

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE  
UN EQUIPO UNDERGROUND LANZADOR DE CONCRETO POR  
MEDIO DE MODIFICACIONES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de  
INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR**

Jorge Luis Esteban Pinco

**ASESOR:**

Arturo Alfredo Amaru Chungue

Lima, Mayo, 2021

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de realizar el estudio de un equipo underground lanzador de concreto marca Normet con fines de aumentar su disponibilidad mecánica. Para ello se plantea evaluar posibles fallas en el sistema de lanzado de concreto y realizar modificaciones al sistema original, el alcance del trabajo se basa en modificaciones mecánicas y, al mismo tiempo, variaciones de componentes en el sistema hidráulico del equipo para la empresa Robocon S.A., el cual garantizará la continuidad de las operaciones, y cumplir con las metas y objetivos con respecto a las cantidades de metros cúbicos proyectados.

El estudio inicia con la identificación de los principales sistemas del lanzador Normet. A continuación, se analiza el sistema de lanzado de concreto, el cual se divide en tres aspectos principales: hidráulico, operacional y diferencias con respecto a otras marcas. Luego, la aplicación de la Metodología de Diagnostico Caterpillar para determinar el desplazamiento entre los componentes del cilindro de selección ubicado en el sistema de lanzado de concreto, como la causa raíz de las fallas detectadas. Finalmente, se propone tres modificaciones para solucionar la problemática, en primer lugar, el cambio del perfil de rosca ACME con las tolerancias según norma AISI/ASME, en segundo lugar, el modo de sujeción axial de la horquilla en el cilindro de selección y, finalmente, el ajuste con las tolerancias del ensamble pin-bocina en el mismo cilindro.

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, deseo agradecer a mi asesor Ing. Arturo Amaru Chungue, quien con sus conocimientos y apoyo me guió durante el presente trabajo de investigación para obtener los resultados esperados.

También un agradecimiento especial a mis padres y mi hermano, quienes son mi inspiración diaria, me apoyaron durante toda mi vida universitaria y me formaron como persona.

Finalmente, agradezco a la Facultad de Ciencias e Ingeniería, a través de sus profesores, la excelente educación impartida durante mis años de estudio.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1 CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....	3
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Justificación y planteamiento del problema.....	3
1.3 Alcances .....	4
1.4 Metodología .....	4
1.5 Estado de la tecnología.....	4
1.5.1 El Shotcrete .....	4
1.5.2 Aspectos en la bombeabilidad del concreto .....	5
1.5.3 Equipos lanzadores de concreto .....	8
1.5.4 Black box Sistema lanzado de concreto .....	10
2 CAPÍTULO 2 .....	11
LANZADOR DE CONCRETO DE BAJO PERFIL .....	11
2.1 Ficha técnica.....	11
2.1.1 Dimensiones generales .....	11
2.1.2 Alcance máximo y área de proyección.....	11
2.2 Sistemas del Lanzador de concreto .....	12
2.2.1 Sistema motor diesel .....	13
2.2.2 Sistema tren de potencia.....	14
2.2.3 Sistema de lanzamiento de concreto.....	16
2.2.4 Sistema de aditivo y aire – agua.....	20
2.2.5 Sistemas de implementos hidráulicos.....	22
2.2.6 Sistema de dirección y freno .....	27
3 CAPÍTULO 3 .....	29
ESTUDIO DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LANZADO DE CONCRETO	29
3.1 Funcionamiento de los componentes hidráulicos .....	29

3.1.1	Válvula de distribución .....	29
3.1.2	Actuadores hidráulicos .....	31
3.2	Otros modelos .....	36
3.2.1	Lanzador CIFA CST 8.20 .....	36
3.2.2	Lanzador Putzmeister SPM 4210 .....	38
3.3	Aspecto operacional del sistema hidráulico de lanzado de concreto ....	40
3.3.1	Datos técnicos.....	40
3.3.2	Cálculo del caudal de operación y número de emboladas.....	41
4	CAPÍTULO 4 .....	45
	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO CATERPILLAR PARA SOLUCIONAR LA FALLA EN EL SISTEMA HIDRÁULICO DEL LANZADO DE CONCRETO.....	45
4.1	Reclamación del cliente .....	46
4.2	Realizar una inspección visual .....	47
4.3	Confirmación de la falla.....	48
4.4	Determinar las causas más probables.....	50
4.5	Realizar evaluación con instrumentos.....	52
4.6	Localizar la falla.....	54
4.6.1	Interrupción de señal hidráulica piloto hacia válvula 110.....	54
4.7	Realizar los ajustes o reparaciones.....	58
4.7.1	Rosca para alta resistencia ACME .....	58
4.7.2	Sujeción axial .....	63
4.7.3	Conjunto pin - bocina.....	64
5	CONCLUSIONES.....	65
6	RECOMENDACIONES .....	67
7	BIBLIOGRAFIA.....	68
8	ANEXOS.....	70

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N° 1 Análisis de cribado y curva granulométrica. (Hartmann et al., 2017, p. 13) .....	6
Figura N° 2 Cono de Abraham (expansión). (CIFA S.p.A, 2012, p. 43).....	7
Figura N° 3 Cono de Abraham (asentamiento). (CIFA S.p.A, 2012, p. 44).....	7
Figura N° 4 Lanzador CIFA CST 8.20. (CIFA S.p.A, 2015, p. 1) .....	8
Figura N° 5 Lanzador Putzmeister SPM 4210. (Putzmeister Ibérica S.A, 2017) .....	9
Figura N° 6 Bomba Putzmeister TK-50. (Ingenieria, 2019).....	9
Figura N° 7 Black Box bomba de concreto. ....	10
Figura N° 8 Dimensiones generales (SEMMCO, 2008, p. 7).....	11
Figura N° 9 Alcance máximo y área de proyección (SEMMCO, 2008, p. 9) .....	12
Figura N° 10 Sistemas en el Lanzador de concreto (SEMMCO, 2008, p. 133) .....	12
Figura N° 11 Motor DEUTZ TCD 2013 L04. (Deutz, 2021) .....	13
Figura N° 12 Sistema de tren de potencia.....	14
Figura N° 13 Esquema hidráulico de traslación. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	15
Figura N° 14 Sistema de lanzado de concreto .....	16
Figura N° 15 Movimiento de aspiración.....	17
Figura N° 16 Movimiento oscilante del Tubo S. ....	18
Figura N° 17 Elementos de desgaste (SEMMCO, 2008, p. 144).....	18
Figura N° 18 Tubos rígidos de salida.....	19
Figura N° 19 Mangueras para transporte de concreto.....	19
Figura N° 20 Entradas de aire y agua. ....	20
Figura N° 21 Bomba peristáltica.....	20
Figura N° 22 Manguera de aditivo.....	21
Figura N° 23 Esquema sistema Aditivo - Aire – Agua.....	21
Figura N° 24 Lanzador operando en una mina subterránea.....	22
Figura N° 25 Esquema simplificado accionamiento brazo articulado. ....	22
Figura N° 26 Actuadores hidráulicos en el brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, n.d., p. 36).....	23
Figura N° 27 Movimiento ascendente y descendente (SEMMCO, 2008).....	23
Figura N° 28 Movimiento de rotación (SEMMCO, 2008) .....	23
Figura N° 29 Movimiento de extensión brazo articulado (SEMMCO, 2008).....	24
Figura N° 30 Movimiento de cabezal longitudinal (SEMMCO, 2008).....	24

Figura N° 31 Movimiento de cabezal rotacional (SEMMCO, 2008) .....	24
Figura N° 32 Movimiento giro excéntrico (SEMMCO, 2008).....	24
Figura N° 33 Bomba hidráulica de brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	25
Figura N° 34 Esquema hidráulico actuadores de brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	25
Figura N° 35 Componentes sistema de estabilizadores: A. Válvula de distribución B. Válvulas de retención (SEMMCO, 2008, p. 173).....	26
Figura N° 36 Esquema hidráulico de cilindros estabilizadores (SEMMCO, 2008, p. 118).....	26
Figura N° 37 Dirección tipo "cangrejo" .....	27
Figura N° 38 Partes del sistema de dirección y freno. (Mascus, n.d.).....	27
Figura N° 39 Esquema hidráulico de dirección “cangrejo” y frenos. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	28
Figura N° 40 A. Bomba de engranajes. (Parker, 2020) B. Válvulas de distribución PVG 32 .....	29
Figura N° 41 Esquema hidráulico de válvula PVG 32. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	30
Figura N° 42 Válvula PVG en modo bombeo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118) .....	31
Figura N° 43 Actuadores hidráulicos del sistema de bombeo .....	32
Figura N° 44 Posición intermedia. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	33
Figura N° 45 Extensión de cilindro de bombeo izquierdo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	34
Figura N° 46 Extensión de cilindro de bombeo derecho. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118).....	34
Figura N° 47 Conmutación de válvula 111. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118) .....	35
Figura N° 48 Repetición del ciclo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118) .....	35
Figura N° 49 Esquema bomba para lanzado de concreto CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2011) .....	36
Figura N° 50 Esquema cilindros de selección CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2011) .....	37

Figura N° 51 Sujeción cilindros de selección CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2015, p. 44).....	37
Figura N° 52 Esquema bomba para lanzado de concreto. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 19) .....	38
Figura N° 53 Esquema válvulas control y distribución de caudal. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 21) .....	39
Figura N° 54 Sujeción por rotulas. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 285).....	39
Figura N° 55 Disponibilidad mecanica del lanzador Normet durante el año 2016 (Ticlavilca Rauz, 2016) .....	45
Figura N° 56 Posicion de tuerca central de brazo accionamiento.....	47
Figura N° 57 Reportes de mantenimiento. Empresa Rocobon S.A .....	48
Figura N° 58 Componentes del cilindro de selección.....	48
Figura N° 59 Falla en vástago del cilindro de selección Lanzador Normet. ....	49
Figura N° 60 Desgaste en bocina de brazo de accionamiento. ....	49
Figura N° 61 Rellenado con soldadura. ....	51
Figura N° 62 Rosca vástago cilindro selección. ....	51
<i>Figura N° 63 Ajuste inadecuado. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figura N° 64 Cilindro de selección. ....</i>	<i>51</i>
Figura N° 65 Medición de bocina. ....	52
Figura N° 66 Medición con micrómetro del pin. ....	52
Figura N° 67 Plano de fabricación actual de vástago. Empresa Robocon S.A.....	52
Figura N° 68 Plano de fabricación actual de Horquilla. Empresa Robocon S.A.....	53
Figura N° 69 Distancia entre horquilla y cilindro según Manual de operación.....	53
Figura N° 70 Manómetro de Presión de bombeo.....	53
Figura N° 71 Componentes de cilindro de selección. ....	54
Figura N° 72 Detalle ensamble cilindro- vástago (sellos omitidos). ....	55
Figura N° 73 Comparacion de acabados entre fabricado (izquierda) y original (derecha).....	55
Figura N° 74 Tabla de valores stardard para rosca UN (AISI/ASME B1.1, 2003)...	56
Figura N° 75 Gráfico con dimensiones principales de rosca UN (AISI/ASME B1.1, 2003).....	56
Figura N° 76 Perfil de rosca original. ....	57
Figura N° 77 Conjunto Horquilla- Vástago. ....	57

Figura N° 78 Ubicación del análisis del conjunto roscado .....	58
Figura N° 79 Perfil estándar de rosca ACME. (Casillas, 1980) .....	59
Figura N° 80 Dimension de rosca 1-8 ACME. ....	60
Figura N° 81 Dimensiones de rosca 1-10 ACME.....	60
Figura N° 82 Perfil de rosca propuesto y original. ....	60
Figura N° 83 Esquema en 3D del conjunto roscado simulado. ....	61
Figura N° 84 Esfuerzos presentes Rosca 1-14 UNS.....	61
Figura N° 85 Esfuerzos presentes Rosca 1-10 ACME 3G.....	61
Figura N° 86 Esfuerzos presentes Rosca 1-8 ACME 3G.....	61
Figura N° 87 Conjunto roscado vastago-horquilla. ....	63
Figura N° 88 Tolerancias en el conjunto pin-bocina. ....	64
Figura N° 89 Simulación de bocina bronce SAE 68 con fuerza instantánea. ....	64
Figura N° 90 Posiciones de los diámetros mayor y menor en horquilla y vástago (AISI/ASME B1.5, 1997).....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contenido de fino y cemento según UNI 7163. (CIFA S.p.A, 1998, p. 10)...	5
Tabla 2 Consistencias UNI 8020 .....	8
Tabla 3 Consistencias UNI 9418 .....	8
Tabla 4 Movimientos del brazo articulado.....	23
Tabla 5 Especificaciones técnicas.....	40
Tabla 6 Valores de entrada.....	41
Tabla 7 Valores de dimensiones de rosca 1-14 UNS.....	57
Tabla 8 Expresiones para perfil ACME.....	59
Tabla 9 Valores para rosca ACME 8 y 10 hilos.....	60
Tabla 10 Propiedades mecánicas de aceros para vástago.....	62
Tabla 11 Factores de seguridad para las roscas.....	62
Tabla 12 Valores de tolerancias para fabricación.....	62
Tabla 13 Valores de entrada para calculo.....	71
Tabla 14 Tolerancias y márgenes para diámetros mayores y menores en roscas ACME. (AISI/ASME B1.5, 1997) .....	74
Tabla 15 Tolerancias en diámetros mayores y menores en roscas ACME de propósito general. (AISI/ASME B1.5, 1997) .....	76
Tabla 16 Tolerancias en el “pitch diameter” para rosca ACME, clases 3G y 3C. (AISI/ASME B1.5, 1997) .....	76

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Caudal de operación vs revoluciones del motor.....	43
Gráfico N° 2 Emboladas por minuto vs revoluciones del motor.....	43
Gráfico N° 3 Caudal de operación vs emboladas por minuto.....	44

## **INTRODUCCIÓN**

En la industria de minería subterránea el lanzado de concreto es parte del proceso de sostenimiento dentro de una mina mecanizada de socavón. Otras opciones de soporte en excavaciones son por pernos de anclaje, mallas de acero y cimbras de madera o metal. Sin embargo, el lanzado de concreto es el método preferido por su resistencia temprana, ya que el concreto endurece rápidamente y alcanza valores de resistencia apropiados para la seguridad en la operación. Esta tecnología tiene 12 años en el Perú, aproximadamente, y ha logrado optimizar tiempos de excavación subterráneas en las diferentes minas localizadas a lo largo del territorio peruano.

La utilización de maquinarias de perfil bajo como lanzadores de concreto de secado rápido es un estándar dentro de las operaciones mineras, debido a que pueden ser controlados de forma manual o remota inalámbricamente, con ello se aumenta la seguridad en la operación dentro de mina porque no requiere intervención directa del personal. Los diferentes fabricantes continúan desarrollando tecnologías para optimizar las dimensiones de los equipos lanzadores de concreto para vetas de menor tamaño y se espera un aumento de la demanda sobre esta tecnología en los próximos años.

### **Objetivos generales**

- Generar un incremento de la disponibilidad mecánica del lanzador de concreto marca Normet

### **Objetivos específicos**

- Reconocer los principales sistemas presentes en un lanzador de concreto marca Normet
- Explicar el funcionamiento del sistema hidráulico de lanzado de concreto y sus componentes
- Identificar los principales parámetros que afectan el rendimiento del sistema de lanzado de concreto Normet.y otras marcas.
- Aplicar la Metodología de Diagnóstico de Caterpillar para evaluar las causas probables, parámetros a medir y reparaciones de componentes mecánicos o hidráulicos asociados al sistema de lanzado de concreto Normet para incrementar su disponibilidad.

# **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

## **1.1 Antecedentes**

Durante los años la prevención de accidentes por desprendimiento de rocas durante la operación de excavación de socavones subterráneos ha sido un punto de interés para las empresas mineras. En la búsqueda por reducir los valores porcentuales de accidentes se han planteado combinaciones de las tecnologías actuales. Por ello se ha tornado común el uso de lanzado de concreto con pernos de anclaje y se está reemplazando progresivamente a la malla de acero como principal método de soporte en minas subterráneas. Entre sus ventajas están la mejora en tiempos de ejecución de la obra y soportes con mayores resistencias tempranas.

## **1.2 Justificación y planteamiento del problema**

La empresa tiene una flota total de 92 vehículos de perfil bajo operativos, divididos en 30 lanzadores de concreto y 62 mixers (transporte), en porcentaje representan el 33% y 67% del total de la flota, respectivamente. Los lanzadores están operando en 7 minas: Argentum (Junin), Carahuacra (Junin), Chungar (Pasco), Huaron (Pasco), San Cristobal (Junin), San Rafael (Puno) y Uchucchacua (Lima). Cada lanzador de concreto tiene un rendimiento teórico de 20 m<sup>3</sup>/h, con 30 equipos operativos se tiene una capacidad total de 600 m<sup>3</sup>/h, con un promedio mensual de operación de 450 horas y, generalmente, las adjudicaciones de contratos en mina establecen el cobro por metro cubico (m<sup>3</sup>) de concreto lanzado aproximadamente en 320 USD/m<sup>3</sup>. De los 30 lanzadores operativos en mina, 23 son de la marca Normet que representa el 25% de la flota total en la empresa.

Los lanzadores Normet reportan una problemática en su disponibilidad mecánica. Desde mina se envían reportes de mantenimiento que implican regulación del sistema de bombeo y cambio de componentes asociados a la misma problemática. El evento de regulación conlleva un tiempo de 30 min, normalmente al inicio de cada jornada laboral, y los cambios de componentes por reparación de 1h 30 min. En el mes de agosto del 2019, la suma de tiempos por regulación y cambios de componentes en los equipos Normet fue de 12 y 9 horas, respectivamente. Estos eventos en conjunto suman 21 horas de

inoperatividad por mes, que representan aproximadamente 2 días laborales, lo cual implica 420 m<sup>3</sup>/mes de concreto no lanzado equivalente a una pérdida que asciende los 134, 400 USD/mes por equipo parado. Asimismo, el costo de fabricación por las piezas de recambio al año ascendió a 7,000 dólares. En resumen, los costos asociados a equipo parado por regulación y recambio, y fabricaciones de piezas por la problemática de “*regulación de bombeo*” en el lanzador modelo Normet ascendieron a USD 1.6 millones en el año 2019.

### **1.3 Alcances**

El alcance del estudio consiste en la evaluación de fallas mecánicas en los componentes del sistema de lanzamiento de concreto para proponer diseños alternativos y reducir la frecuencia de las ocurrencias.

### **1.4 Metodología**

Para el estudio se utiliza la metodología de diagnóstico utilizada por la empresa Caterpillar como procedimiento para resolver la problemática en la disponibilidad mecánica de un equipo lanzador de concreto de bajo perfil.

### **1.5 Estado de la tecnología**

En este apartado se menciona la definición del término Shotcrete, parámetros para definir un concreto bombeable y, por último, las tecnologías de equipos underground lanzadores de concreto disponibles en el mercado.

#### **1.5.1 El Shotcrete**

El shotcrete consiste en concreto colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla, a través de equipos lanzadores, por el método de vía húmeda o vía seca. La mezcla consiste en áridos, cemento y agua, a su vez, se utiliza como complementos materiales finos, aditivos químicos y fibras de acero de refuerzo. La densidad del Shotcrete es 2200 kg/m<sup>3</sup>, aproximadamente.

Sus principales aplicaciones del hormigón proyectado es el sostenimiento en la construcción de túneles como soporte estructural temprano. Entre sus propiedades es la consistencia adecuada y la resistencia temprana en su estado fresco y la resistencia al a compresión y durabilidad en su estado endurecido.

### **1.5.2 Aspectos en la bombeabilidad del concreto**

El concreto bombeable es un material que tiene la característica de deslizarse a través de una tubería sin crear inconvenientes (tapones o segregaciones). Los factores que definen a una mezcla bombeable se pueden clasificar en los siguientes puntos.

#### **1.5.2.1 Contenido de fino**

La cantidad de fino, que consiste en arena por debajo de 0.2 mm y cemento, debe ser por lo menos de 350-400 kg/m<sup>3</sup> en la mezcla. Según la normativa UNI 7163 se muestra en la Tabla N°1 el contenido óptimo de fino en función de la dimensión máxima del inerte.

*Tabla 1 Contenido de fino y cemento según UNI 7163. (CIFA S.p.A, 1998, p. 10)*

Dimensión máxima inerte mm	Contenido de partes final aconsejado para 1m <sup>3</sup> de hormigón asentado kg
8	525
15	450
20	430
30	400
50	350

Las consecuencias de una cantidad insuficiente de fino son atascamientos en las tuberías, dificultad de bombeo y un mayor desgaste en general. En el caso de un exceso de fino existen fuertes presiones de funcionamiento, que conllevan a desgaste y mayores consumos.

### 1.5.2.2 Curva granulométrica inertes

“El hormigón ideal para bombear posee una buena granulometría que corresponde a la máxima densidad de los inertes compuestos por granos de varias dimensiones de modo que los más pequeños puedan penetrar en los espacios vacíos dejados por los más grandes” (CIFA S.p.A, 1998, p. 10). En la Figura N°1 se muestra el análisis de cribado.

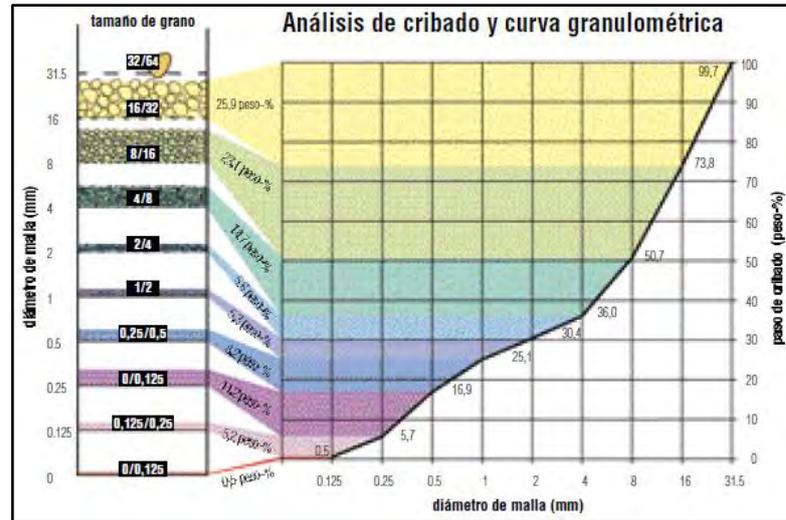


Figura N° 1 Análisis de cribado y curva granulométrica. (Hartmann et al., 2017, p. 13)

### 1.5.2.3 Consistencia

Se mide con la prueba del cono de Abrams que implica el ensayo de ampliación de la base (expansión) y asentamiento (“slump”) del cono. Las consideraciones son la cantidad de cemento, composición granulométrica, porcentajes de finos y relación agua-cemento entre 0.5 -0.6 (CIFA S.p.A, 2012, p. 45).

