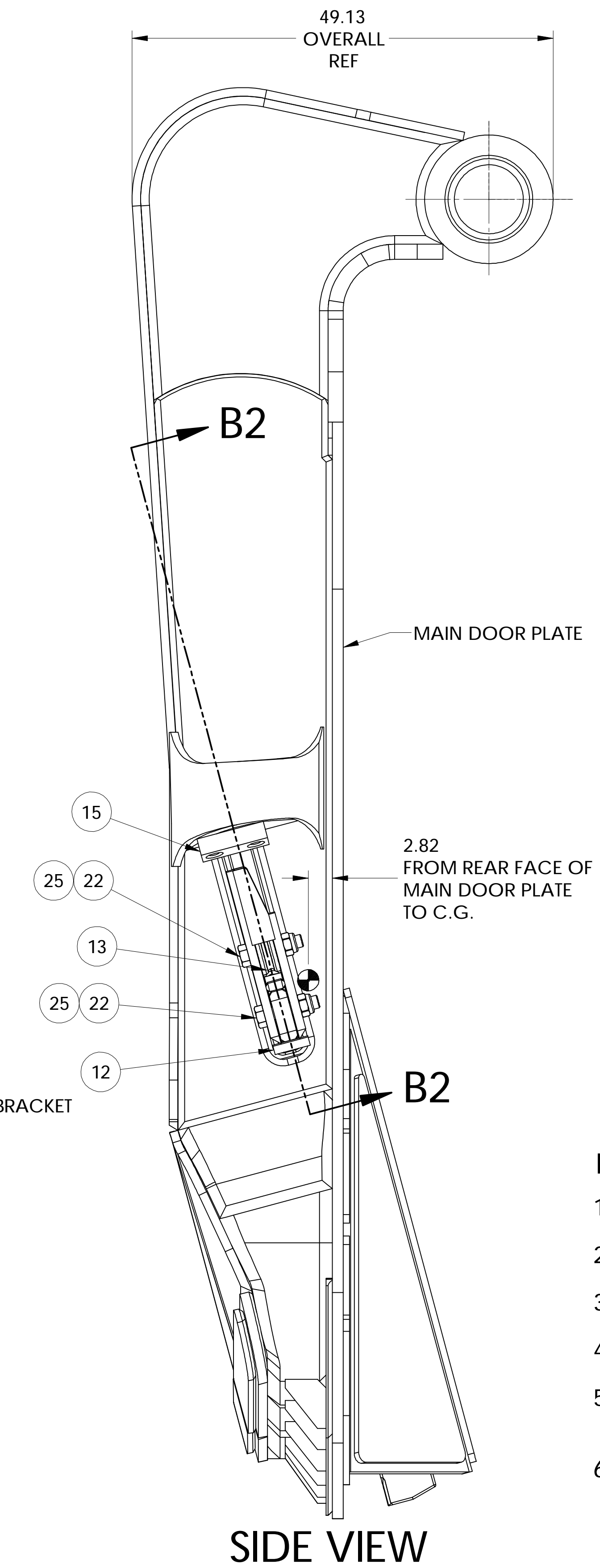
Bucyrus International, Inc.