#### **Medición de la ampliación de la base (expansión)**

Para medir la fluidez del concreto fresco se vierte una porción en un cono con medidas estandarizadas, apoyado sobre una placa en el suelo. Luego de reposar unos segundos, se levanta suavemente el cono y se mide el diámetro del concreto expandido sobre la placa (Figura N°2), el valor obtenido se contrasta con la norma (Tabla N°2)

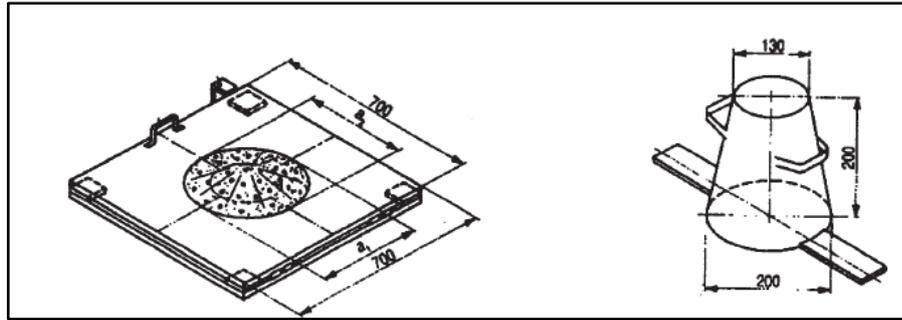


Figura N° 2 Cono de Abraham (expansión). (CIFA S.p.A, 2012, p. 43)

### Medición del asentamiento

La otra prueba de campo es la consistencia del concreto a través de la medición de la altura de asentamiento (Figura N°3) y se compara su valor con la Tabla N°3. Las masas con consistencia húmeda son difícilmente bombeables, crean problemas de aspiración, bombeos discontinuos y desgaste significativos (CIFA S.p.A, 1998, p. 12). Las masas fluidas (“slump” de más de 15 cm) no tiene dificultad para ser aspiradas, pero tienden a disgregarse provocando atascamientos en el cuerpo bombeador y en la tubería (CIFA S.p.A, 1998, p. 12).

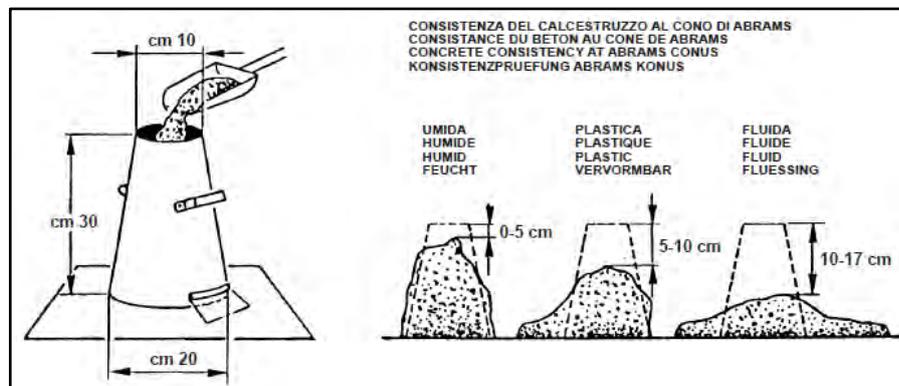


Figura N° 3 Cono de Abraham (asentamiento). (CIFA S.p.A, 2012, p. 44)

Categorías de consistencias al medir su expansión (**UNI 8020 – Método B**)

*Tabla 2 Consistencias UNI 8020*

Categoría de consistencias	Expansión mm
FB1	<= 340
FB2	De 350 a 410
FB3	De 420 a 480
FB4	De 490 a 550
FB5	>= 560

Consistencia categorías al medir el asentamiento (**UNI 9418**)

*Tabla 3 Consistencias UNI 9418*

Categoría	Asentamiento (mm)	Denominación
S1	De 10 a 40	Húmedo
S2	De 50 a 90	Plástico
S3	De 100 a 150	Semi-húmedo
S4	De 160 a 200	Fluido
S5	>= 210	Super fluido

### **1.5.3 Equipos lanzadores de concreto**

A continuación, se presenta los siguientes equipos lanzadores de concreto por parte de la marca italiana CIFA y alemana Putzmeister.

#### **1.5.3.1 Lanzador CIFA CST 8.20**

En la Figura N°4 se muestra el lanzador CIFA CST 8.20 (de 2 cilindros hidráulicos) tiene una capacidad para transporte y distribución de hormigón con peso específico máximo de 2400 kg/m<sup>3</sup>, con caudal de hasta 20 m<sup>3</sup>/h y 16 emboladas por minuto, asimismo la presión máxima sobre el concreto es de 55 bar alimentado por un motor eléctrico de 30 kW a 1500 RPM. Sus dimensiones que posee son una longitud de 7.75 m, altura de 2.54 m y ancho de 1.97 m.



*Figura N° 4 Lanzador CIFA CST 8.20. (CIFA S.p.A, 2015, p. 1)*

### **1.5.3.2 Lanzador Putzmeister SPM 4210**

La bomba PM 1507 (de 2 cilindros hidráulicos) esta acoplada en el lanzador de concreto Putzmeister SPM 4210 (Figura N°5), cuyo caudal máximo es de hasta 20 m<sup>3</sup>/h y 27 emboladas por minuto. Asimismo, la presión máxima sobre el concreto a la salida es de 65 bar, alimentado por un motor eléctrico de 37 kW a 1500 RPM. Sus dimensiones que posee son una longitud de 7.1 m, altura de 2.5 m y ancho de 2 m.



*Figura N° 5 Lanzador Putzmeister SPM 4210. (Putzmeister Ibérica S.A, 2017)*

### **1.5.3.3 Bomba Putzmeister TK-50**

En la Figura N°6 se muestra la bomba TK-50 (de 2 cilindros hidráulicos) es una bomba de remolque con un caudal de salida de 41 m<sup>3</sup>/h, 43 emboladas por minuto y una presión máxima sobre el concreto de 79 bar con agregados de 38 mm de tamaño máximo. Esta bomba funciona con un motor DEUTZ TCD 2012 de 72 kW a 2400 RPM. Sus dimensiones que posee son una longitud de 4.85 m, altura de 1.8 m y ancho de 1.89 m.



*Figura N° 6 Bomba Putzmeister TK-50. (Ingenieria, 2019)*

1.5.4 Black box Sistema lanzado de concreto

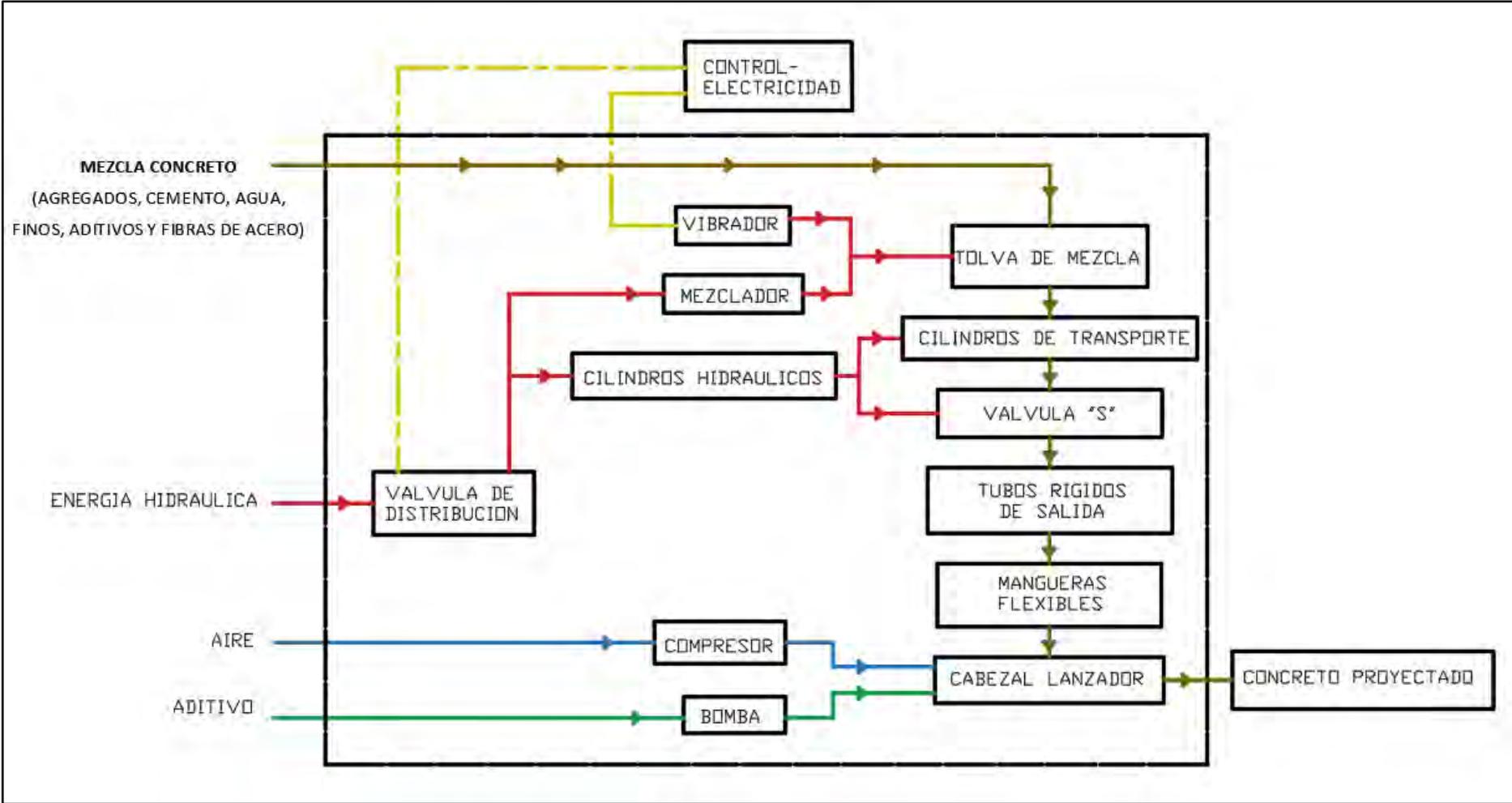


Figura N° 7 Black Box bomba de concreto.

## CAPÍTULO 2

### LANZADOR DE CONCRETO DE BAJO PERFIL

#### 2.1 Ficha técnica

Como punto de inicio en el estudio del equipo lanzador de concreto se presenta los datos técnicos ofrecidos por el fabricante.

##### 2.1.1 Dimensiones generales

El lanzador de concreto tiene las siguientes dimensiones generales, mostradas en la Figura N°8 y un peso de 8,500 kg

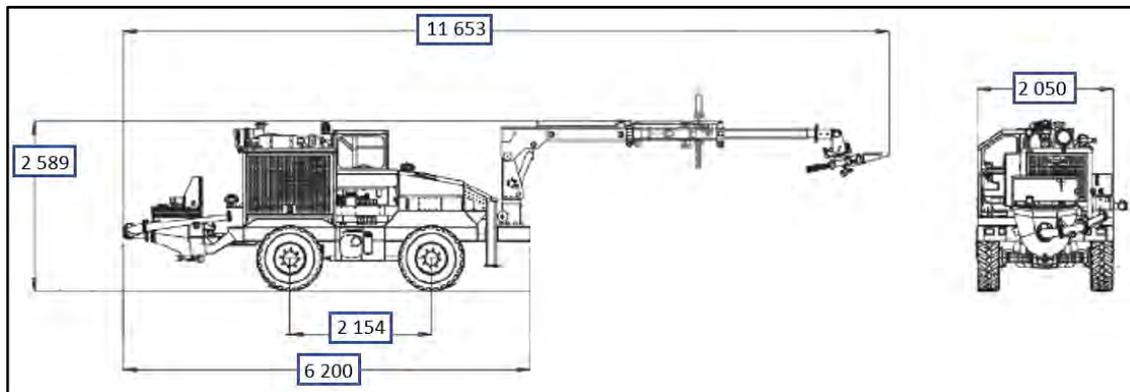


Figura N° 8 Dimensiones generales (SEMMCO, 2008, p. 7)

##### 2.1.2 Alcance máximo y área de proyección

El alcance máximo es la extensión máxima que el brazo articulado del lanzador de concreto puede alcanzar para realizar la operación. Por otro lado, el área de proyección es la distancia que recorre el concreto desde su salida de la tobera hacia la pared. En la Figura N°9 se muestran los valores de alcance máximo y área de proyección.

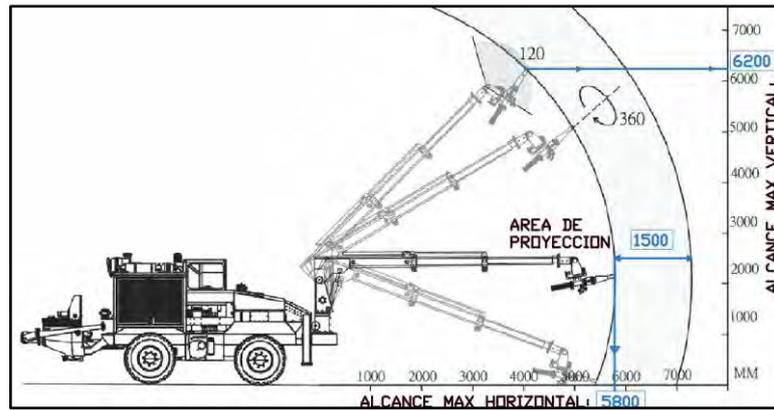


Figura N° 9 Alcance máximo y área de proyección (SEMMCO, 2008, p. 9)

## 2.2 Sistemas del Lanzador de concreto

Los sistemas de una máquina se denominan a la agrupación de componentes que funcionan con un mismo objetivo. Por ejemplo, transmitir potencia, movilizar los accionamientos mecánicos o generar la energía para la operatividad de la máquina. A continuación, la Figura N°10 detalla los sistemas presentes en el lanzador de concreto.

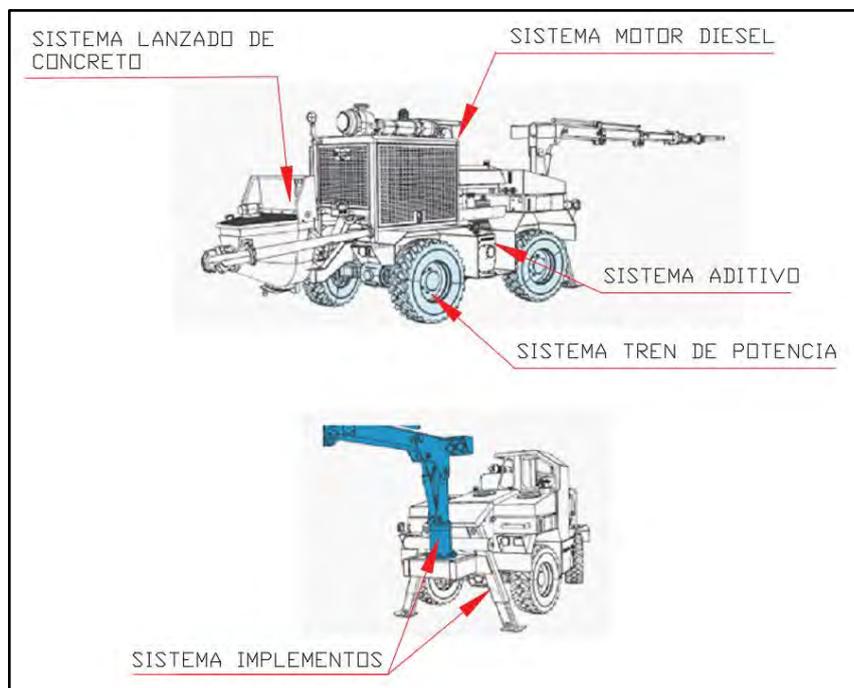


Figura N° 10 Sistemas en el Lanzador de concreto (SEMMCO, 2008, p. 133)

### **2.2.1 Sistema motor diesel**

El lanzador de concreto utiliza el motor Diesel Tier 3 DEUTZ TCD 2013 L04 2V (Figura N°11) para la generación de energía hacia los demás sistemas. Su potencia es de 161 HP (120 kW a 2300 RPM) con 4 cilindros en línea y sobrealimentado. Su peso es de 450 kg.



*Figura N° 11 Motor DEUTZ TCD 2013 L04. (Deutz, 2021)*

#### **2.2.1.1 Sistema de inyección de combustible**

Es un sistema de inyección “*Common rail*” con una presión de hasta 835 bar (en vacío a máxima rpm). Asimismo, cuenta con un control de unidad electrónica de combustible (FCU), bomba de baja y alta presión. El tanque de combustible presente en el equipo tiene una capacidad de 165 L.

#### **2.2.1.2 Sistema de lubricación**

El aceite de lubricación es el Mobil Delvac MX15W-40 con una temperatura en el cárter de 125 °C y presión de bomba de 25 a 40 psi. El cárter tiene una capacidad de 15 L de aceite.

#### **2.2.1.3 Sistema de refrigeración**

Refrigerante con composición de 60 % agua y 40% etilenglicol (anticongelante). El rango de trabajo de apertura del termostato es de 86°C a 102°C. La temperatura máxima del refrigerante es de 105°C. Finalmente, la cantidad de refrigerante utilizado es de 10 L y su enfriamiento es por aire forzado (radiador).

## 2.2.2 Sistema tren de potencia

El tren de potencia transmite la energética mecánica del motor hacia las ruedas para el movimiento de traslación del equipo lanzador de concreto. En la Figura N°12 se muestra la bomba hidráulica acoplada al motor Diesel. El accionamiento de la bomba permite succionar el aceite del tanque hidráulico y transportarlo hacia el motor hidráulico. El motor hidráulico está acoplado a la caja de transferencia de dos engranajes internos que, a su vez, se ubica en el diferencial posterior para su movimiento. Finalmente, el accionamiento del diferencial delantero es por medio del eje cardan.

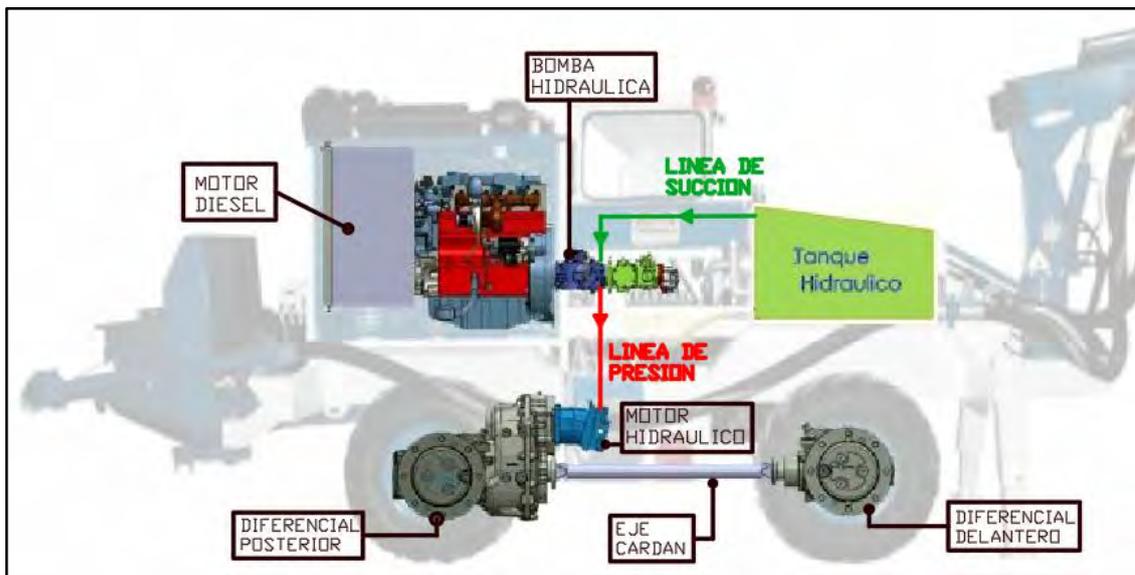


Figura N° 12 Sistema de tren de potencia

### 2.2.2.1 Componentes

La bomba hidráulica es de la marca Rexroth modelo A4VG56 con una presión máxima de 420 bar y carga de 25 bar. Es un tipo de bomba de pistones de volumen variable con compensador de presión y caudal (LS). Además, el motor hidráulico bidireccional SAUER 90M075N acoplado al diferencial posterior.

Los diferenciales son de la marca SPICER DANA modelo 212 convencional con eje posterior fijo y oscilación del eje delantero de +/- 7°. La relación de reducción en general está en el rango de 10 a 26 y el aceite recomendado es el SAE 85W90. Finalmente, las llantas son del tamaño 12.5/80 -18.

### 2.2.2.2 Esquema hidráulico

La traslación del equipo es por medio de un sistema hidrostático cerrado. La Figura N°13 muestra la bomba principal (1) que acciona el motor hidráulico (2), ubicado en el eje posterior. La renovación de aceite en este sistema cerrado se realiza por medio del filtro (3), la bomba de carga (4) que introduce el aceite nuevo por el lado de baja presión, a través de válvulas check (5) y cuya protección es la válvula de alivio de carga (6) seteada a 25 bar. Por el contrario, la descarga de aceite es realizada por la válvula de enlace “flushing” (7) y la válvula de alivio (8). Por otro lado, las válvulas de alivio cruzadas (9), ubicadas en las líneas de alta y baja presión protegen al motor hidráulico de una sobrepresión si se para mecánicamente.

Para controlar la inclinación del plato en la bomba principal se encuentra la válvula override (10) que al alcanzar la presión de 420 bar reduce el volumen de los pistones en la bomba principal a casi cero. Asimismo, la válvula DA Rexroth (11) junto con la válvula de distribución (12) permite variar el caudal de bomba dependiendo de los requerimientos en el equipo.

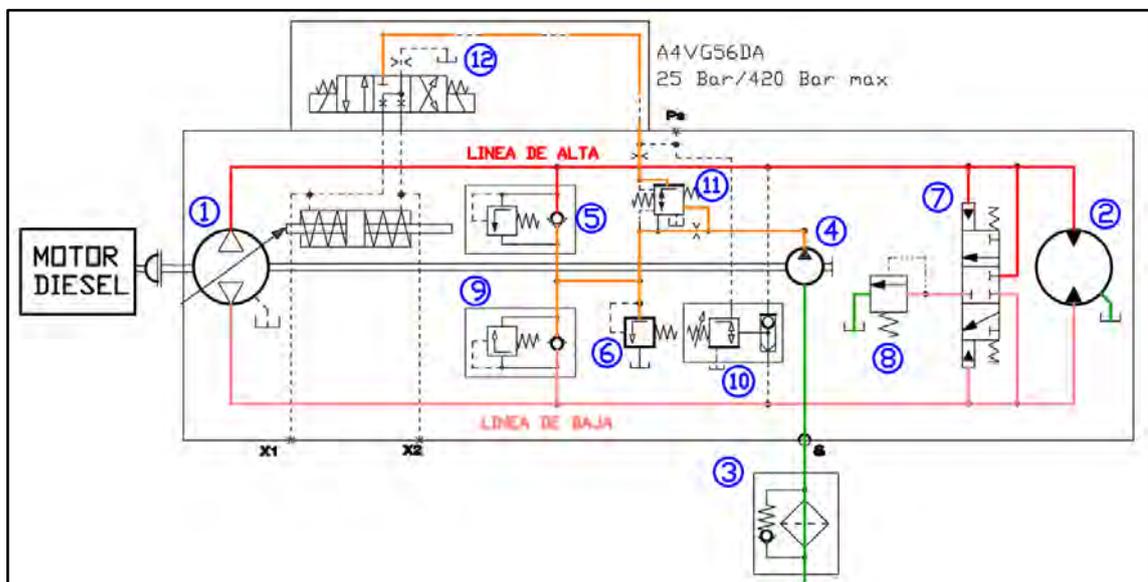


Figura N° 13 Esquema hidráulico de traslación. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

### 2.2.3 Sistema de lanzado de concreto

El sistema hidráulico de lanzado de concreto tiene como objetivo transportar el concreto desde la tolva hacia la tobera de salida, como muestra la Figura N°14. En la misma figura se muestra un esquema simplificado del circuito hidráulico para el accionamiento de los componentes del sistema de lanzado. El caudal de la bomba hidráulica dedicada al sistema de lanzado se dirige por mangueras hidráulicas hacia la válvula actuadora y, finalmente, el usuario acciona la palanca para activar la bomba de concreto ubicada en la parte posterior del equipo y transportar el concreto hacia la tobera de salida.

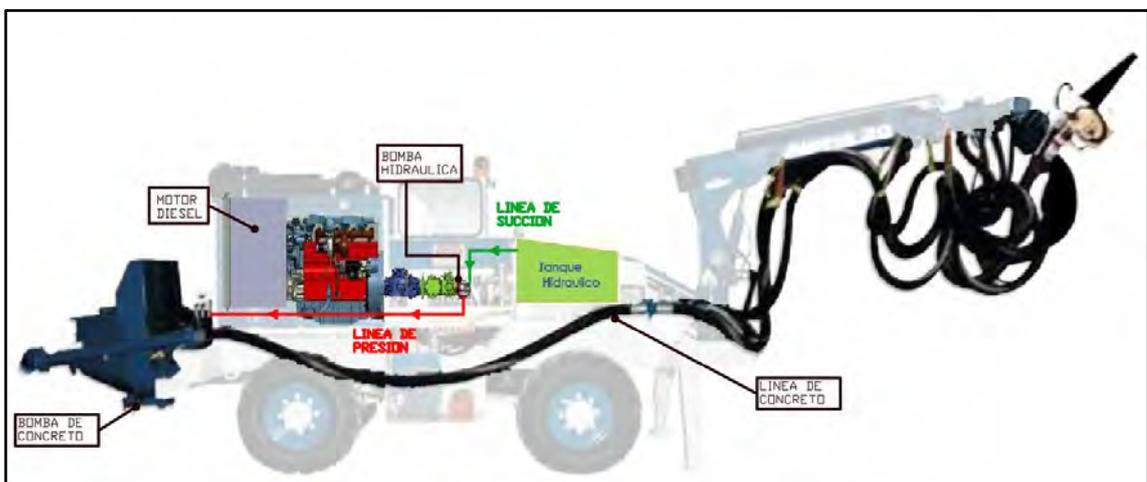


Figura N° 14 Sistema de lanzado de concreto

#### 2.2.3.1 Funcionamiento

Es una bomba de desplazamiento positivo del tipo recíprocante, el accionamiento es hidráulico a través de dos cilindros (ítem 6, Fig.15), cuyos vástagos están conectados a émbolos (ítem 7, Fig.15) en el cilindro de transporte (ítem 8, Fig.15). El funcionamiento de la bomba de concreto se divide en la aspiración, conexión y expulsión del concreto hacia la tobera de salida.

## Aspiración

Todo se inicia con la descarga del concreto en la tolva (ítem 1, Fig.15), luego al accionar el cilindro de bombeo derecho (ítem 5, Fig.15), el desplazamiento del embolo (ítem 7, Fig.15) ubicado en el cilindro de transporte de concreto (ítem 8, Fig.15) genera una presión de vacío que succiona el concreto de la tolva y llena el cilindro completamente.

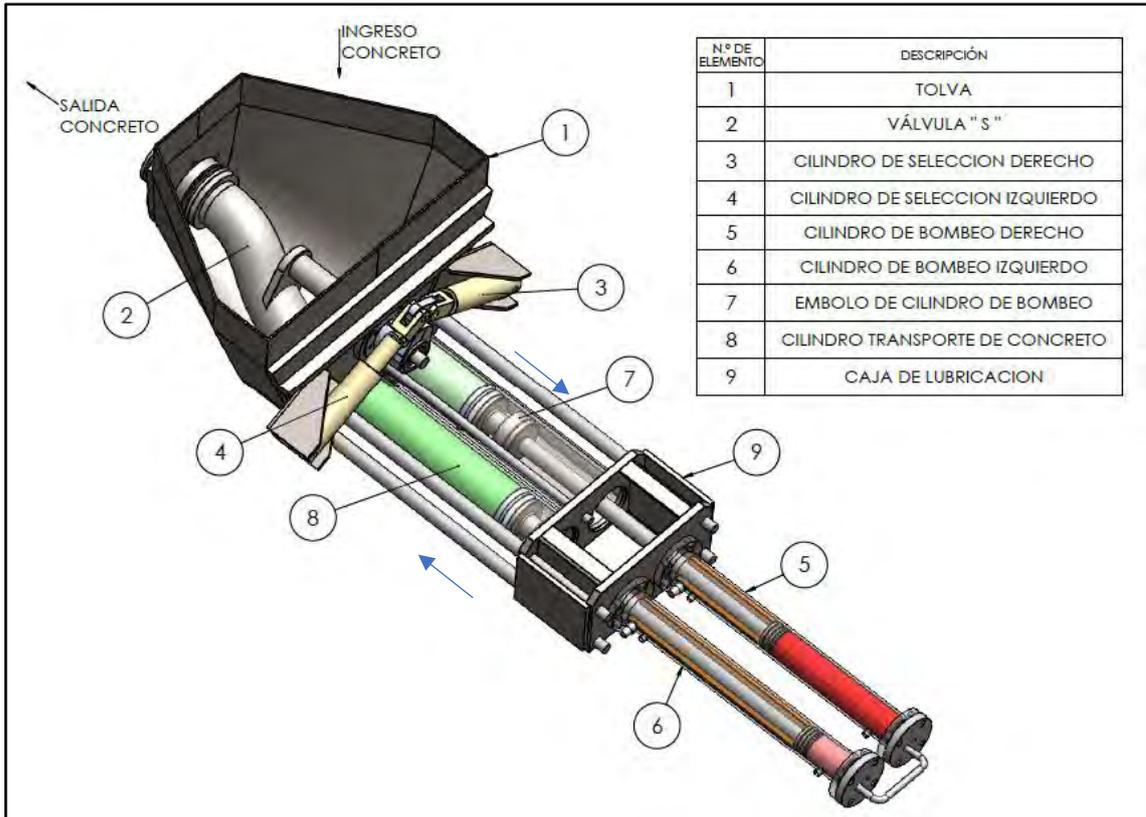


Figura N° 15 Movimiento de aspiración.

## Conexión

El movimiento alternante entre los cilindros de bombeo (ítem 5 y 6, Fig.15) permite que cuando el cilindro de transporte de concreto derecho se llena, la extensión del cilindro de bombeo izquierdo (ítem 6, Fig.15) impulsa el concreto del interior del cilindro de transporte (ítem 8, Fig.15) hacia la válvula "S" (ítem 2, Fig.15).

En este punto la "válvula S" u oscilante conecta el cilindro de transporte izquierdo con la salida final de la tolva, por medio del cilindro de selección izquierdo (ítem 4, Fig.15).

El nombre “oscilante” se debe a la conmutación de un cilindro de transporte hacia otro (Fig.16), accionado por los cilindros de selección (ítem 3 y 4, Fig.15).

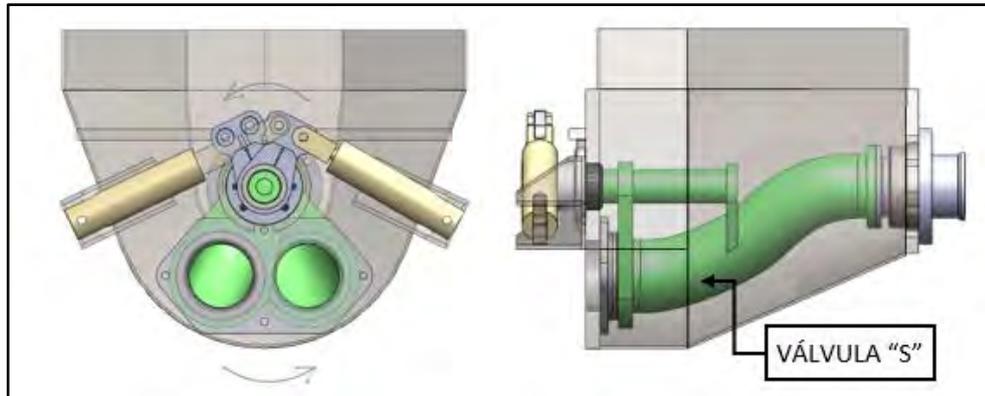


Figura N° 16 Movimiento oscilante del Tubo S.

La posición de la “Válvula S” siempre esta sincronizada con el cilindro de transporte que expulsará concreto, mientras el otro cilindro de transporte estará conectado con la tolva para la succión de concreto. Este ciclo de trabajo se repetirá durante todo el funcionamiento de la bomba de concreto, debido al movimiento repetitivo de la válvula S, la fricción por contacto directo requiere de un conjunto de placa de desgaste (ítem 5, Fig.17) y anillo de corte (ítem 6, Fig.17) como elementos de desgaste.

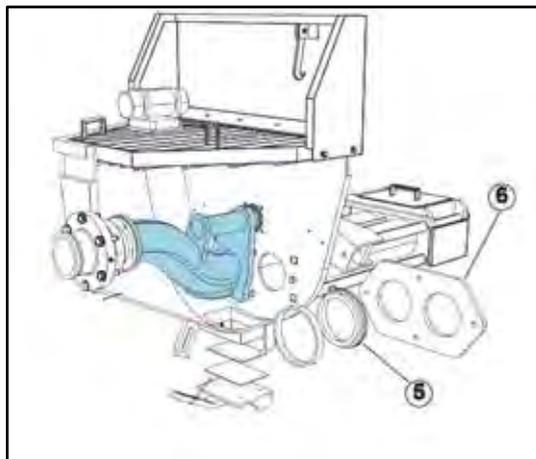


Figura N° 17 Elementos de desgaste (SEMMCO, 2008, p. 144)

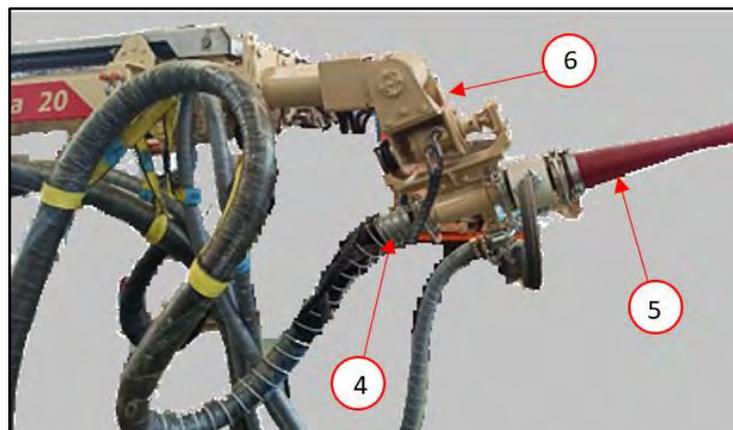
## Expulsión

Cuando el concreto termina su recorrido por la válvula S, continua su trayectoria por los tubos rígidos que son conformados por tres partes: codo reductor de 90° de 5" a 4" (1), codo de 75° de 4" (2) y el tubo reductor de 4" a 2 ½ "(3), como se muestra en la Figura N°18.



*Figura N° 18 Tubos rígidos de salida.*

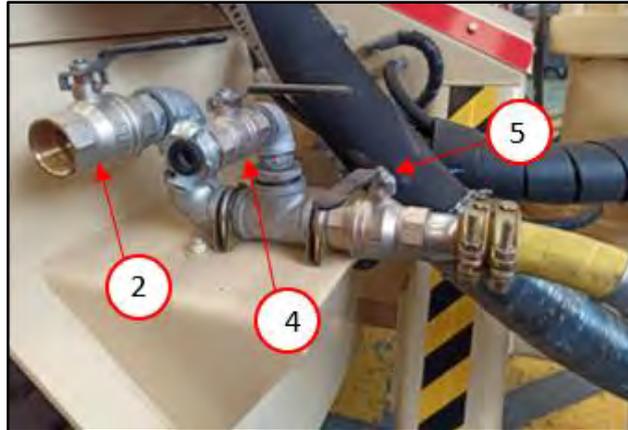
Finalmente, el concreto continua por el tramo de mangueras de 2 ½" (4), pasa por el brazo articulado (6) y llega hasta la tobera de salida (5), mostrado en la Figura N°19.



*Figura N° 19 Mangueras para transporte de concreto.*

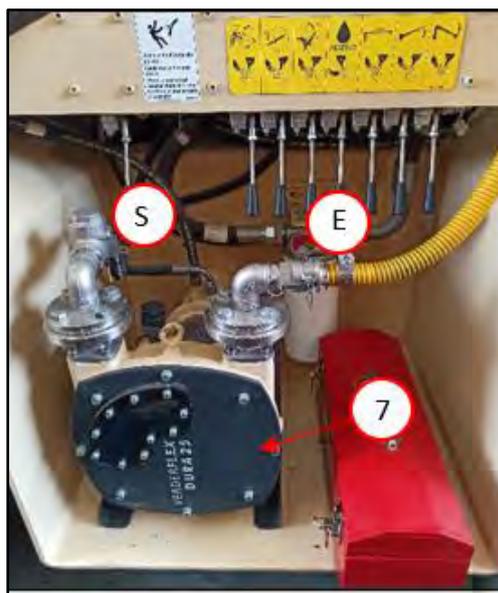
#### 2.2.4 Sistema de aditivo y aire – agua

El objetivo del sistema es mezclar el aditivo, aire y concreto en la tobera de salida. Para ello el aire es suministrado por un compresor externo, normalmente, instalado en la mina, solo lleva la válvula de conexión (2) y de seguridad (5), como se muestra en la Figura N°20.



*Figura N° 20 Entradas de aire y agua.*

Asimismo, el lanzador de concreto lleva al frente un tanque de aditivo de 350 L de capacidad, una bomba peristáltica (ítem 7-Figura N°21) impulsada por un motor hidráulico con una presión máxima de 7 bar y produce un caudal de 0.5-16 l/min.



*Figura N° 21 Bomba peristáltica.*

Finalmente, el aire externo, aditivo y concreto que es suministrado por la bomba de concreto explicada en el apartado 2.2.3 se juntan en la tobera de salida, mostrado en la Figura N°22.



Figura N° 22 Manguera de aditivo.

#### 2.2.4.1 Esquema simplificado

La Figura N°23 muestra el esquema simplificado del sistema aditivo y aire-agua. La conexión de agua externa (4) presente en el esquema cumple la función de limpieza en las líneas después de una operación.

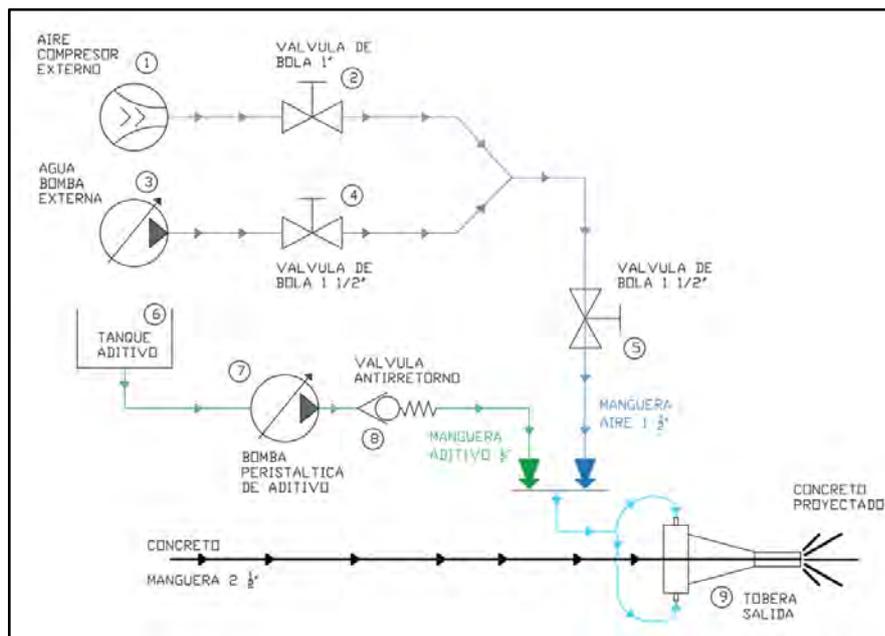


Figura N° 23 Esquema sistema Aditivo - Aire – Agua.

### 2.2.5 Sistemas de implementos hidráulicos

La función principal del sistema de implementos es el accionamiento hidráulico del brazo articulado. El objetivo del movimiento es posicionar la tobera de salida para lanzar concreto en el área requerida, como muestra la Figura N°24.



Figura N° 24 Lanzador operando en una mina subterránea

En la Figura N°25 se muestra un esquema simplificado de los principales componentes que permiten el accionamiento del brazo. Al igual que el tren de potencia, el motor Diesel está acoplado a una segunda bomba hidráulica, el caudal generado es dirigido a través de mangueras hidráulicas hacia las válvulas actuadoras. Finalmente, el usuario tiene la opción de accionar cualquiera de las palancas que representa un movimiento del brazo articulado, ubicado en la parte frontal del lanzador. El caudal continuará su recorrido hacia los actuadores hidráulicos que se especifican en el siguiente apartado 2.2.5.1

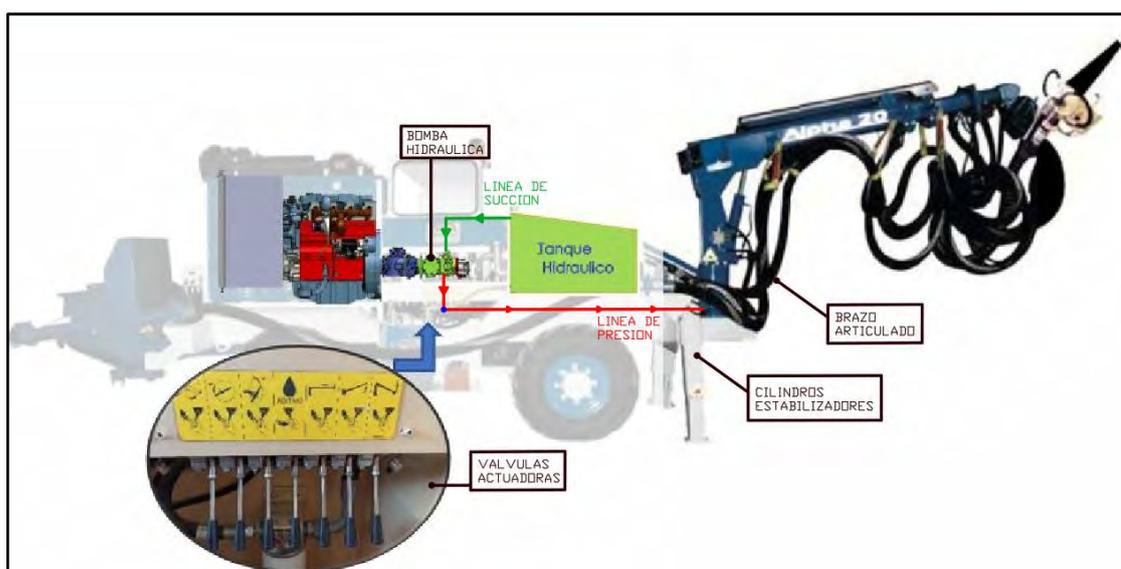


Figura N° 25 Esquema simplificado accionamiento brazo articulado.

### 2.2.5.1 Movimientos del brazo articulado

El brazo articulado puede realizar (06) movimientos principales a través de los actuadores hidráulicos mostrados en la Figura N°26.

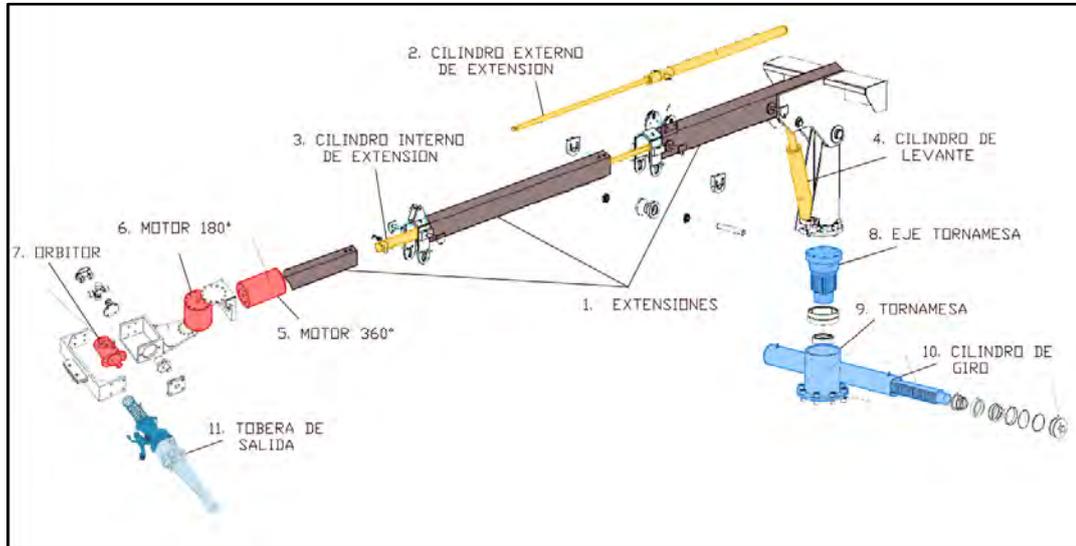


Figura N° 26 Actuadores hidráulicos en el brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, n.d., p. 36)

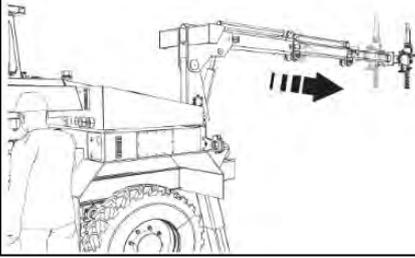
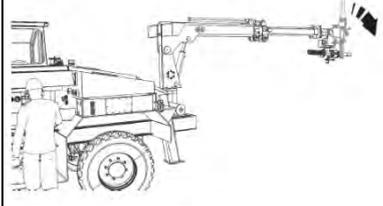
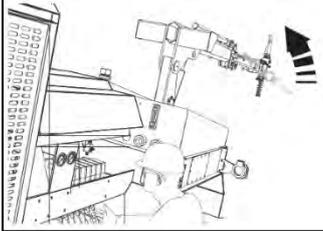
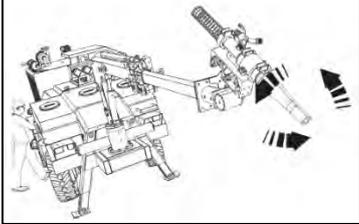
Los movimientos del brazo articulado son detallados en la Tabla N°4.