DESCRIPTION	DRIVE, SWING, FLD ASSY		
NO.	DWG SIZE	REV	SHEET
S003806	E	3	2 OF 2

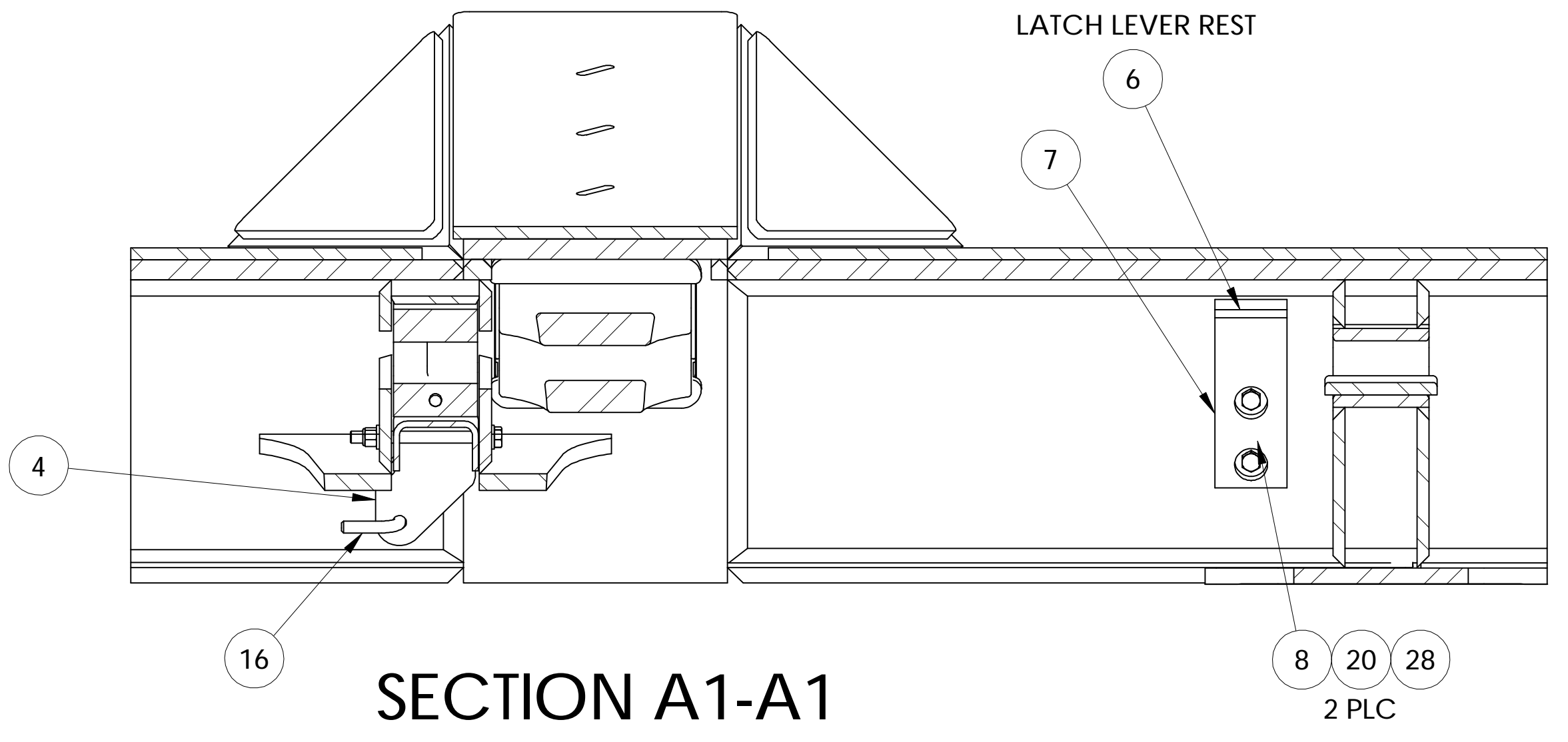


167.05 OVERALL REF

REAR VIEW



SIDE VIEW



SECTION A1-A1

QTY.	ITEM NO.	DESCRIPTION	REF WGT(#)	EACH	PART NO.
1	1	DIPPER,DOOR&LINER,75YD,WELDED	23563		S139010
1	2	PIN,4.00,FULCRUM	33.4		S007981
1	3	BLOCK,FULCRUM,MACHINED	52.0		S007990
1	4	SHIMPACK,FULCRUM (6.00)	63.2		S007991
1	5	COVER,ASSY,WELD & MACH	11.0		S067016
1	6	BAR,2.5x4.5	34.3		S007548
1	7	BUMPER,LATCH LEVER REST	4.4		S007550
4	8	SPACER,PIPE,.75(S)x.875	0.1		529732K1
2	9	GUIDE,1.75x5.62x13.25	24.8		B008146-01
2	10	GUIDE PLATE,LATCH BAR	41.0		S007516
1	11	BAR,LATCH,HARD FACED	1179.0		S035699
1	12	BRACKET,.75 TRIP ROPE,WELDED	82.6		S022470
1	13	SHEAVE 5.25 P.D.	11.5		S022469
1	14	LEVER,LATCH,ASSY	491.1		S007554
1	15	BUMPER,LEVER UPPER STOP	3.0		S007778
1	16	RETAINER,SHIM ROUND,.75x20.77	2.8		S007558
1	17	PIN,RETAINER,ASSY	1.0		S007989
1	18	SCR,HEX,.5x1,UNC,GR 5			03285320
2	19	SCR,HEX,.75x4,UNC,GR 5			03295280
2	20	SCR,HEX,.75x4.5,UNC,GR 5			03295440
2	21	SCR,HEX,.75x9,UNC,GR 5			03296400
2	22	SCR,HEX,1.5x6.5,UNC,GR 5			03309500
2	23	NUT,HEX,JAM,.75,UNC	0.1		02714450
4	24	NUT,HEX,LOCK,.75,UNC	0.1		02786485
2	25	NUT,HEX,LOCK,1.5,UNC	1.15		02786553
1	26	WASHER,LOCK,.5,HVY	0.05		03961500
8	27	WASHER,FLAT,.75,HARDENED			03951950
1	28	COMPOUND,THREAD LOCKING	0.2		82833862

INSTRUCTIONS

1. ATTACH BUMPER FOR LEVER UPPER STOP.