Tabla 4 Movimientos del brazo articulado

	<p><b>Ascender y descender el brazo articulado (ver Figura N°27)</b></p> <p>El movimiento es realizado por el cilindro de levante (ítem 4 – Figura N°26) que conecta la torre de brazo y la primera extensión de brazo.</p>
	<p><b>Rotar el brazo en sentido antihorario (ver Figura N°28)</b></p> <p>Movimiento realizado por el conjunto cilindro hidráulico de giro – tornamesa – eje de tornamesa (ítem 10,9,8 – Figura N°26).</p>

Figura N° 27 Movimiento ascendente y descendente (SEMMCO, 2008)

Figura N° 28 Movimiento de rotación (SEMMCO, 2008)

 <p><i>Figura N° 29 Movimiento de extensión brazo articulado (SEMMCO, 2008)</i></p>	<p><b>Extensión del brazo articulado (ver Figura N°29)</b></p> <p>Movimiento realizado por el cilindro externo (ítem 2 – Figura N°25) que une el 1° y 2° extensión de brazo, además del cilindro interno (ítem 3 – Figura N°26) que une la 2° y 3° extensión. Con ambos cilindros hidráulicos se obtiene la máxima longitud del brazo articulado.</p>
 <p><i>Figura N° 30 Movimiento de cabezal longitudinal (SEMMCO, 2008)</i></p>	<p><b>Giro del cabezal proyector en el plano longitudinal (ver Figura N°30)</b></p> <p>Movimiento realizado por el motor hidráulico de 180° de giro (ítem 6 – Figura N°26)</p>
 <p><i>Figura N° 31 Movimiento de cabezal rotacional (SEMMCO, 2008)</i></p>	<p><b>Rotación del cabezal proyector (ver Figura N°31)</b></p> <p>Movimiento realizado por el motor hidráulico de 360° de giro (ítem 5 – Figura N°26)</p>
 <p><i>Figura N° 32 Movimiento giro excéntrico (SEMMCO, 2008)</i></p>	<p><b>Giro excéntrico (ver Figura N°32)</b></p> <p>Movimiento realizado por el orbitador (ítem 7 – Figura N°26)</p>

### 2.2.5.2 Esquema hidráulico

El equipo tiene instalado una bomba de pistones axiales de desplazamiento variable SAUER JRR de 45 centímetros cúbicos (cc) con una presión de trabajo máxima y carga, de 190 y 20 bar, respectivamente. En la Figura N°33 se muestra el esquema hidráulico de la bomba. La señal hidráulica Load Sensing (LS) es tomada de la línea de

mayor presión en cualquiera de los actuadores del brazo articulado (Figura N°34), con ello se consigue la regulación del caudal necesario.

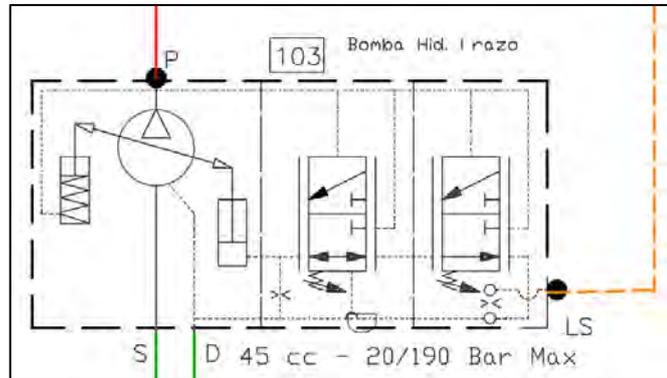


Figura N° 33 Bomba hidráulica de brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

Por otro lado, el caudal de la bomba es dirigido a través de mangueras hidráulicas al bloque de comando hidráulico (ítem 112 - Figura N°34), cuya válvula de alivio interior está regulada para una presión máxima de 230 bar. Además, todas las válvulas actuadoras son válvulas de distribución marca Danfoss modelo PVG 32 conectadas en paralelo. El orbitor (118) gira hasta 60 RPM y las válvulas de contrabalance (113) en los cilindros de levante y giro, están como medida de protección para sostener una carga externa o propio peso del brazo articulado.

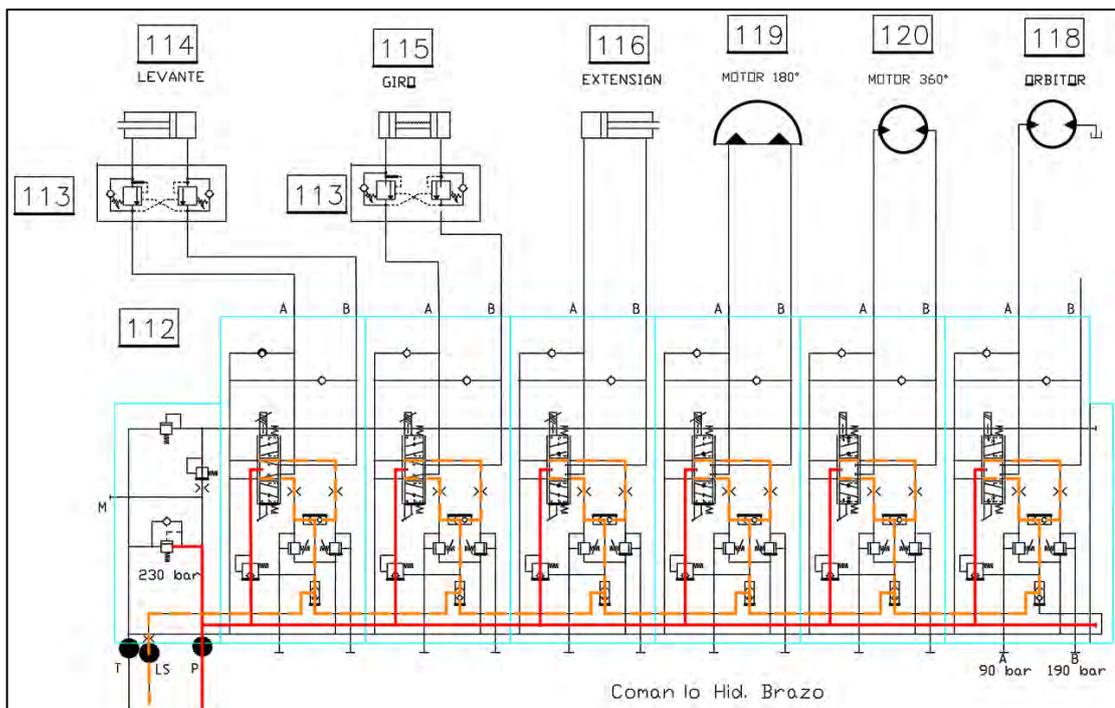


Figura N° 34 Esquema hidráulico actuadores de brazo articulado. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

### 2.2.5.3 Cilindros Estabilizadores

Son cilindros hidráulicos que funcionan como puntos de apoyo al suelo para otorgar estabilidad al equipo cuando se encuentra detenido y el brazo articulado se extiende hacia el área de trabajo.

### 2.2.5.4 Partes de los pistones estabilizadores

Como se observó en la Figura N°25 se ubican en la parte frontal del lanzador. Asimismo, su accionamiento hidráulico es por palancas en la cabina del operador, como se muestra en la Figura N°35.

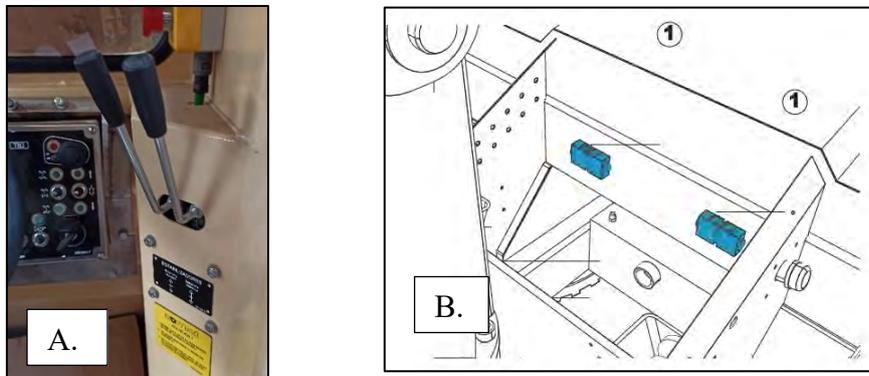


Figura N° 35 Componentes sistema de estabilizadores: A. Válvula de distribución B. Válvulas de retención (SEMMCO, 2008, p. 173)

### 2.2.5.5 Esquema hidráulico

El bloque comando (126) son válvulas de distribución 6/3 con accionamiento de palanca y centradas por los resortes. El bloque comando dirige el caudal hacia los cilindros estabilizadores (128) y como medida de protección en cada línea se cuenta con válvulas de retención pilotada (127), como se muestra en la Figura N°36.

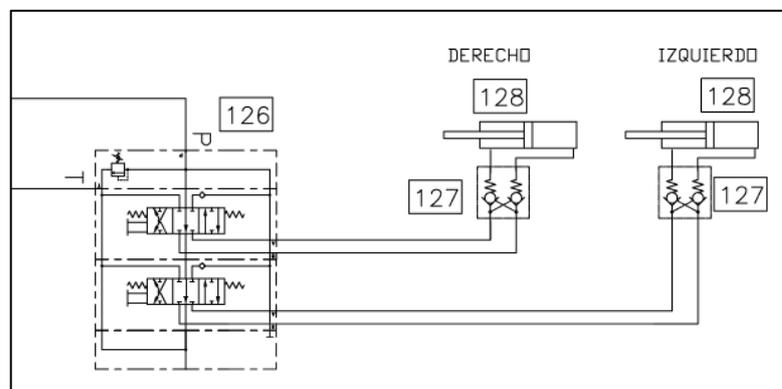


Figura N° 36 Esquema hidráulico de cilindros estabilizadores (SEMMCO, 2008, p. 118)

### 2.2.6 Sistema de dirección y freno

El sistema de dirección actúa sobre las cuatro ruedas por cilindros hidráulicos (item 1-Fig.38) para que el equipo pueda realizar una curva con el menor radio de giro (tipo cangrejo), como en la Figura N°37.



Figura N° 37 Dirección tipo "cangrejo"

El sistema de freno esta compuesto por frenos de servicio (3) que es multidisco en baño de aceite y pistones (4) en ambos diferenciales, y el freno de parqueo (2), el cual es un cilindro hidráulico ubicado en el diferencial delantero, según la Figura N°38.

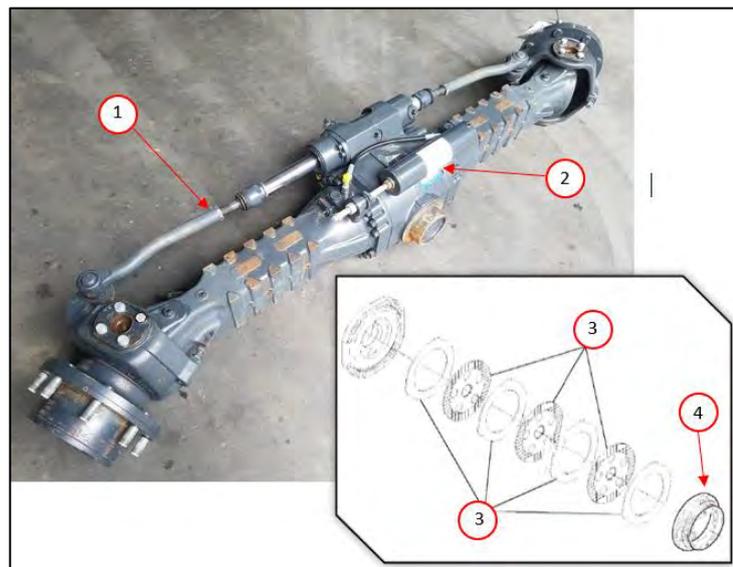


Figura N° 38 Partes del sistema de dirección y freno. (Mascus, n.d.)

### 2.2.6.1 Esquema hidráulico

Para el freno de servicio el caudal de bomba de brazo articulado de la Figura N°25 se dirige hacia la válvula prioritaria de la válvula de freno y carga (121-Fig.39), luego es redirigido hacia los pistones que juntan los discos de freno a una presión de 60 bar. Además, el acumulador de freno (122 -Fig.39) trabaja a 50 bar.

El freno de parqueo utiliza el caudal de la bomba de traslación de la Figura N°12, una electroválvula 3/2 y el cilindro de freno de parqueo (Figura N°39)

El sistema de dirección utiliza el caudal de la bomba de brazo articulado (Figura N°25), pasa por la válvula prioritaria y el orbitrol de dirección (123-Fig.39), además de la válvula de distribución 4/3 (124 -Fig.39) y los cilindros ubicados en los dos diferenciales.

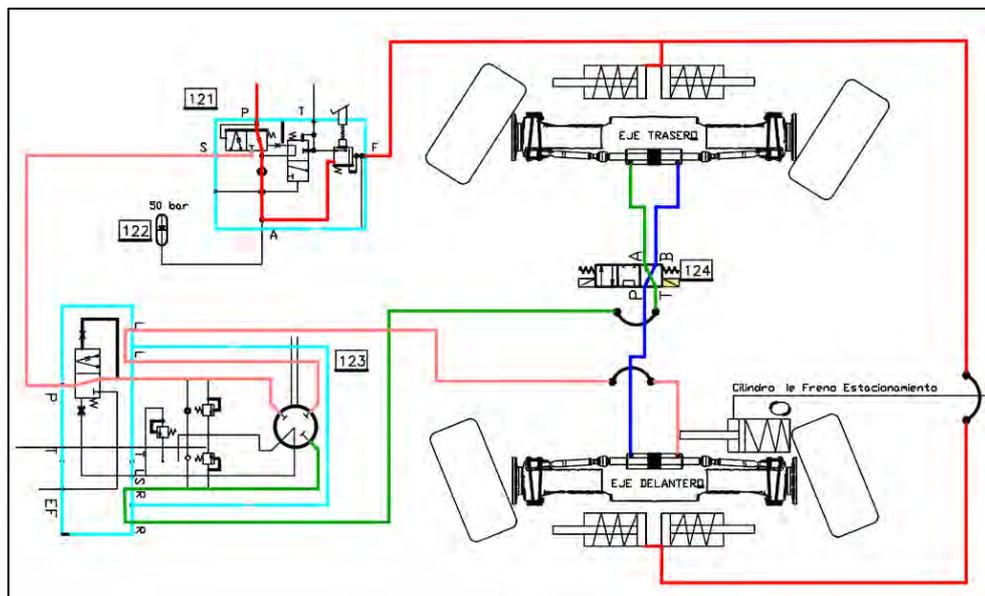


Figura N° 39 Esquema hidráulico de dirección "cangrejo" y frenos. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DEL SISTEMA HIDRAULICO DE LANZADO DE CONCRETO

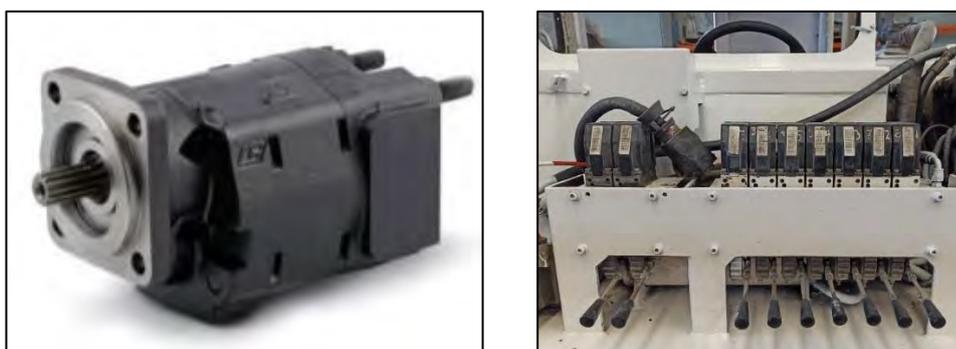
Con la descripción realizada de los principales sistemas presentes en el lanzador de concreto. En este capítulo 3 se hace énfasis al sistema hidráulico del sistema de lanzado de concreto. El objetivo es desarrollar a profundidad el funcionamiento y los componentes hidráulicos involucrados en el rendimiento del equipo.

#### **3.1 Funcionamiento de los componentes hidráulicos**

Los componentes principales son la bomba hidráulica, válvula de distribución y actuadores hidráulicos.

##### **3.1.1 Válvula de distribución**

Como se mencionó en el apartado 2.2.3 el sistema funciona con una bomba hidráulica de engranajes Parker PGP 330, el caudal es dirigido a la válvula de distribución Danfoss PVG 32 con accionamiento por palanca, como se muestra en la Figura N°40.



*Figura N° 40 A. Bomba de engranajes. (Parker, 2020) B. Válvulas de distribución PVG 32*

El sistema hidráulico de lanzado de concreto tiene dos modos de funcionamiento: Bombeo y Rebombeo. El funcionamiento en modo “bombeo” permite la expulsión del concreto de la tolva hacia la tobera de salida. En modo “rebombeo” los cilindros de bombeo funcionan en reversa, esta función es para la limpieza de los conductos de salida.

### 3.1.1.1 Válvula distribución: En reposo

Los principales componentes internos en la PVG 32 son los siguientes:

- a. Electro-válvula de distribución 5/3 proporcional con accionamiento de palanca
- b. Válvula limitadora de presión
- c. Válvulas check

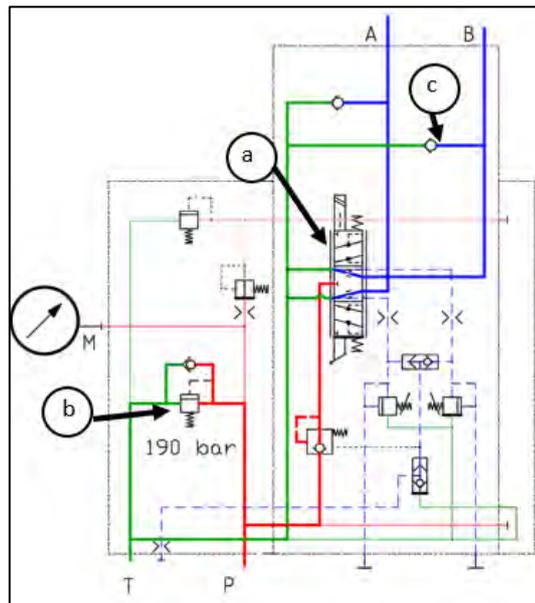


Figura N° 41 Esquema hidráulico de válvula PVG 32. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

En modo “Reposo” (Figura N°41) la válvula de distribución (a.) se mantiene en su posición central, debido a que no está activado el solenoide o palanca manual. Sus resortes de posicionamiento hacen que se centre con las conexiones de presión A e B conectadas al tanque. Además, la línea de presión P es bloqueada y retorna al tanque cuando se alcanza la presión de 190 bar, a través de la válvula limitadora (b.). Las válvulas check de succión (c.) presentes en las líneas A y B sirven para llenar de aceite las líneas y evitar la cavitación.

### 3.1.1.2 Válvula de distribución: Modo bombeo

Al accionar el “switch” en el control remoto o la palanca de la misma válvula se activa el solenoide en la válvula de distribución 5/3. El cambio de posición comunica la línea de presión P con la línea A, a su vez, el tanque con la línea B, mostrado en la Figura N°42.

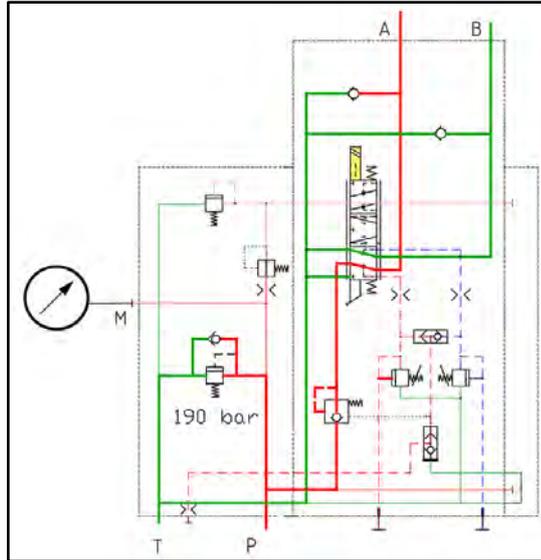
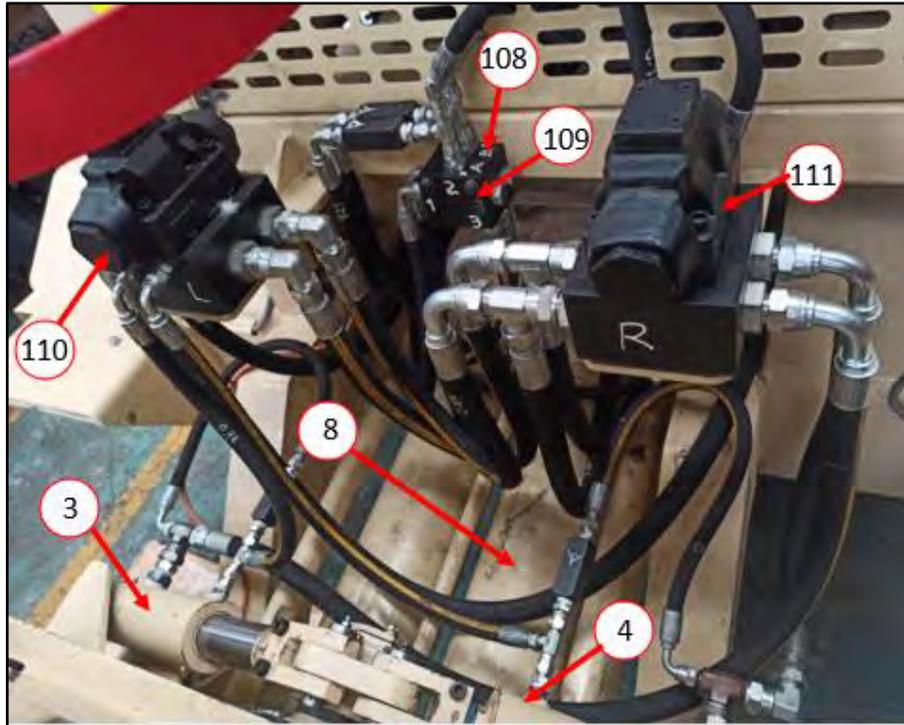


Figura N° 42 Válvula PVG en modo bombeo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

### 3.1.2 Actuadores hidráulicos

En la Figura N°43 se muestra el esquema de accionamiento en donde se encuentra los siguientes componentes:

- Válvula de distribución 4/2 pilotada hidráulicamente (110) - (111)
- Cilindros de transporte de concreto (8)
- Válvulas lógicas (108) - (109)
- Cilindros de selección derecho (3)
- Cilindros de selección izquierdo (4)
- Cilindros de bombeo derecho (item 5 -Fig N°15)
- Cilindros de bombeo izquierdo (item 6 -Fig N°15)



*Figura N° 43 Actuadores hidráulicos del sistema de bombeo*

### **3.1.2.1 Actuadores: Modo bombeo**

- **Posición intermedia**

Por un lado, el caudal de bomba viene por la línea A cruza la válvula de distribución (110), en su posición mostrada en la Figura N°44. Cuando ingresa al cilindro de bombeo derecho (5) retrae su vástago, debido a la conexión en común de los cilindros, el movimiento de retracción permite la extensión del vástago del cilindro de bombeo izquierdo (6). Durante la retracción del cilindro (6), la línea 1 hacia la válvula lógica (109) eleva su presión debido a que se mantiene cerrada. La válvula lógica (109) pilotada hidráulicamente no conmuta de posición porque la diferencia de presiones en la línea 1 y 3 no vence la fuerza del resorte.