2. INSTALL LATCH LEVER REST ASSY.
3. INSTALL FULCRUM BLOCK WITH SHIM PACK & SHIM RETAINER.
4. INSTALL LATCH BAR & LATCH LEVER.
5. ADJUST SHIM HEIGHT IN FULCRUM BLOCK ASSY SO LATCH BAR OVERLAPS LATCH KEEPER INSERT IN BODY BY 1".
6. INSTALL COVER ASSY.

WEIGHT:

DOOR W/LINERS = 23,563 #
 LATCH ASSY = 2,175 #
 TOTAL WEIGHT = 25,738 #

REV	DATE	DESCRIPTION

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

ALL DIMENSIONS IN INCHES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 1. PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .01 FOR EACH 1/32 MARK ± .01
 2. PLACE DECIMAL DIMENSIONS ± .005 UP TO .36 ± .010 OVER .36
 3. CONCENTRICITY OF CYLINDRICAL SURFACES ± .010 I.R.
 4. PARALLELISM, SQUARENESS, OR ANGULARITY BETWEEN SURFACES AND/OR HOLE CENTERLINES ± .07° (0.001 INCH/INCH)

FABRICATING TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

MATERIAL THICKNESS	DIMENSIONS	TOLERANCE
A. LESS THAN .12	0 TO .36	.03
	OVER .36	.06
B. .12 TO .50	0 TO .36	.06
	OVER .36	.12
C. .50 TO 1.00	0 TO .36	.09
	OVER .36	.19
D. OVER 1.00	0 TO .36	.19
	OVER .36	.25

2. BENT ANGLES ± 1° (0.01 BEND) FOR EACH 37 OF MATERIAL THICKNESS (MARK ± 3°)

WELDMENT TOLERANCES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

DIMENSION	MATERIAL THICKNESS	TOLERANCE
A. UP TO .36"	UP TO 1"	.06
	1" AND GREATER	.12
B. .36" TO 10"	UP TO 1"	.12
	1" AND GREATER	.19
C. 10" TO 36"	UP TO 1"	.19
	1" AND GREATER	.25
D. OVER 36"	ALL	.25