Por otro lado, el mismo caudal de bomba cruza la válvula de distribución (111) en la posición mostrada en la Figura N°44. Cuando ingresa al cilindro de selección derecho (3) permite la extensión de su vástago, y al estar conectados físicamente ambos vástagos por sus extremos, ocurre el movimiento de retracción en el cilindro (4).

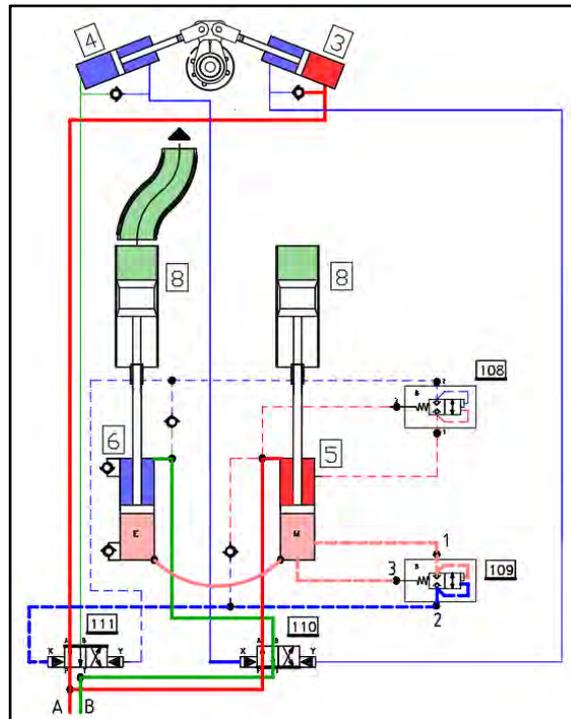


Figura N° 44 Posición intermedia. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

- **Extensión del cilindro de bombeo izquierdo (6)**

Cuando el cilindro de bombeo derecho (5) se retrae completamente, la diferencia de presiones entre la línea 1 y 3 en la válvula de control (109) es mayor al resorte, se genera la conmutación de posición y el caudal es dirigido al pilotaje hidráulico de la válvula de distribución (111) que mantiene su posición mostrada en la Figura N°45.

Por otro lado, la extensión completa del cilindro de selección derecho (3) genera dos señales hidráulicas piloto que se dirigen a la válvula de distribución (110). La diferencia de presión generada (en amarillo) hace que conmute de posición, como se muestra en la Figura N°46

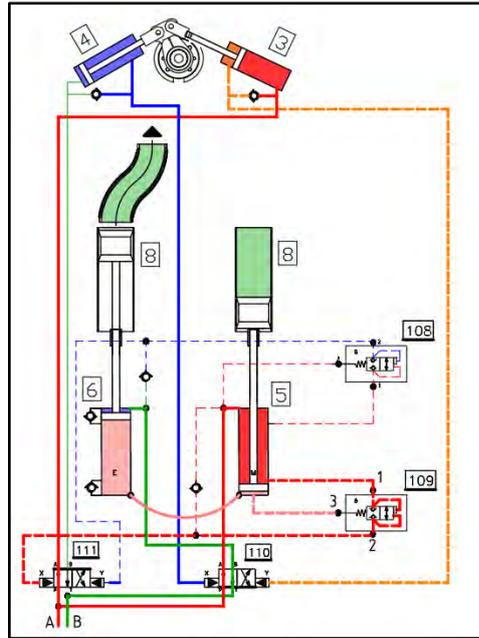


Figura N° 45 Extensión de cilindro de bombeo izquierdo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

- **Extensión del cilindro de bombeo derecho (5)**

Con la válvula de distribución (110) conmutada, el caudal de bomba retrae el vástago del cilindro de bombeo izquierdo (6) y, a la vez, extiende el cilindro (5) por la línea en común. La extensión completa del cilindro (5) genera una diferencia de presión entre la línea 1 y 3 en la válvula de control (108), la cual conmuta y dirige el caudal al piloto de la válvula de distribución (111) para conmutar, como muestra la Figura N°46.

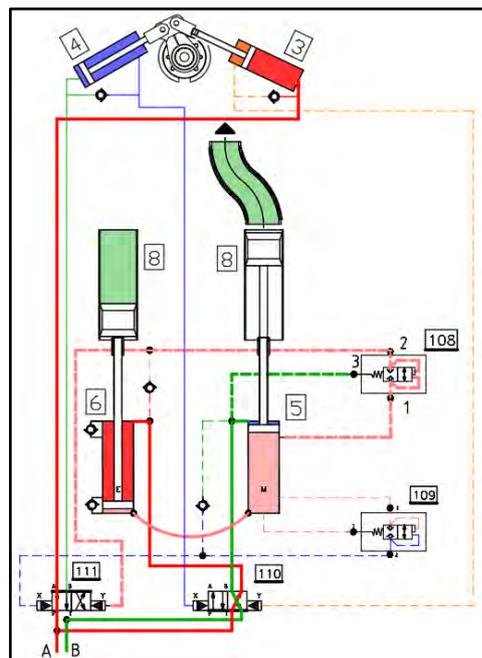


Figura N° 46 Extensión de cilindro de bombeo derecho. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

- **Repetición del ciclo de trabajo**

Con la válvula (111) conmutada, el caudal de bomba es redireccionado hacia el cilindro de selección izquierdo (4), su extensión completa genera las señales hidráulicas pilotos que se dirigen hacia la válvula de distribución (110), como muestra la Figura N°47

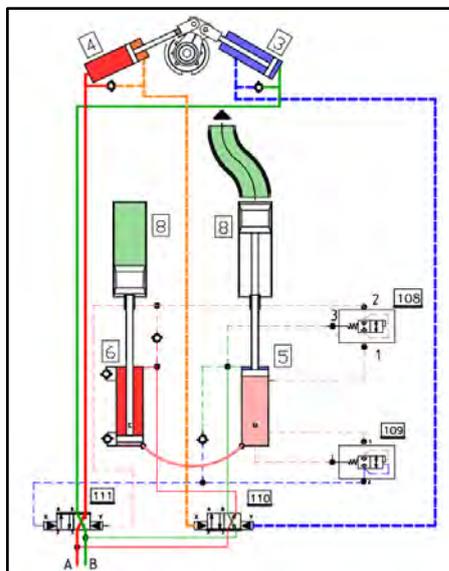


Figura N° 47 Conmutación de válvula 111. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

La diferencia de presiones en la válvula de distribución (110) permite el cambio de posición. El caudal de bomba es redireccionado nuevamente al cilindro (5) para la repetición del ciclo de trabajo, como se muestra en la Figura N°48.

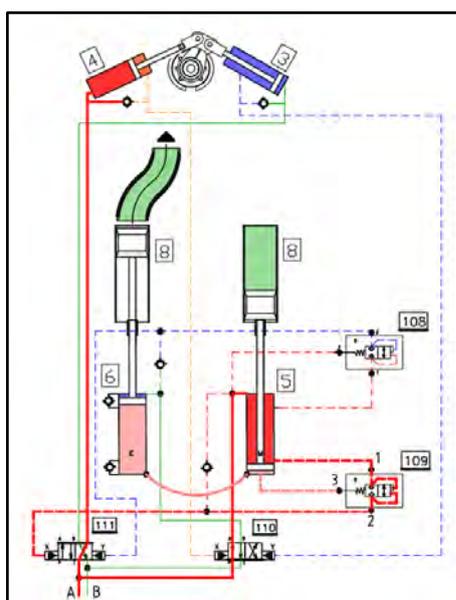


Figura N° 48 Repetición del ciclo. Adaptado de (SEMMCO, 2008, p. 118)

## 3.2 Otros modelos

En este apartado se evalúa los esquemas hidráulicos de otros modelos de lanzadores de concreto revisados en el estado de arte. A continuación, se explicarán de la marca italiana CIFA y alemana PUTZMEISTER.

### 3.2.1 Lanzador CIFA CST 8.20

Independiente al motor Diesel el lanzado CIFA utiliza un motor eléctrico de 30 kW a 1500 RPM constante, acoplada a una bomba hidráulica de desplazamiento variable Rexroth A11VO60 con una presión máxima de 250 bar para accionar los cilindros de bombeo (Figura N°49). A su vez, está acoplado al mismo motor eléctrico una bomba de engranajes de 12 cc para el movimiento de los cilindros de selección, y una válvula reguladora indirecta seteada a 150 bar. El solenoide proporcional (S) en el interior de la bomba permite el control del caudal, y por ende la cantidad de emboladas.

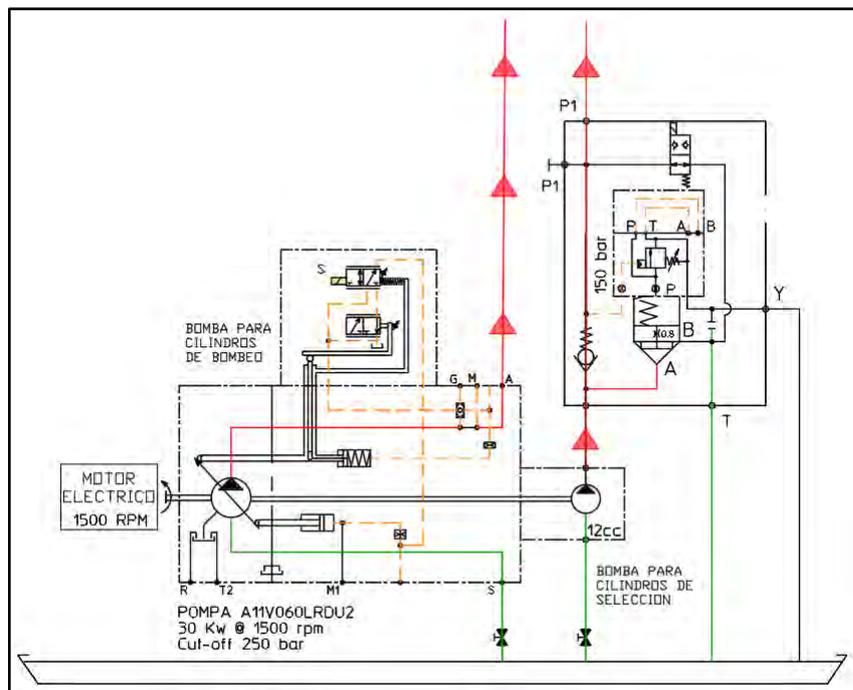


Figura N° 49 Esquema bomba para lanzado de concreto CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2011)

A diferencia del sistema de bombeo mencionado en el apartado 3.1.2, el lanzador CIFA utiliza un acumulador (a 70 bar) previo al ingreso de los cilindros de selección que son pistones del tipo doble accionamiento (Figura N°50).

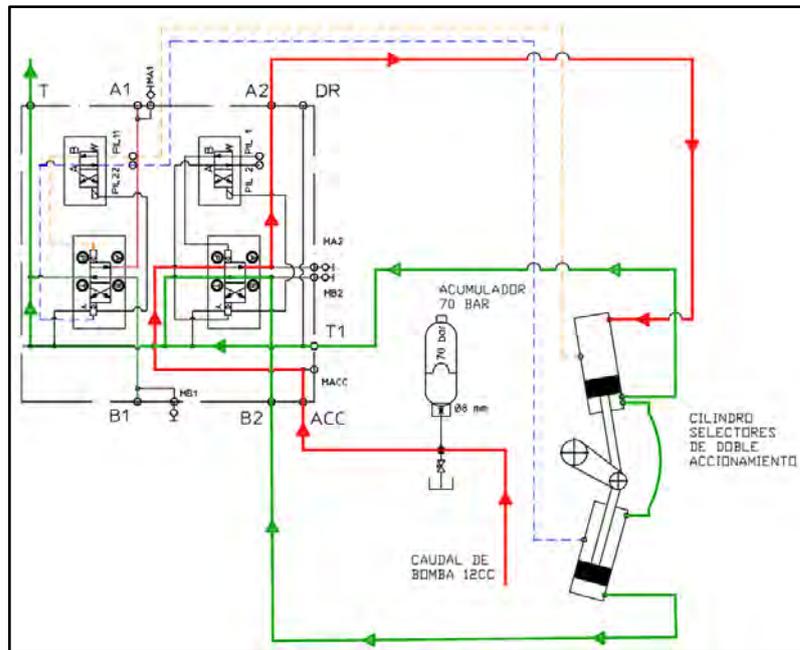


Figura N° 50 Esquema cilindros de selección CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2011)

La disponibilidad del lanzador CIFA en 5 meses de operación llegó a ser de 94.67% con la configuración de cilindros de selección mostrada en la Figura N°51 no hubo reporte de fallas.

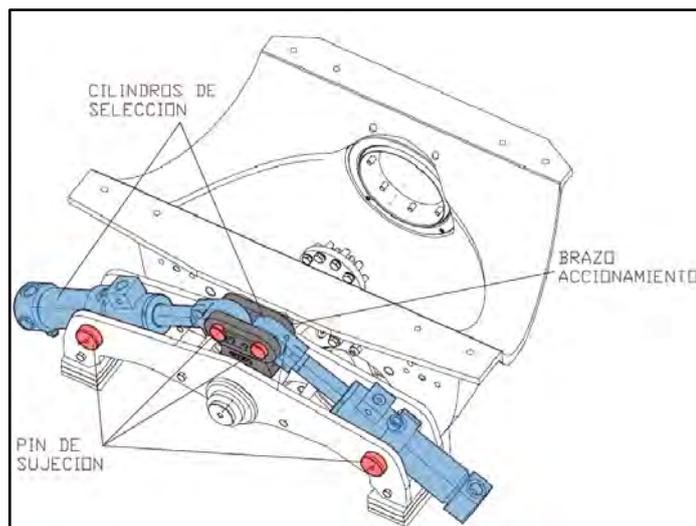


Figura N° 51 Sujeción cilindros de selección CIFA. Adaptado de (CIFA S.p.A, 2015, p. 44)

### 3.2.2 Lanzador Putzmeister SPM 4210

El lanzador Putzmeister es dual, por ello trabaja tanto con el motor diesel DEUTZ BF4L914 de 74.9 kW o un motor eléctrico de 37 kW. En el caso de funcionar con el motor eléctrico se accionan todos los sistemas menos el sistema de tren de potencia.

Acoplada al motor Diesel está la bomba hidráulica de desplazamiento variable Rexroth A10V45 para accionar tanto los cilindros de bombeo como los cilindros de selección del sistema de lanzamiento de concreto. Para el caso del funcionamiento con motor eléctrico está acoplado la bomba hidráulica de desplazamiento variable Rexroth A10V71 (Figura N°52).

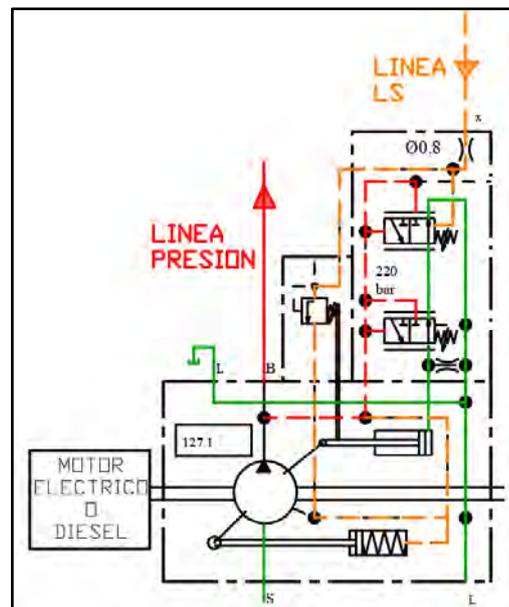


Figura N° 52 Esquema bomba para lanzamiento de concreto. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 19)

En el esquema de la bomba de concreto se tiene una válvula proporcional (Figura N°53) para el control de caudal y por ende el número de emboladas. Asimismo, el flujo pasa a través de una válvula distribuidora 4/2 para su bombeo y rebombeo. El funcionamiento de la bomba de concreto es similar al lanzador en estudio.

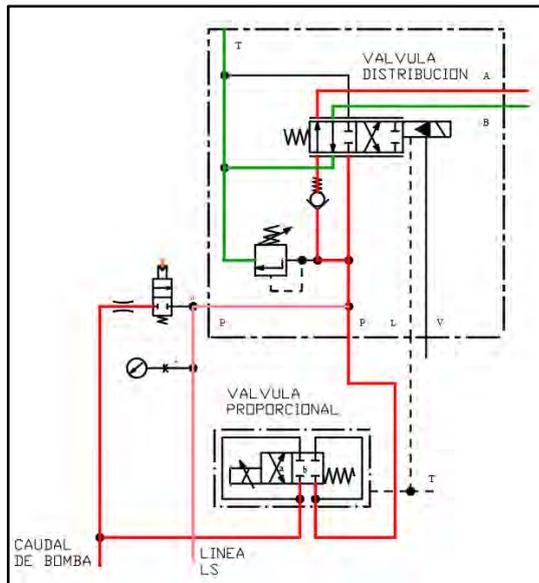


Figura N° 53 Esquema válvulas control y distribución de caudal. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 21)

En el caso del lanzador Putzmeister la configuración de sujeción por rotulas en ambos extremos de los cilindros selectores es mostrado en la Figura N°54. Durante el trabajo del equipo no se presentó reporte de fallas en los cilindros.

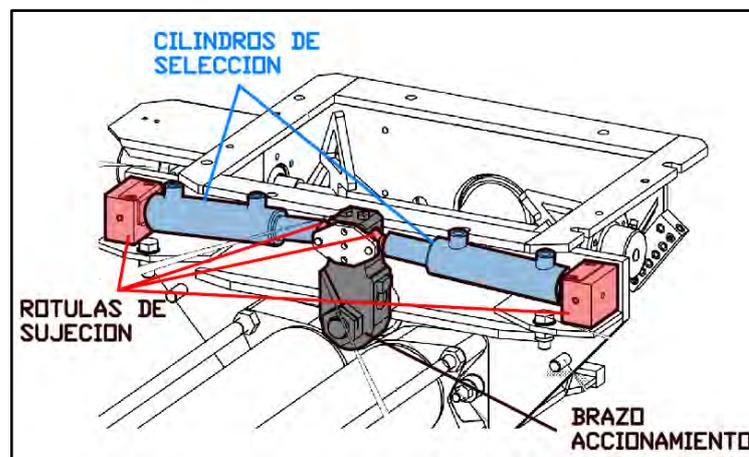


Figura N° 54 Sujeción por rotulas. Adaptado de (Putzmeister Ibérica S.A, 2016, p. 285)

### 3.3 Aspecto operacional del sistema hidráulico de lanzado de concreto

En este apartado se presenta los datos técnicos de los diferentes modelos de lanzadores en el mercado y los cálculos para obtener las curvas de operación.

#### 3.3.1 Datos técnicos

En la Tabla N°5 se disponen las especificaciones técnicas del lanzador en estudio, de la marca CIFA y Putzmeister con respecto a los componentes presentes en el sistema hidráulico de lanzado para cada uno de los equipos.

*Tabla 5 Especificaciones técnicas.*

N°	PARÁMETROS	UND	Normet	CIFA	Putz
1	Revoluciones bomba	RPM	2400	1500	1500
2	Tubo S - Presión de cambio	Bar	190	250	220
3	Tubo S - diámetro	mm	De 152 a 127	De 200 a 127	De 150 a 114
4	Cilindro Selec. - diámetro	mm	50.8	60-40	40
5	Cilindro Selec. - carrera (en operación)	mm	128	181	160
6	Cilindro bombeo – diámetro	mm	90	100	80
7	Cilindro bombeo – vástago	mm	50.8	60	45
8	Cilindro bombeo – carrera	mm	760	600	700
9	Tubo de transporte concreto - diámetro	mm	152	200	150
10	Tubo de transporte concreto - carrera	mm	760	600	700
15	Capacidad tolva	L	200	220	250
19	Rendimiento teórico	m <sup>3</sup> /h	18	20	20
20	Numero de emboladas	l/min	22	16	27
21	Presión máxima del concreto	Bar	50	55	65

### 3.3.2 Cálculo del caudal de operación y número de emboladas

Los valores de rendimiento teórico o caudal de concreto (en m<sup>3</sup>/h) y número de emboladas definidas por el fabricante se puede calcular teóricamente, utilizando las siguientes expresiones en la Tabla N°6.

Tabla 6 Valores de entrada.

DATOS DE ENTRADA	SIMB	UND
Volumen desplazado de bomba	$V_{BOMBA}$	m <sup>3</sup>
Revoluciones del motor Diesel	RPM	rev/s
Diámetro - cilindro de bombeo	$\phi_{CIL}$	m
Vástago - cilindro de bombeo	$\phi_{VAS}$	m
Carrera - cilindro de bombeo	$L_B$	m
Diámetro -Tubo transporte de concreto	$\phi_{Tubo}$	m
Carrera- Tubo transporte de concreto	$L_T$	m

El análisis inicia con el cálculo del caudal de la bomba hidráulica instalada para el sistema de lanzado de concreto, con la siguiente expresión.

$$Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = V_{BOMBA} \times RPM \times n$$

Con el valor de caudal en m<sup>3</sup>/s obtenido se procede a calcular el área anular de uno de los cilindros de bombeo durante su carrera de extensión. Por otro lado, el área total durante la carrera de retracción.

$$A_{Anular}(m^2) = \frac{\pi \times (\phi_{CIL}^2 - \phi_{VAS}^2)}{4} ; A_{Total}(m^2) = \frac{\pi \times \phi_{CIL}^2}{4}$$

Luego se calcula la velocidad del cilindro de bombeo en el movimiento de extensión y retracción.

$$v_{Ext}\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{Q}{A_{Anular}} ; v_{Ret}\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{Q}{A_{Total}}$$

Con el valor de entrada de la carrera del cilindro de bombeo, las velocidades de extensión y retracción, se procede a calcular el tiempo que le demora realizar un ciclo de retracción y extensión a un cilindro de bombeo.

$$T_{Total}(s) = \frac{L_B}{v_{Ext}} + \frac{L_B}{v_{Ret}}$$

Con el tiempo por ciclo (en s) de un cilindro de bombeo, se puede obtener el número de ciclos o emboladas por minuto para los 2 cilindros instalados. Este valor de emboladas es uno de los principales para diferenciar el trabajo de los lanzadores de concreto.

$$Emboladas \left( \frac{1}{\text{min}} \right) = \frac{60 \text{ s}}{T_{Total}(s)} \times \# \text{Cilindros bombeo}$$

Para obtener el caudal de operación de concreto se procede a calcular el área de tubo de transporte de concreto.

$$A_{Tubo}(m^2) = \frac{\pi \times \phi_{Tubo}^2}{4}$$

Finalmente,

$$caudal \left( \frac{m^3}{h} \right) = A_{Tubo} \times L_T \times Emboladas \times \left[ \frac{60 \text{ min}}{h} \right]$$

### **Caudal de operación**

En el anexo N°1 se encuentran los cálculos realizados para obtener la Grafica N°1. Las líneas en color azul, naranja y gris representan los modelos Putzmeister, CIFA y Normet, respectivamente. En el eje X se muestran los valores mínimos de velocidad de motor (830 RPM) hasta los máximos de 1500 RPM y 2400 RPM, y en el eje Y se observan los valores de caudales de operación.

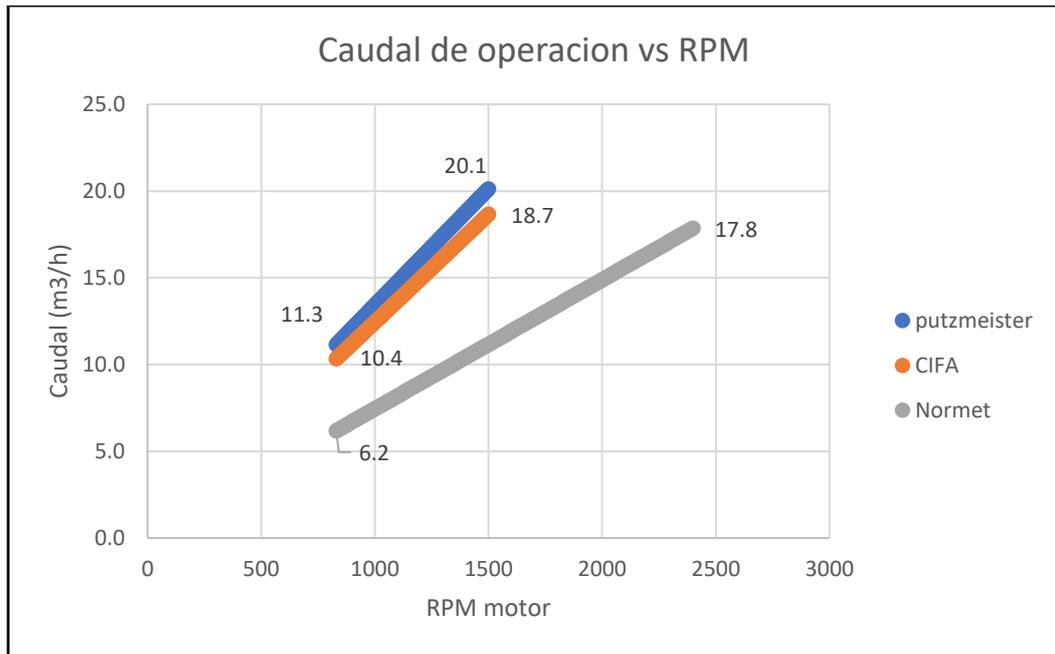


Gráfico N° 1 Caudal de operación vs revoluciones del motor.

### Emboladas por minuto

Se refiere al número de veces que los cilindros de bombeo completan un ciclo de extensión y retracción para que el concreto sea expulsado hacia la entrada de la válvula S. Lo valores calculados teóricamente se muestran en el Grafico N°2.

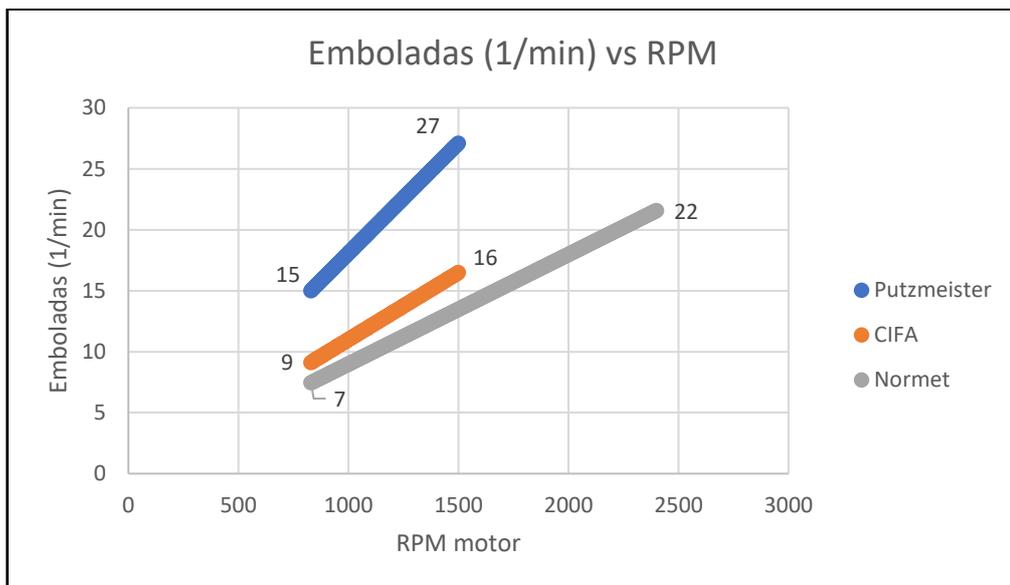


Gráfico N° 2 Emboladas por minuto vs revoluciones del motor.

### Caudal vs emboladas por minuto

En el Grafico N°3 el eje Y muestra los valores de caudal de operación ( $m^3/h$ ) obtenido teóricamente y el eje X presenta el número de emboladas por cada equipo. Se observa que el lanzador Putzmeister al tener cilindros de menor diámetros su frecuencia en las emboladas debe ser mayor para compensar el valor final de caudal de operación.

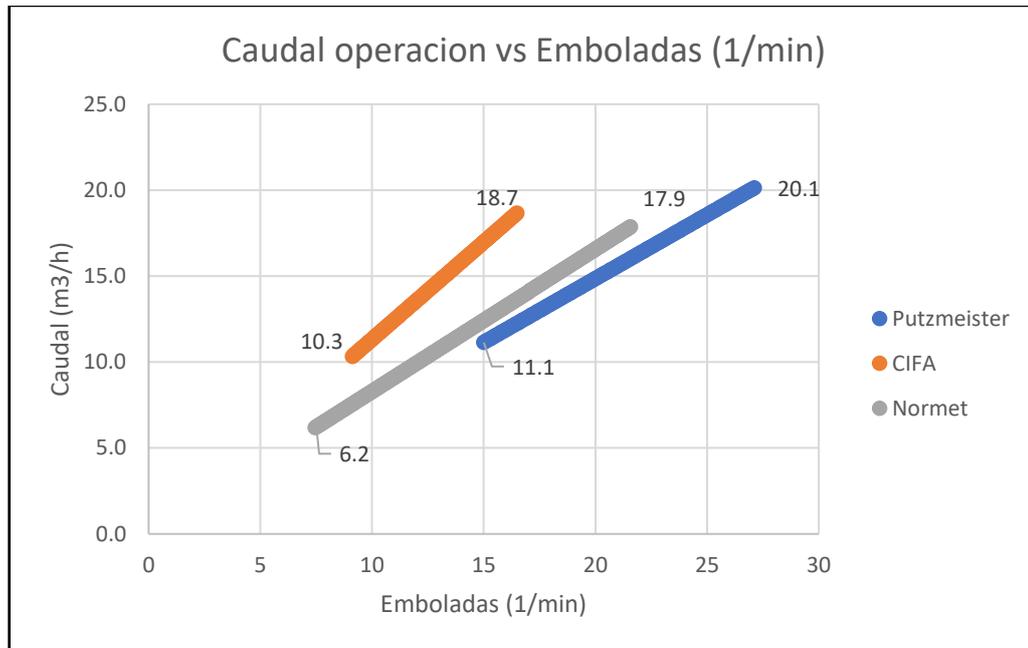


Gráfico N° 3 Caudal de operación vs emboladas por minuto.

## CAPÍTULO 4

### **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO CATERPILLAR PARA SOLUCIONAR LA FALLA EN EL SISTEMA HIDRÁULICO DEL LANZADO DE CONCRETO**

En este capítulo 4 se aborda a detalle la problemática sobre la regulación del sistema hidráulico de lanzado de concreto Normet, por medio de la metodología de diagnóstico, para ello se definirá en primer lugar la disponibilidad mecánica utilizada en la empresa Robocon SA.

#### **Disponibilidad mecánica (%)**

La disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación. En un periodo de tiempo, se calcula al dividir el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas (Zegarra, 2016).

$$DM (\%) = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{hrs trabajadas} + \text{hrs en reparación}}$$

En la Figura N°55 se muestra los valores de disponibilidad mecánica promedio por mes durante el año 2016, el equipo evaluado es el lanzador Normet para la UM Argentum -CIA Pan American Silver. El “benchmark” del lanzador de concreto para cumplir con las operaciones de mina es de 85% (Ticlavilca Rauz, 2016).

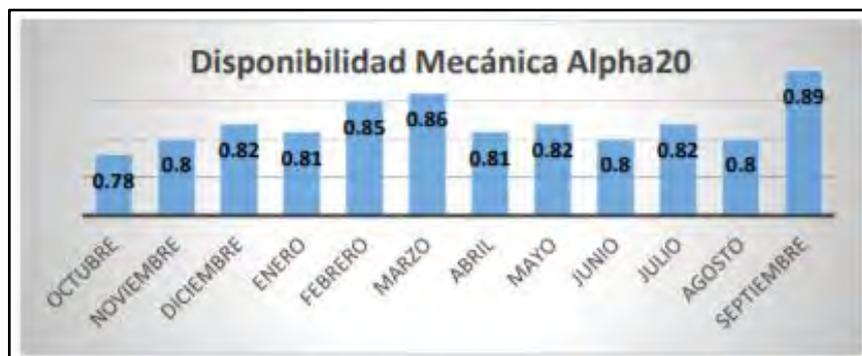


Figura N° 55 Disponibilidad mecánica del lanzador Normet durante el año 2016 (Ticlavilca Rauz, 2016)

#### **4.1 Reclamación del cliente**

En este caso el cliente es el área de operaciones de la misma empresa Robocon SA, esta área reporta de forma continua que precisa de un tiempo excesivo en regular el sistema hidráulico de bombeo en el lanzador de concreto de la marca Normet modelo Alpha 20, si este proceso se omite durante el turno el equipo opera lentamente y, por ende, hay presencia de flujo mínimo de concreto a la salida de la tobera.

La reclamación del cliente proviene de las unidades mineras ubicadas en la provincia de Yauli y Cerro de Pasco, en los departamentos de Junín y Pasco, respectivamente. Los lanzadores de concreto operan a una altitud entre los 4000 a 4900 m.s.n.m.

La razón principal por la cual el cliente se contacta con el área de mantenimiento se debe a que la presencia de regulación constante en el sistema hidráulico de bombeo afecta la disponibilidad mecánica del equipo. La disponibilidad mecánica en los lanzadores Normet varía entre 80 a 90%, como se mostró en la Figura N°55. Como se mencionó en el apartado de justificación y planteamiento del problema en el capítulo 1, los eventos asociados a la regulación y cambio de componente en el sistema hidráulico de bombeo generan al mes aproximadamente 21 horas de inoperatividad en el equipo Normet. Con 450 horas programadas al mes, cuando no hay presencia de estos eventos (generalmente durante el primer mes de una reparación en Lima) la disponibilidad alcanza el 90%. Sin embargo, durante los meses siguientes esta diferencia de 21 horas representa 4.6% de reducción en la disponibilidad total mensual, con lo cual se obtienen valores fluctuantes de 85% hacia abajo debido a otros factores. Por ese motivo esta problemática debe eliminarse en su totalidad.

## 4.2 Realizar una inspección visual

Durante el funcionamiento del lanzador de concreto se debe prestar atención a los siguientes puntos:

- Si presenta una disminución en la velocidad de extensión y retracción en los vástagos de los cilindros de bombeo, y a su vez, el flujo de concreto disminuye a la salida de la tobera de expulsión.
- Durante las operaciones de lanzado el motor siempre debe estar entre los 2200 a 2300 RPM (revoluciones máximas).
- Monitorear la cantidad de veces por minuto que oscila la Válvula S, debido a que esta sincronizada con el movimiento de los cilindros de bombeo y selección.
- Verificar los pines de sujeción del cilindro de selección si presenta un juego apreciable. Asegurar el engrase de los pines ya que para este modelo de lanzador el engrase es manual.
- Verificar el ajuste de la tuerca que asegura la posición de las horquillas en el brazo de accionamiento, así como la tuerca central del brazo de accionamiento que se desajustan durante la operación (Fig.56)
- El equipo no posee luces indicadoras en el tablero de alguna advertencia mientras se presenta la falla, asimismo, es un problema intermitente que puede ocurrir después de un turno de 12 horas de trabajo. En ocasiones, todo el sistema hidráulico de lanzado se detiene completamente.



*Figura N° 56 Posición de tuerca central de brazo accionamiento.*

### 4.3 Confirmación de la falla

En este apartado se menciona los reportes de mantenimiento provenientes del cliente operaciones en donde muestra la falla recurrente, además del estado en el cual los componentes retornan al taller Lima para su reparación.

- En los reportes de mantenimiento enviado por las diferentes unidades mineras en donde operan los equipos se describe esta falla como “regulación de bombeo”, en la Figura N°57 se muestra dichos reportes. Además, la falla se presenta en equipos desde las 600 horas hasta las 12 300 horas después de reparaciones parciales.

Modelo	MES	SEM	HI	HF	ESTADO	DESCRIPCION
ALPHA 20	JULIO	24	16169.0	16177.0	OPERATIVO	SE CAMBIA MANGUERA DE ACTUADOR DE 180° Y 360°. SE REGULA BOMBEO.
ALPHA 20	JULIO	24	8823.0	8829.0	OPERATIVO	SE CAMBIA VALVULA DE 1" DE AIRE Y SE REGULA BOMBEO.
ALPHA 20	JULIO	24	12195.0	12198.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO, SE CORRIGE FOCO DE PELIGRO ROTO
ALPHA 20	JULIO	24	6169.0	6178.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO / SE REALIZA MANTENIMIENTO A CONTROL HE TRONIC
ALPHA 20	JULIO	24	8867.0	8863.0	OPERATIVO	SE CAMBIA FUERTE DE LUGAR DE TRASLADO, SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	20	12208.0	12208.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO, ENGRASE GENERAL
ALPHA 20	JULIO	24	8871.0	8878.0	OPERATIVO	SE REALIZA LIMPIEZA DE LINEA DE ADITIVO; SE REGULA BOMBEO; SE AGREGA 6 GLN DE HIDRAULICO
ALPHA 20	JULIO	24	12216.0	12221.0	OPERATIVO	SE CAMBIA PERNO DE CRUCETA DE ORBITOR SE AGREGA 1/2 GLN DE REFRIGERANTE; SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	4512.0	4516.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO; SE SOPLETEA FILTRO DE AIRE
ALPHA 20	JULIO	24	16221.0	16230.0	OPERATIVO	SE AUMENTA 20 GLN DE ACEITE HIDRAULICO; SE REGULA BOMBEO, SE COLOCA PARRILLA Y VIBRADOR
ALPHA 20	JULIO	24	663.0	669.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	8902.0	8907.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO; SE CAMBIA CINTURON DE SEGURIDAD
ALPHA 20	JULIO	24	7418.0	7429.0	OPERATIVO	SE COLOCA CONTROL HE TRONIC; SE CAMBIA MANGUERA DE AIRE; SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	7429.0	7433.0	OPERATIVO	(1:00 - 2:00) SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	8958.0	8962.0	OPERATIVO	(9:00 - 9:50) SE AGREGA 10 GLN DE ACEITE HIDRAULICO; SE CAMBIO MANGUERA N° 06 X 3.5 MTS (360°); SE COLOCA ESLINGA; SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	7448.0	7456.0	OPERATIVO	11:30 A 12:00 SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	7456.0	7459.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	7479.0	7479.0	CON OBSERVACIONES	OBSERVADO POR SEGURIDAD POR NO CONTAR CON SISTEMA ANSUL
ALPHA 20	JULIO	24	6307.0	6314.0	OPERATIVO	SE COLCOA MANTA IGNIFUGA; SE REvisa MANGUERAS; SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	12383.0	12389.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	6323.0	6326.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO
ALPHA 20	JULIO	24	6323.0	6326.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO; SE ENGRASA EQUIPO
ALPHA 20	JULIO	24	4670.0	4678.0	OPERATIVO	SE REGULA BOMBEO; SE AGREGA 1/2 GLN DE REFRIGERANTE; SE REGULA ADITIVO PVG

Figura N° 57 Reportes de mantenimiento. Empresa Rocobon S.A

- El conjunto de componentes presentes en los cilindros de selección se muestra en la Figura N°58.



Figura N° 58 Componentes del cilindro de selección.

Los cilindros de selección del lanzador de concreto Normet retornan al taller Lima con la falla ubicada en el cuello de la rosca de su vástago (Fig.59)



*Figura N° 59 Falla en vástago del cilindro de selección Lanzador Normet.*

- Además, las unidades mineras reportan fallas en las bocinas ubicadas en el brazo de accionamiento del sistema de lanzamiento de concreto, el material tiende a deformarse a medida que las horas de operación aumentan, como se muestra en la Figura N°60



*Figura N° 60 Desgaste en bocina de brazo de accionamiento.*

#### **4.4 Determinar las causas más probables**

En este paso se presenta la lista de posibles causas de la regulación constante en el sistema hidráulico de lanzamiento de concreto para el equipo estudiado. El listado está en orden de mayor a menor probabilidad.

- a. Fabricación defectuosa, se observó presencia de relleno de soldadura y posterior mecanizado para obtener los hilos del vástago en el cilindro de selección. Además de una reducción excesiva en la base de la rosca. (Figura N°61)
- b. Los vástagos sin fabricación defectuosa presentan desgaste en los hilos, debido al perfil de rosca seleccionado para las cargas sometidas. (Figura N°62)
- c. Presencia de juego excesivo durante el ensamble entre las roscas del vástago y horquilla. (Figura N°63)
- d. Desajuste de la tuerca de sujeción de la horquilla. (Figura N°64)
- e. El juego presente entre el conjunto bocina-pin en la horquilla. (Figura N°64)
- f. Falta de engrase en el conjunto pin-bocina del cilindro hidráulico selección.
- g. Irregularidades en el diámetro del agujero señal piloto en el vástago con respecto al original.
- h. Desajuste en la tuerca central del brazo de accionamiento. (Figura N°56)
- i. El ángulo de inclinación de los cilindros de selección como parte del diseño propio del equipo. A diferencia de otros modelos que no presentan estos problemas.
- j. El peso de la válvula S para los cojinetes ubicados en el brazo de accionamiento.
- k. La calidad del concreto con respecto a la densidad, el tamaño de los agregados que el equipo puede proyectar entre 8 a 16 mm.
- l. El “*golpeteo*” al trabajar con el caudal máximo, implica una velocidad de salida del vástago mayor con picos de esfuerzos mayores que si se regulara el caudal del sistema.



Figura N° 61 Rellenado con soldadura.

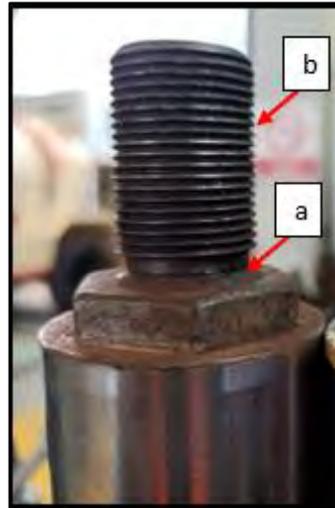


Figura N° 62 Rosca vástago cilindro selección.



Figura N° 63 Ajuste inadecuado.

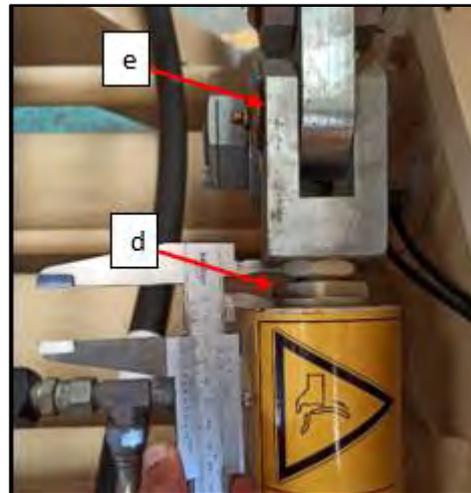


Figura N° 64 Cilindro de selección.

#### 4.5 Realizar evaluación con instrumentos

Se valida con asistencia de instrumentación los parámetros de funcionamiento del sistema hidráulico de lanzamiento de concreto, además se muestran las medidas actuales de algunos componentes en el conjunto cilindro de selección.

- a. Las medidas de ajuste entre los pines y bocinas del cilindro de selección. Los valores medidos fueron el diámetro exterior del pin de 19.91 mm (Fig.66) y 20.18 mm en el diámetro interior de la bocina (Fig.65), con lo cual se obtiene un ajuste de 0.26 mm (orden de las decimas) en el ensamblaje final de los componentes.



Figura N° 65 Medición de bocina.



Figura N° 66 Medición con micrómetro del pin.