REVISION DATA

ISSUE DATE

SOLIDWORKS DRAWING

DESCRIPTION: DIPPER,DOOR,75YD,SHIP ASSY

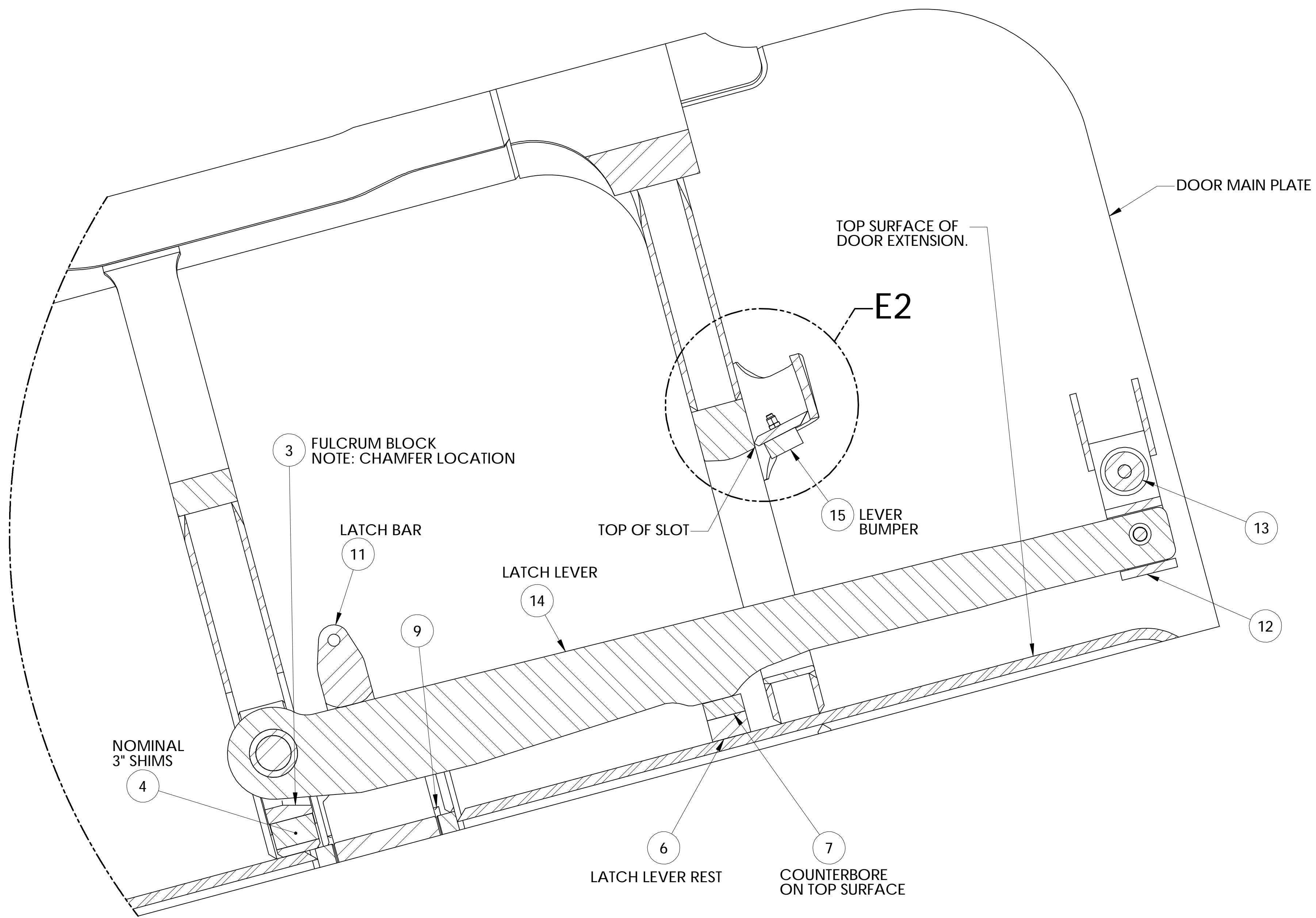
REF DWGS: S035820

MODEL: DIPPER UNIT: 6100 FIN WGT: 25738

DET: WILLMANN R. DATE: 10-26-2010 REV: 0

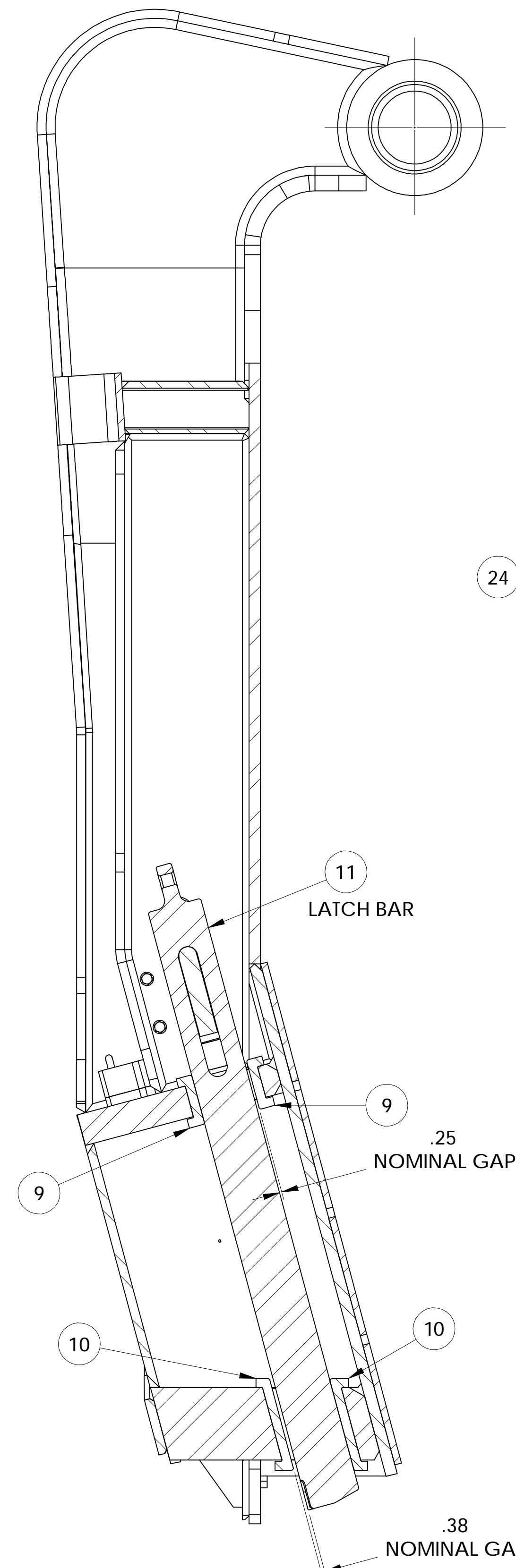
ENG: ANDERSON R. DWG: E

NO. S139011 SHEET 1 OF 2

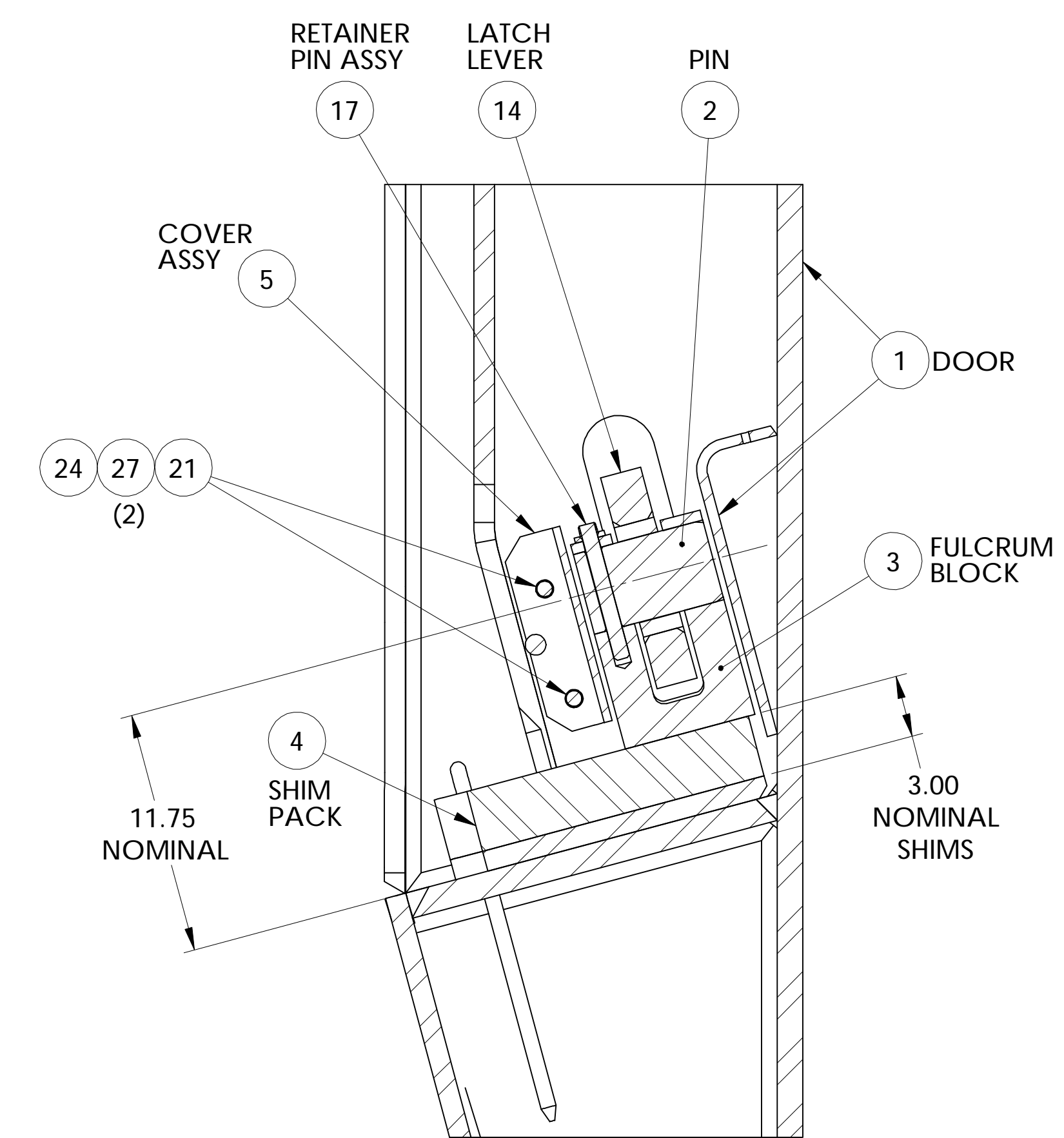