- b. Planos de fabricación del vástago del cilindro de selección y horquillas no presentan tolerancias, por este motivo los ajustes holgados en algunos ensambles. No se indica redondeos en la base de la rosca del vástago y material de fabricación. (Fig N°67 – Fig N°68)

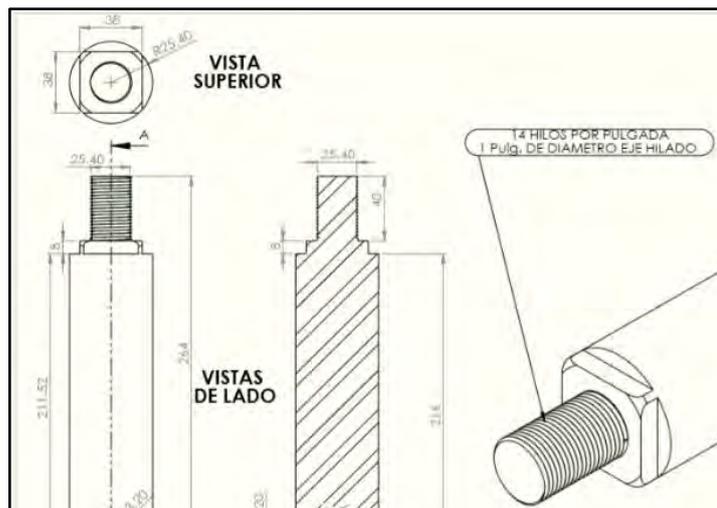


Figura N° 67 Plano de fabricación actual de vástago. Empresa Robocon S.A

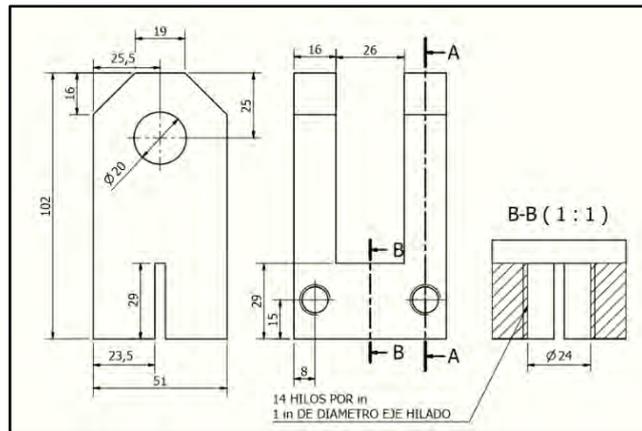


Figura N° 68 Plano de fabricación actual de Horquilla. Empresa Robocon S.A

- c. En el manual de operación del equipo Normet se establece una regulación cuyo valor es la distancia de  $128 \pm 1 \text{ mm}$  como extensión máxima del cilindro de selección (Figura N°69).



Figura N° 69 Distancia entre horquilla y cilindro según Manual de operación.

- d. La presión de trabajo máxima de hasta 190 bar, pero en operación tiene una variación entre 90 bar a 150 bar (Figura N°70).



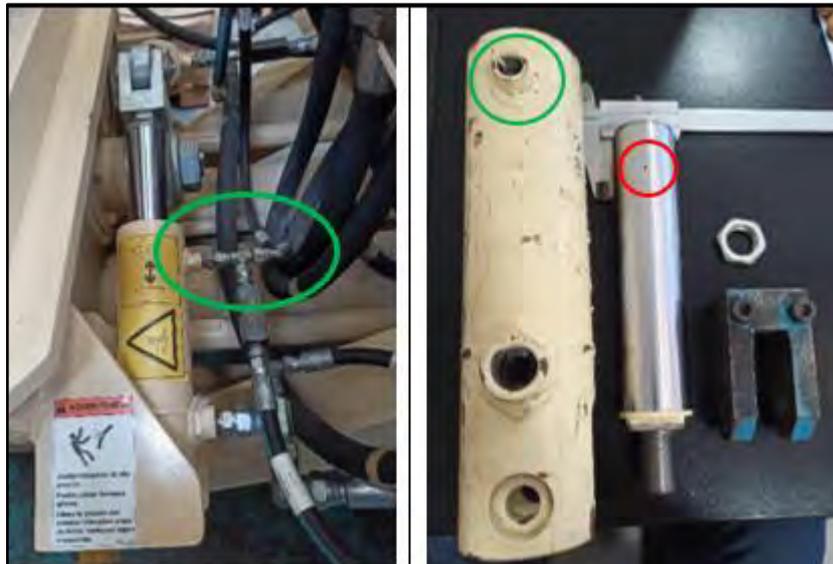
Figura N° 70 Manómetro de Presión de bombeo.

## 4.6 Localizar la falla

Para localizar la falla en la regulación constante de los cilindros de selección, se procedió a desarmar el conjunto, con ello se determinó que la “regulación de bombeo” en los reportes se debe a la interrupción de la señal hidráulica piloto hacia la válvula de distribución 110, esta se explica a más detalle en el siguiente apartado.

### 4.6.1 Interrupción de señal hidráulica piloto hacia válvula 110

En los vástagos del cilindro de selección se tiene un agujero de 1.5 mm, como se resalta en color rojo (Fig.Nº71) por medio del agujero la señal piloto de 100 bar, aproximadamente, realiza el cambio hacia la válvula de distribución 110 (color verde-Fig.Nº71). El listado presentado en el apartado de posibles causas son las razones por el cual se interrumpe la señal hidráulica.



*Figura Nº 71 Componentes de cilindro de selección.*

Durante la operación del equipo se genera un desplazamiento relativo entre el vástago y cilindro buzo hasta que la conexión de pilotaje hidráulico se obstaculiza o se interrumpe totalmente, como se muestra en la Figura Nº72. Además, de la imagen se observa que el cilindro de selección no es de doble efecto sin presencia de una tapa en su extremo, ya que su carrera está limitada por la carrera de su otro par.

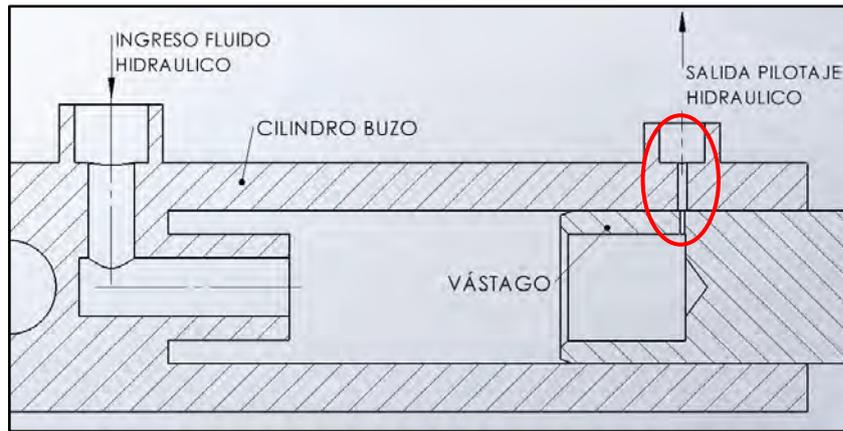


Figura N° 72 Detalle ensamble cilindro- vástago (sellos omitidos).

La causa más probable es la fabricación defectuosa o desgaste en los hilos en la rosca del vástago del cilindro de selección, en la Figura N°73 se muestra el acabado de una fabricación original y local. Además, la selección del tipo de rosca es debido a la contratuerca que sirve para la sujeción de la horquilla y así, evitar su desplazamiento axial, sin embargo, esta opción no está resultando ya que la desincronización es recurrente.



Figura N° 73 Comparacion de acabados entre fabricado (izquierda) y original (derecha).

Actualmente, el vástago del cilindro buzo se fabrica con una rosca 1-14 UNS no se especifica una tolerancia, por lo tanto, se asume una 2A (rosca externa) y 2B (rosca interna), como se observa en la Figura N°74.

Nominal Size and Threads/in.	Series Designation	Class	External [Note (1)]							Internal [Note (1)]							
			Allowance	Major Diameter		Pitch Diameter and Functional Diameter [Note (4)]		UNR Minor Diameter, Max. [Note (6)]	Pitch Diameter and Functional Diameter [Note (4)]			Major Diameter, Min.					
				Max.	Min.	Max.	Min.		Tolerance [Note (5)]	Class	Minor Diameter		Min.	Max.	Tolerance		
$\frac{15}{16} - 20$ or 0.9375 - 20	UNEF	2A	0.0014	0.9361	0.9280	...	0.9036	0.8991	0.004510	0.8766	2B	0.883	0.895	0.9050	0.9109	0.0059	0.9375
		3A	0.0000	0.9375	0.9294	...	0.9050	0.9016	0.003400	0.8780	3B	0.8830	0.8911	0.9050	0.9094	0.0044	0.9375
$\frac{15}{16} - 28$ or 0.9375 - 28	UN	2A	0.0012	0.9363	0.9298	...	0.9131	0.9092	0.003945	0.8938	2B	0.899	0.907	0.9143	0.9194	0.0051	0.9375
		3A	0.0000	0.9375	0.9310	...	0.9143	0.9113	0.003000	0.8950	3B	0.8990	0.9051	0.9143	0.9181	0.0038	0.9375
$\frac{15}{16} - 32$ or 0.9375 - 32	UN	2A	0.0011	0.9364	0.9304	...	0.9161	0.9123	0.003752	0.8992	2B	0.904	0.911	0.9172	0.9221	0.0049	0.9375
		3A	0.0000	0.9375	0.9315	...	0.9172	0.9144	0.002800	0.9003	3B	0.9040	0.9094	0.9172	0.9209	0.0037	0.9375
$1 - 8$ or 1.0000 - 8	UNC	1A	0.0020	0.9980	0.9755	...	0.9168	0.9067	0.010100	0.8492	1B	0.865	0.89	0.9188	0.9320	0.0132	1.0000
		2A	0.0020	0.9980	0.9830	0.9755	0.9168	0.9101	0.006750	0.8492	2B	0.865	0.890	0.9188	0.9276	0.0088	1.0000
		3A	0.0000	1.0000	0.9850	...	0.9188	0.9137	0.005100	0.8512	3B	0.8650	0.8797	0.9188	0.9254	0.0066	1.0000
$1 - 12$ or 1.0000 - 12	UNF	1A	0.0018	0.9982	0.9810	...	0.9441	0.9353	0.008800	0.8990	1B	0.91	0.928	0.9459	0.9573	0.0114	1.0000
		2A	0.0018	0.9982	0.9868	...	0.9441	0.9382	0.005862	0.8990	2B	0.910	0.928	0.9459	0.9535	0.0076	1.0000
		3A	0.0000	1.0000	0.9886	...	0.9459	0.9415	0.004400	0.9008	3B	0.9100	0.9198	0.9459	0.9516	0.0057	1.0000
$1 - 14$ or 1.0000 - 14	UNS (8)	2A	0.0016	0.9984	0.9881	...	0.9520	0.9467	0.005285	0.9133	2B	0.923	0.938	0.9536	0.9605	0.0069	1.0000
		3A	0.0000	1.0000	0.9897	...	0.9536	0.9496	0.004000	0.9149	3B	0.9230	0.9315	0.9536	0.9588	0.0052	1.0000
$1 - 16$ or 1.0000 - 16	UN	2A	0.0015	0.9985	0.9891	...	0.9579	0.9529	0.004987	0.9241	2B	0.932	0.946	0.9594	0.9659	0.0065	1.0000
		3A	0.0000	1.0000	0.9906	...	0.9594	0.9557	0.003700	0.9256	3B	0.9320	0.9409	0.9594	0.9643	0.0049	1.0000

Figura N° 74 Tabla de valores standard para rosca UN (AISI/ASME B1.1, 2003).

Según la norma (AISI/ASME B1.1, 2003) el paso se define de la siguiente manera:

$$\text{Paso } (P) = \frac{1}{\#hilos \times pulg} = \frac{25.4}{14} = 1.814$$

Las 4 dimensiones para definir la geometría del perfil triangular están en función del paso como en la Figura N°75 y sus valores se detallan en la Tabla N°7.

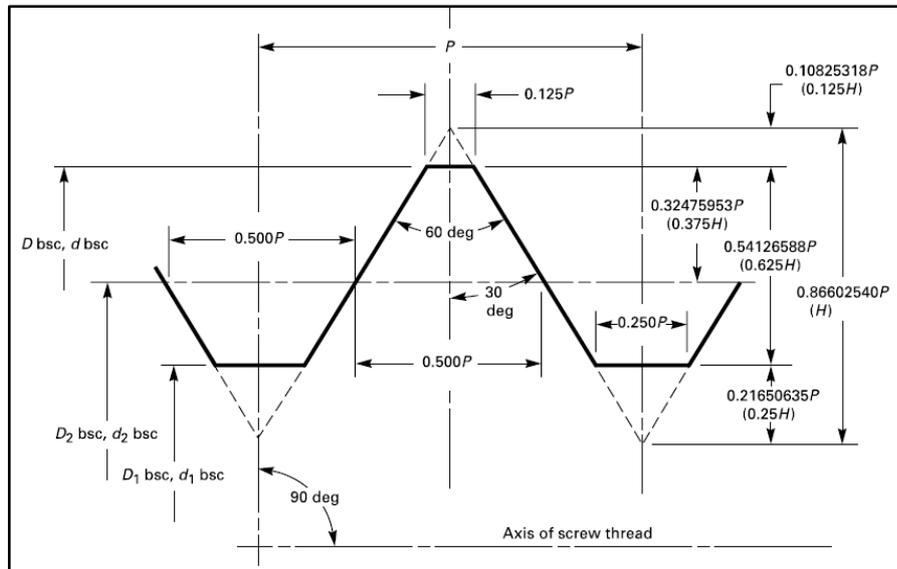


Figura N° 75 Gráfico con dimensiones principales de rosca UN (AISI/ASME B1.1, 2003)

Tabla 7 Valores de dimensiones de rosca 1-14 UNS.

DIMENSIONES	SIMB	FORMULA	VALORES (MM)
Altura triangulo generador	H	$H = 0.866 \times P$	$= 0.866 \times 1.814 = 1.57$
Altura de contacto	D	$D = 0.54126 \times P$	$= 0.54126 \times 1.814$ $= 0.982$
Base	f	$f = 0.250 \times P$	$= 0.250 \times 1.814 = 0.454$
Altura de la truncatura	-	0.125H	$= 0.125 \times 1.57 = 0.196$

Con las dimensiones calculadas del perfil triangular utilizado se procede a realizar un modelado 2D (Fig.76), a partir de este modelo en el siguiente apartado se compara con un perfil de rosca para alta resistencia.

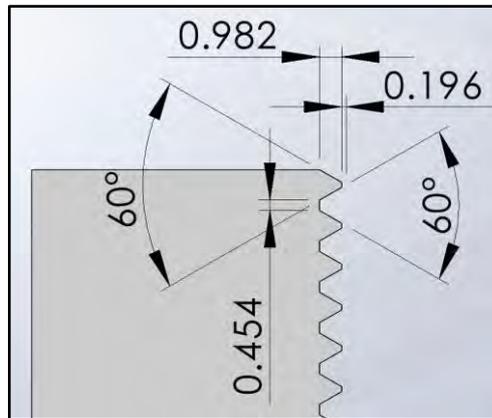


Figura N° 76 Perfil de rosca original.

Por otro lado, las dimensiones de diámetro roscado en el vástago son de 1" con una longitud de 40 mm y la parte roscada en la horquilla tiene una longitud de 29 mm y su diámetro dependerá del paso de la rosca seleccionado (Figura N°77).

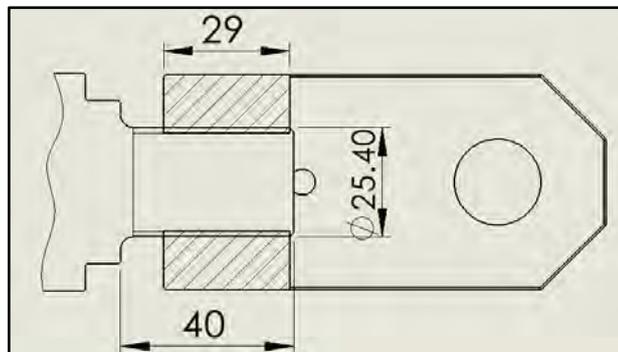


Figura N° 77 Conjunto Horquilla- Vástago.

## 4.7 Realizar los ajustes o reparaciones

En este apartado se desarrollan las modificaciones mecánicas identificadas en el apartado anterior para obtener una mayor disponibilidad operacional en el equipo lanzador de concreto. Estas observaciones se dividen en el desarrollo de la rosca ACME (tolerancias, tipo, material, acabados), el conjunto pin-bocina (tolerancias, dimensiones, material), la forma de sujeción axial (ranura de separación, ajuste de pernos) y la calavera (trancar la tuerca).

### 4.7.1 Rosca para alta resistencia ACME

Se propone utilizar perfiles de rosca para alta resistencia tipo ACME. A modo de sustentar la elección de un perfil de rosca con respecto a la original se opta por una simulación 2D realizada con el programa Solidworks 2020. Para obtener la verificación por resistencia de los dientes al trabajo sometido, primero se detalla la presión de trabajo 150 bar y el diámetro del vástago del cilindro de selección de 50.8 mm para, finalmente, encontrar el valor de la fuerza que los hilos de rosca soportan (Figura N°78)

$$F = P \times A$$

$$F = 15\,000\text{ kPa} \times \frac{\pi \times 0.0508^2}{4}\text{ m}^2 ; F = 30.38\text{ kN}$$

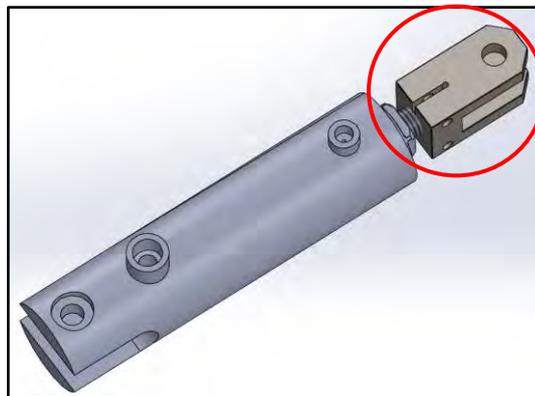


Figura N° 78 Ubicación del análisis del conjunto roscado

El paso para la rosca ACME se calcula de la misma forma a la rosca UN en el apartado anterior.

$$Paso (P) = \frac{1}{\#hilos \times pulg}$$

La Figura N°79 muestra el perfil ACME y sus dimensiones principales. Las expresiones mostradas en la Tabla N°8 se obtienen de la norma (AISI/ASME B1.5, 1997)

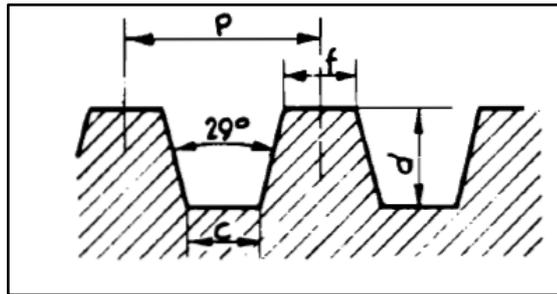


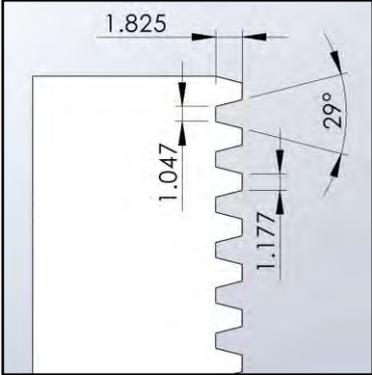
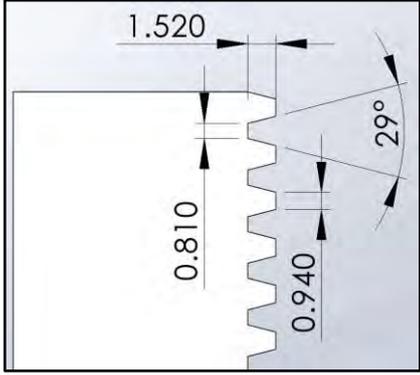
Figura N° 79 Perfil estándar de rosca ACME. (Casillas, 1980)

Tabla 8 Expresiones para perfil ACME.

DIMENSIONES	SIMB	FORMULA
Profundidad del filete	d	$d = 0.5 \times P + 0.01''$
Raíz	c	$c = 0.3707 \times P - 0.0052''$
Cresta	f	$f = 0.3707 \times P$
Ángulo	°	29°

Para la propuesta se seleccionan roscas comerciales para el diámetro de 1" (como se vio en la Fig. 77) una rosca 1-8 ACME 3G y la segunda opción 1-10 ACME 3G. Las dimensiones utilizadas de la Tabla N°8 para ambas opciones son mostradas en la Tabla N°9.

Tabla 9 Valores para rosca ACME 8 y 10 hilos.

ROSCA DE 8 HILOS	ROSCA DE 10 HILOS
$P: \text{paso} = \frac{25.4}{8} = 3.175$	$P: \text{paso} = \frac{25.4}{10} = 2.54$
$d = 0.5 \times 3.175 + 0.25 = 1.83 \text{ mm}$	$d = 0.5 \times 2.54 + 0.25 = 1.52 \text{ mm}$
$c = 0.3707 \times 3.175 - 0.13 = 1.05 \text{ mm}$	$c = 0.3707 \times 2.54 - 0.13 = 0.81 \text{ mm}$
$f = 0.3707 \times 3.175 = 1.18 \text{ mm}$	$f = 0.3707 \times 2.54 = 0.94 \text{ mm}$
	
Figura N° 80 Dimension de rosca 1-8 ACME.	Figura N° 81 Dimensiones de rosca 1-10 ACME.

Con las dimensiones del conjunto roscado y tipo de rosca definidos se procede a la verificación por resistencia, utilizando el programa Solidworks 2D Simulation. Se analizan los esfuerzos presentados en los 3 modelos de perfiles de rosca (Fig. 82) bajo la carga de 30.38 kN.

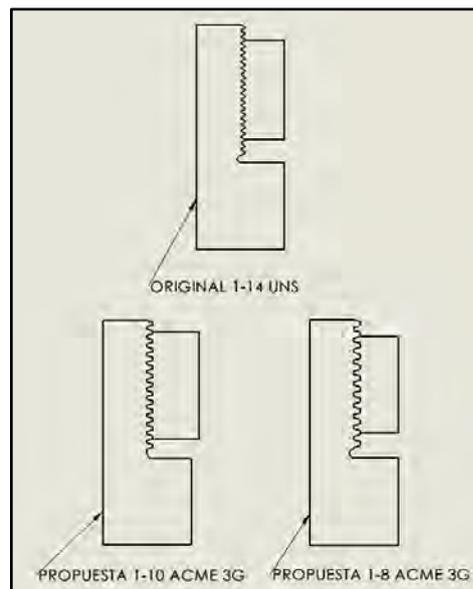


Figura N° 82 Perfil de rosca propuesto y original.