SECTION B2-B2

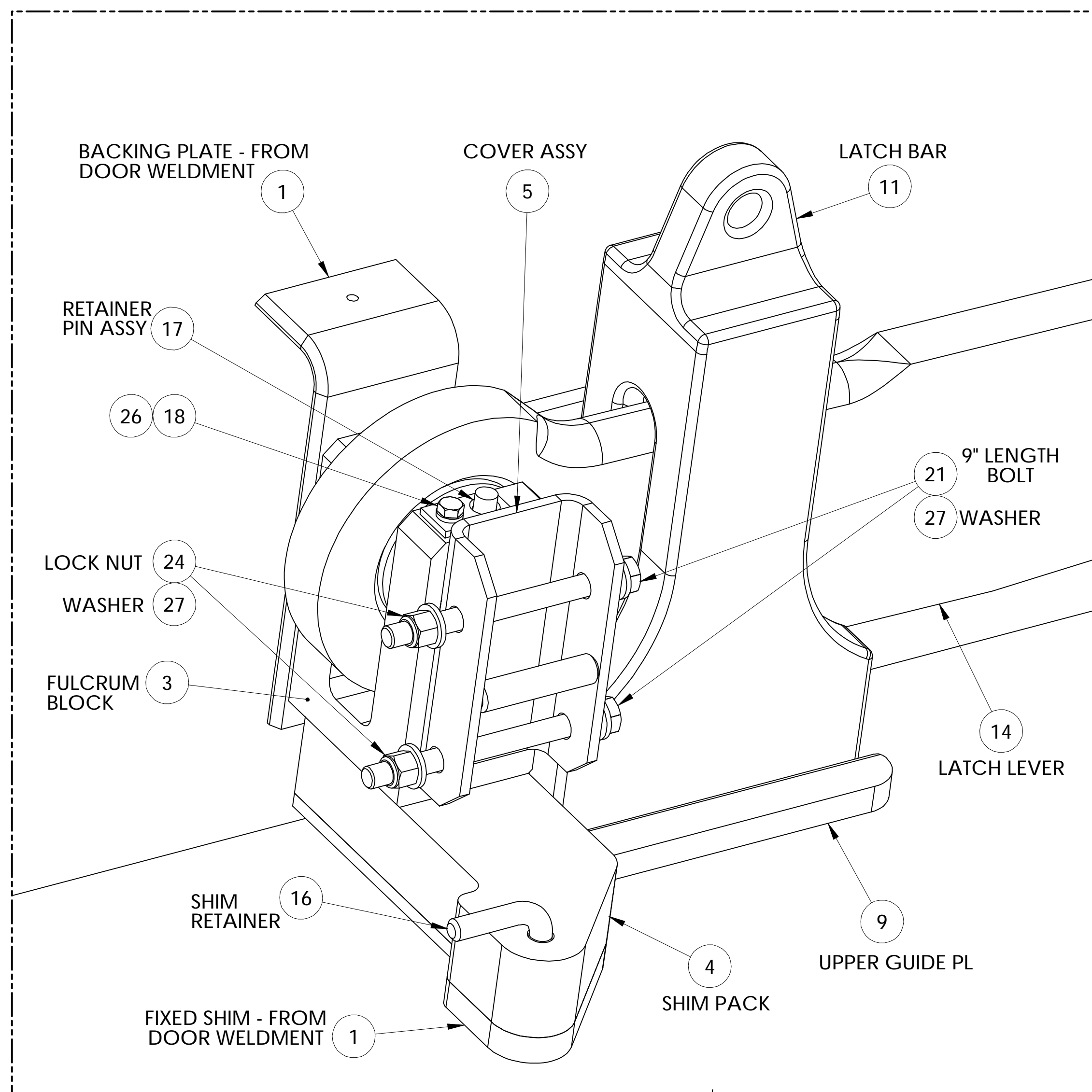
NOTE: THIS VIEW IS AT A 15 DEGREE ANGLE WRT MAIN DOOR PLATE.



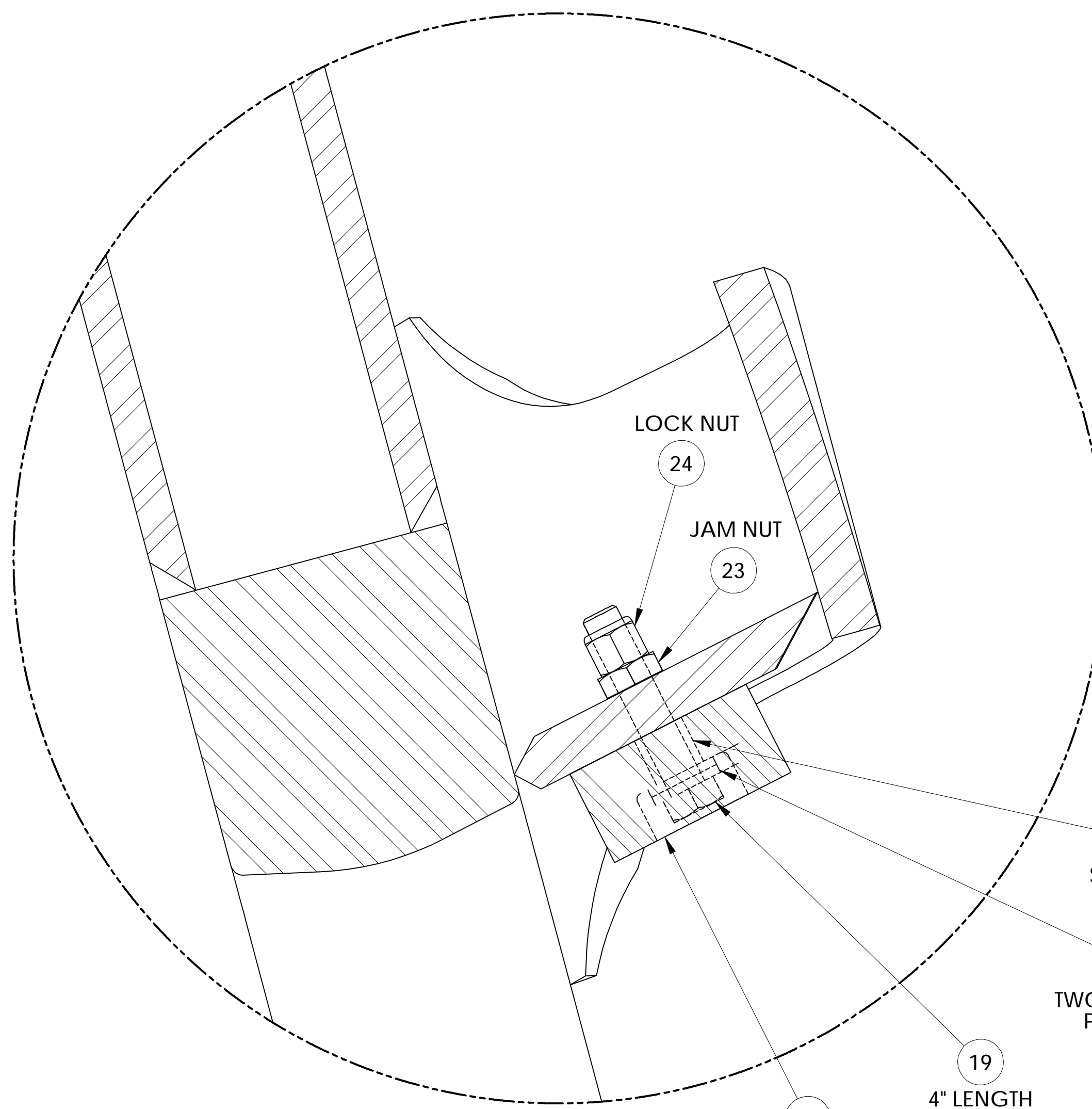
SECTION C2-C2



SECTION D2-D2



ISOMETRIC VIEW LOOKING DOWN ON FULCRUM BLOCK ASSY WITH DOOR VERTICALS HIDDEN SEE SECT D2-D2



DETAIL E2

RESUE DATE
SOLIDWORKS DRAWING

THIS DOCUMENT IS PROTECTED UNDER APPLICABLE COPYRIGHT LAWS TO THE EXTENT AVAILABLE. ANY UNAUTHORIZED AND UNLAWFUL REPRODUCTION, DISTRIBUTION OR OTHER USE SHALL BE SUBJECT TO LIABILITY. © 2010 Bucyrus International, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

	DESCRIPTION		
	DIPPER, DOOR, 75YD, SHIP ASSY		
NO.	DWG SIZE	E	REV 0
S139011			2 OF 2