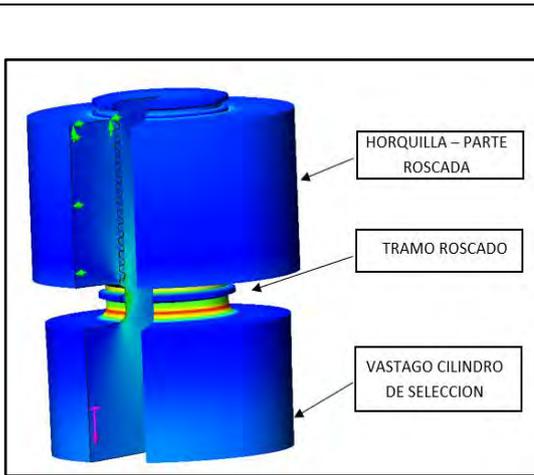


Figura N° 83 Esquema en 3D del conjunto roscado simulado.

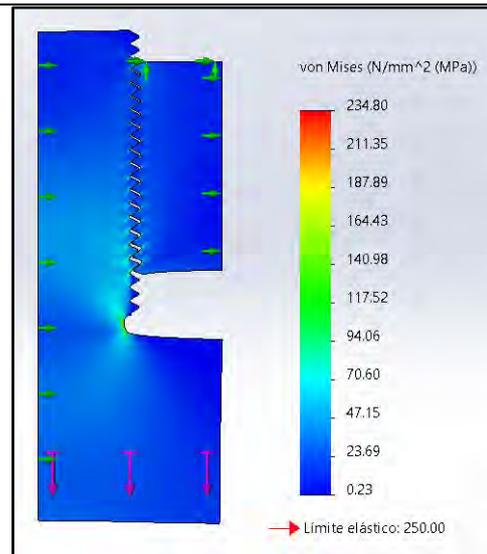


Figura N° 84 Esfuerzos presentes Rosca 1-14 UNS.

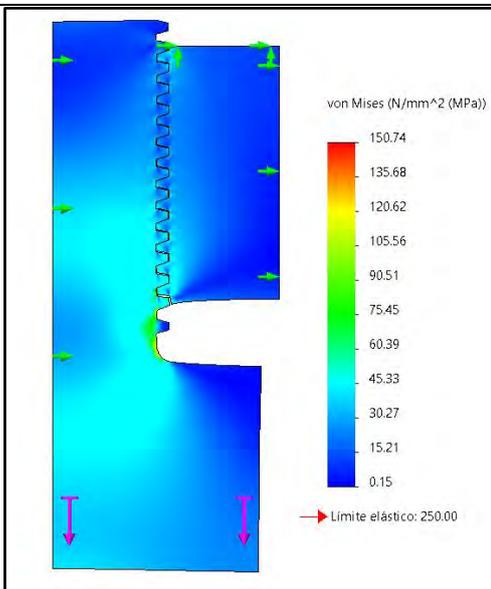


Figura N° 85 Esfuerzos presentes Rosca 1-10 ACME 3G.

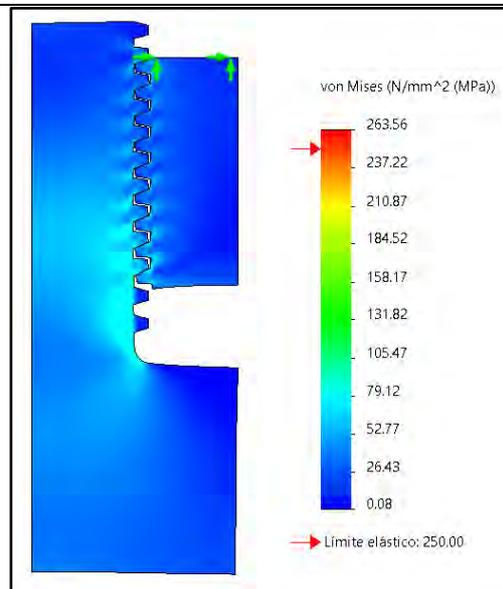


Figura N° 86 Esfuerzos presentes Rosca 1-8 ACME 3G.

Para finalizar el análisis se requiere conocer el material de fabricación para obtener los factores de seguridad presentes para cada opción. La rosca 1-14 UNS es fabricada con acero AISI 1045 y se compara con la propuesta de las roscas 1-8 ACME y 1-10 ACME con acero AISI 4140 (VCL). La tabla N°10 muestra las propiedades mecánicas de acero AISI 1045 y 4140, además del VCN ya que la horquilla con la rosca interna será de ese material, porque el acero 4140 (VCL) no se comercializa en barras cuadradas.

Tabla 10 Propiedades mecánicas de aceros para vástago.

PROPIEDADES	1045	VCN	VCL
Esfuerzo de fluencia (MPa)	370	885	715
Esfuerzo máximo (MPa)	670	1280	1130
Dureza (HB)	193	380	350

El resultado de la distribución de esfuerzos en las Fig N°84-86 muestra que la elección con una rosa ACME de 10 hilos por pulgadas es la opción adecuada para la operación y los factores de seguridad obtenidos se muestran en la Tabla N°11.

Tabla 11 Factores de seguridad para las roscas.

Tipos de rosca	Esfuerzo máximo (MPa)	Factor de seguridad		
		1045	VCN	VCL
Original	234	1.58	3.78	3.06
8 hilos	264	1.39	3.33	2.69
10 hilos	151	1.66	3.97	3.2

El cálculo de las tolerancias para la fabricación de la rosca 1-10 ACME 3G se basa de la norma (AISI/ASME B1.5, 1997) y se detalla en el anexo N°2. La tabla N°12 muestra los valores finales que se indican en los planos de fabricación.

Tabla 12 Valores de tolerancias para fabricación.

TOLERANCIAS	VALORES
En la horquilla	+0.005" o +0.127 mm
En el vástago	-0.005" o -0.127 mm

#### 4.7.2 Sujeción axial

En este apartado se describe la propuesta de sujeción de la horquilla en adición a la contratuerca para evitar el movimiento axial se incorpora una ranura y pernos allen M10 x 2.5 grado 10.9 con el fin de ajustar la horquilla a la rosca ACME, como se muestra en la Figura N°87.

La ranura tiene un espaciado de 3 mm y en su extremo una circunferencia de 3mm de diámetro para juntar ambas paredes, esto a medida que se ajustan los dos pernos. Por otro lado, el material utilizado para la fabricación de la horquilla es un acero AISI 4340 (VCN).

Los planos de fabricación con las tolerancias y medidas de la horquilla se encuentran en el anexo N°3.

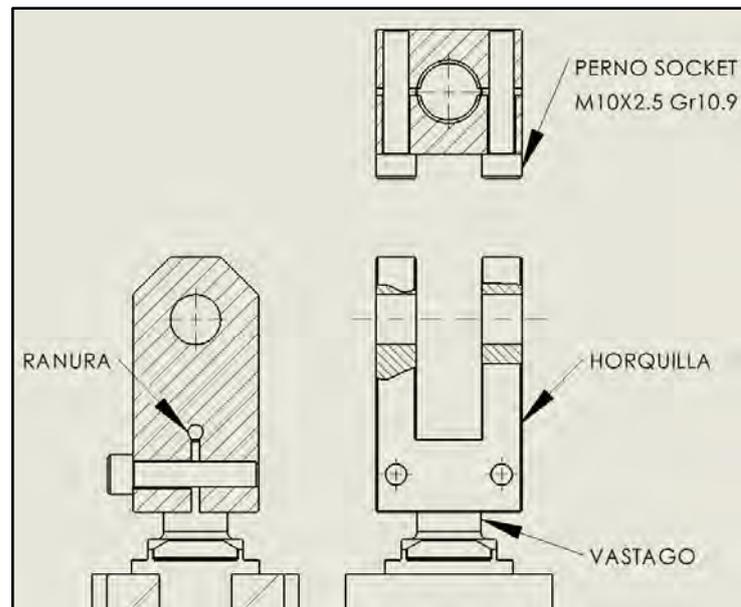


Figura N° 87 Conjunto roscado vastago-horquilla.

### 4.7.3 Conjunto pin - bocina

Para los pasadores de horquillas son estandarizados por la norma ISO 2341 que recomienda para un diámetro de 20 mm una tolerancia h11 que está en el rango de 0 a +0.13 mm. Sin embargo, como se registró en imágenes la tolerancia en decimas entre la bocina y el pin debe reducirse para evitar la existencia de luz excesiva durante el montaje de los componentes. La Figura N°88 muestra un esquema simplificado del cambio en las tolerancias. El anexo N°3 contiene los planos de fabricación de ambos componentes.

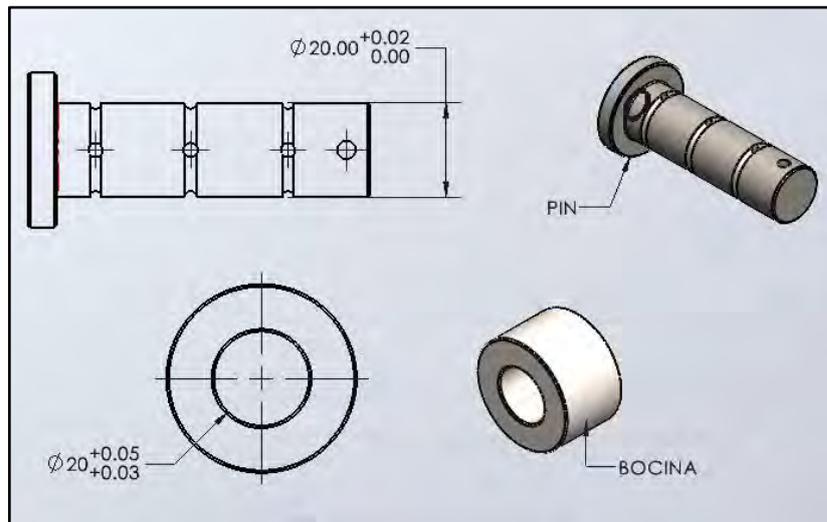


Figura N° 88 Tolerancias en el conjunto pin-bocina.

Para la evaluación de los esfuerzos presentes en la bocina se realiza una simulación con la fuerza calculada de 30.38 kN en un instante de tiempo (sin asumir carga estática normal de aplastamiento). El esfuerzo máximo se muestra en la Figura N°89, por lo tanto, el pin se mantiene con su fabricación acero AISI 1045 y bocina bronce SAE 68.

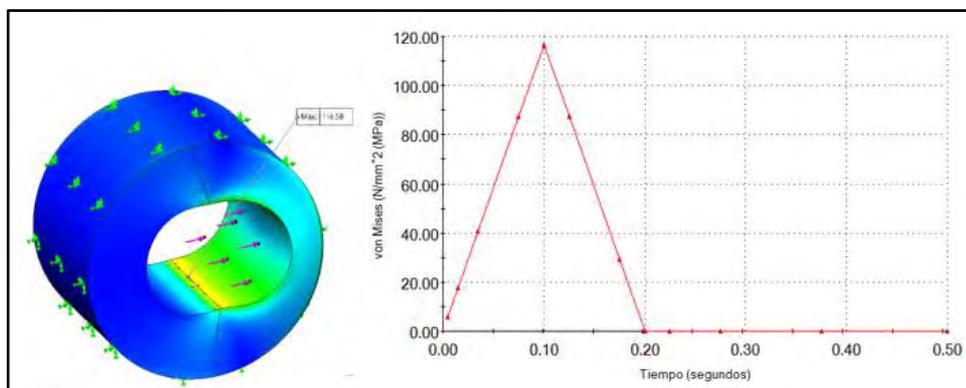


Figura N° 89 Simulación de bocina bronce SAE 68 con fuerza instantánea.

## CONCLUSIONES

- El presente estudio identificó las causas por las cuales se presentaba una reducción de disponibilidad mecánica en el lanzador Normet. Con las reparaciones proporcionadas para solucionar cada falla se generó un incremento de 4.6%, elevando de 86% a 90.6% la disponibilidad mecánica mensual. Para ello, se reconoció los principales sistemas en un lanzador de concreto Normet, luego se explicó a detalle el funcionamiento de su sistema de lanzado, en donde se presenta la problemática. Además, se identificó los principales parámetros en los sistemas de lanzados de concreto tanto Normet como de otras marcas. Finalmente, se aplicó la metodología de Diagnostico de Caterpillar para ofrecer las soluciones pertinentes.
- Los seis principales sistemas que se reconocieron durante el estudio del lanzador de concreto Normet fueron los siguientes: Sistema motor diesel, sistema de tren de potencia, sistema de lanzado de concreto, sistema de aditivo y aire-agua, sistema de implementos hidráulicos, y sistema de freno y dirección. La identificación en primer nivel permitió enfocar el estudio al sistema de lanzado de concreto, debido a las fallas localizadas en este sistema.
- Con el estudio orientado al sistema de lanzado de concreto se explicó su funcionamiento en el modo “*bombeo*” para lograr las etapas de extensión y retracción de los émbolos ubicados en la cámara de concreto. Durante este análisis se identificó todos los componentes hidráulicos presentes en el sistema de lanzado de concreto.
- El rendimiento es afectado por cuatro parámetros que se identificaron en la comparación entre maquinas lanzadores de concreto. Estos son el caudal de operación (en  $m^3/h$ ), el número de emboladas por minuto (en 1/min) y las revoluciones por minuto (RPM) del motor en el modo de lanzado de concreto. Asimismo, el tamaño de agregados presentes en la mezcla de concreto no es un parámetro propio del equipo, pero influye directamente en el rendimiento, su valor es considerado en el diseño del concreto para evitar obstrucciones durante la operación de lanzado. Estos parámetros sirven para caracterizar en cifras la continuidad de flujo de concreto a la salida de los equipos. Como se revisó en el capítulo 3, los valores para el caudal de operación,

número de emboladas por minuto, RPM del motor y agregados presentes en el concreto varían por marca, pero se encuentran en el rango de 20 m<sup>3</sup>/h, 20 emboladas, 2200 RPM y entre 8-16 mm de tamaño de agregados, respectivamente.

- Para finalizar se aplicó la Metodología de Diagnostico de Caterpillar para analizar la problemática “*regulación de bombeo*” descrita en reportes de mantenimiento de unidades minera para la empresa Robocon S.A y se concluye que la interrupción de la señal hidráulica de pilotaje en el cambio de válvula de distribución (110) asociado al movimiento de la válvula S era el origen de falla. En este estudio se detalla que la causa raíz de esta interrupción es el desplazamiento relativo entre los componentes del cilindro de selección. Para solucionar la problemática se realizaron las siguientes reparaciones: En primer lugar, se modificó el perfil de rosca por un perfil trapezoidal de alta resistencia 1-10 ACME 3G (según norma ANSI/ASME B1.5) con material AISI 4140 (VCL). En segundo lugar, en la horquilla se adicionó dos pernos Allen M10x2.5 Grado 10.9 y se cambió a un acero AISI 4340 (VCN). Finalmente, el ajuste del montaje en el conjunto pin-bocina del brazo de accionamiento se disminuye a +0.05 mm (centésimas) para evitar movimientos relativos excesivos desde inicio de operación y el material seleccionado para la bocina es un bronce SAE 68.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar una bomba de desplazamiento volumétrico variable con load sensing (LS) y presión compensada (PC), en lugar de la bomba de engranajes actual. Este cambio se debe a tres razones principales: La operación continua en alta que necesita el equipo, la posibilidad de regular las emboladas por minuto (en las otras marcas, se puede variar desde el valor mínimo hasta el máximo), y mantener un caudal fijo bajo cargas y RPM del motor variables.
- Se debería diseñar un sistema de paletas rotativas ubicadas dentro de la tolva de carga, estas cumplirán dos funciones principales: agitar la mezcla de concreto dentro de la tolva y asistir en el llenado de las cámaras de concreto, ya que su principio es como una bomba de desplazamiento positivo la presión máxima de succión de concreto es la atmosférica. Por lo tanto, la asistencia de las paletas rotativas permitiría obtener mayor continuidad en el flujo de concreto.
- El equipo requiere un sistema electrónico para la regulación de aditivo con respecto a un flujo de concreto en cada instante. Actualmente, la regulación es manual y depende de la habilidad del operario en mina. El aditivo no debe sobrepasar un 5% de la mezcla total según la norma NTP 334.088.2006, ya que existen las sanciones económicas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- AISI/ASME B1.1. (2003). *Unified Inch Screw Threads* (p. 190). THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.
- AISI/ASME B1.5. (1997). *ACME SCREW THREADS* (p. 123). THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.
- Casillas, A. L. (1980). *Máquinas cálculos de taller* (“Maquinas” (ed.); 40va Edici).  
<https://www.casillas-maquinas.com/>
- CIFA S.p.A. (1998). *Manual de informaciones generales* (1° Edición). [www.cifa.com](http://www.cifa.com)
- CIFA S.p.A. (2011). *Schema di Principio Generale CST 8.20 [Plano]* (p. 1).  
[www.cifa.com](http://www.cifa.com)
- CIFA S.p.A. (2012). *Use and Maintenance Handbook* (Issue 1, p. 306).
- CIFA S.p.A. (2015). *Spare parts list CST 8.20* (p. 378). [www.cifa.com](http://www.cifa.com)
- Deutz. (2021). *DEUTZ TCD 2013 Series (Tier 3) Diesel Engine*.  
<https://www.deutzsupport.com/product-details/tcd-2013-series-tier-3/>
- Hartmann, A., Bergemann, D., Wirsching, J., & Klafszky, C. (2017). *Tecnología del hormigón para bombas de hormigón* (Putzmeister AG (ed.); 4 edición). rr medien gmbH. <https://docplayer.es/11444105-Tecnologia-del-hormigon-para-bombas-de-hormigon.html>
- Ingenieria, C. y M. (2019). *Putzmeister TK 50*. <http://icm.com.pe/en-alquiler/putzmeister-tk-50/>
- Mascus. (n.d.). *DIECI TELEHANDLER-SPICER DANA 212/751-001-AXLE/ACHSE/AS*. Retrieved February 1, 2021, from <https://es.mascus.com/construccion/ejes/dieci-telehandler-spicer-dana-212-751-001-axle-achse-as/o1oyrug0.html>
- Parker. (2020). *CAST IRON BUSHING PUMPS - MODEL 330*.  
<https://ph.parker.com/pe/es/cast-iron-bushing-pumps-model-330>
- Putzmeister Ibérica S.A. (2016). *Documentación Técnica SPM 4210 Wetkret dual drive*.  
<https://es.scribd.com/document/414088311/TD-490701405-ES-pdf>
- Putzmeister Ibérica S.A. (2017). *Equipo robotizado para shotcrete SPM 4210 Wetkret* (p.

2).

SEMMCO. (n.d.). *Manual de operacion y Mantenimiento* (p. 197). [www.normet.fi](http://www.normet.fi)

SEMMCO. (2008). *Manual de propietario Alpha 20* (pp. 1–958). [www.normet.fi](http://www.normet.fi)

Ticlavilca Rauz, J. C. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad mecánica del equipo ALPHA20 de la empresa Robocon SAC*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.

Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*, 19(1), 25. <https://doi.org/10.21503/cyd.v19i1.1219>

## **ANEXOS**

## ANEXO N°1: Cálculo del caudal de operación y número de emboladas

El ejemplo de cálculo se realizará con los datos de entrada en la Tabla N°13 para el lanzador Normet.

Tabla 13 Valores de entrada para calculo.

DATOS DE ENTRADA	SIMB	Valor	UNID
Volumen desplazado de bomba	$V_{BOMBA}$	43/10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Revoluciones del motor Diesel	RPM	2400/60	rev/s
Diámetro - cilindro de bombeo	$\emptyset_{CIL}$	0.090	m
Vástago - cilindro de bombeo	$\emptyset_{VAS}$	0.0508	m
Carrera - cilindro de bombeo	$L_B$	0.760	m
Diámetro -Tubo transporte de concreto	$\emptyset_{Tubo}$	0.152	m
Carrera- Tubo transporte de concreto	$L_T$	0.760	m

El caudal de la bomba hidráulica instalada para el sistema de lanzado de concreto es,

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{43}{10^6} \times \frac{2400}{60} \times 0.85$$

$$Q = 0.001462 \frac{m^3}{s}$$

El área anular de uno de los cilindros de bombeo durante su carrera de extensión y el área total durante la carrera de retracción, se calcula a continuación:

$$A_{Anular} = \frac{\pi \times (0.09^2 - 0.0508^2)}{4} = 0.004335 \text{ m}^2$$

$$A_{Total} = \frac{\pi \times 0.09^2}{4} = 0.006362 \text{ m}^2$$

Luego se calcula la velocidad del cilindro de bombeo en el movimiento de extensión y retracción.

$$v_{Ext} = \frac{0.001462 \text{ m}^3/s}{0.004335 \text{ m}^2} = 0.3372 \frac{m}{s}$$

$$v_{Ret} = \frac{0.001462 \text{ m}^3/s}{0.006362 \text{ m}^2} = 0.2298 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El tiempo que le demora realizar un ciclo de retracción y extensión a un cilindro de bombeo.

$$T_{Total}(s) = \frac{0.760 \text{ m}}{0.3372 \text{ m/s}} + \frac{0.760 \text{ m}}{0.2298 \text{ m/s}} = 5.6 \text{ s}$$

Con el tiempo por ciclo (en s) de un cilindro de bombeo, se puede obtener el número de ciclos o emboladas por minuto para los 2 cilindros instalados. Este valor de emboladas es uno de los principales para diferenciar el trabajo de los lanzadores de concreto.

$$\mathbf{Emboladas \left( \frac{1}{\text{min}} \right) = \frac{60 \text{ s}}{5.6 \text{ s}} \times 2 = 22 \text{ emboladas/min}}$$

Para obtener el caudal de operación de concreto se procede a calcular el área de tubo de transporte de concreto.

$$A_{Tubo} = \frac{\pi \times 0.152^2}{4} = 0.01815 \text{ m}^2$$

Finalmente,

$$caudal \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 0.01815 \text{ m}^2 \times 0.76 \text{ m} \times 22 \frac{\text{emboladas}}{\text{min}} \times \left[ \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \right]$$

$$\mathbf{caudal = 17.9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Este es el valor máximo de caudal de concreto en operación obtenido a través del análisis de las dimensiones de los componentes hidráulicos.

## ANEXO N°2: Tolerancias en rosca ACME

Los datos necesarios para obtener las tolerancias en el conjunto roscado son las siguientes:

- Hilos por pulgadas (perfil en pulgadas) = 10
- Diámetro rosca = 1" = valor diámetro mayor
- $Altura (h') = \frac{P}{2} + 0.01" = 0.06"$
- Valor diámetro menor =  $1" - 2 \times h = 0.88"$
- Longitud roscada en contacto = 29 mm
- Paso (P) (en pulgadas) = 0.1"

La Figura N°90 muestra la posición del diámetro mayor y menor en el perfil de rosca ACME.

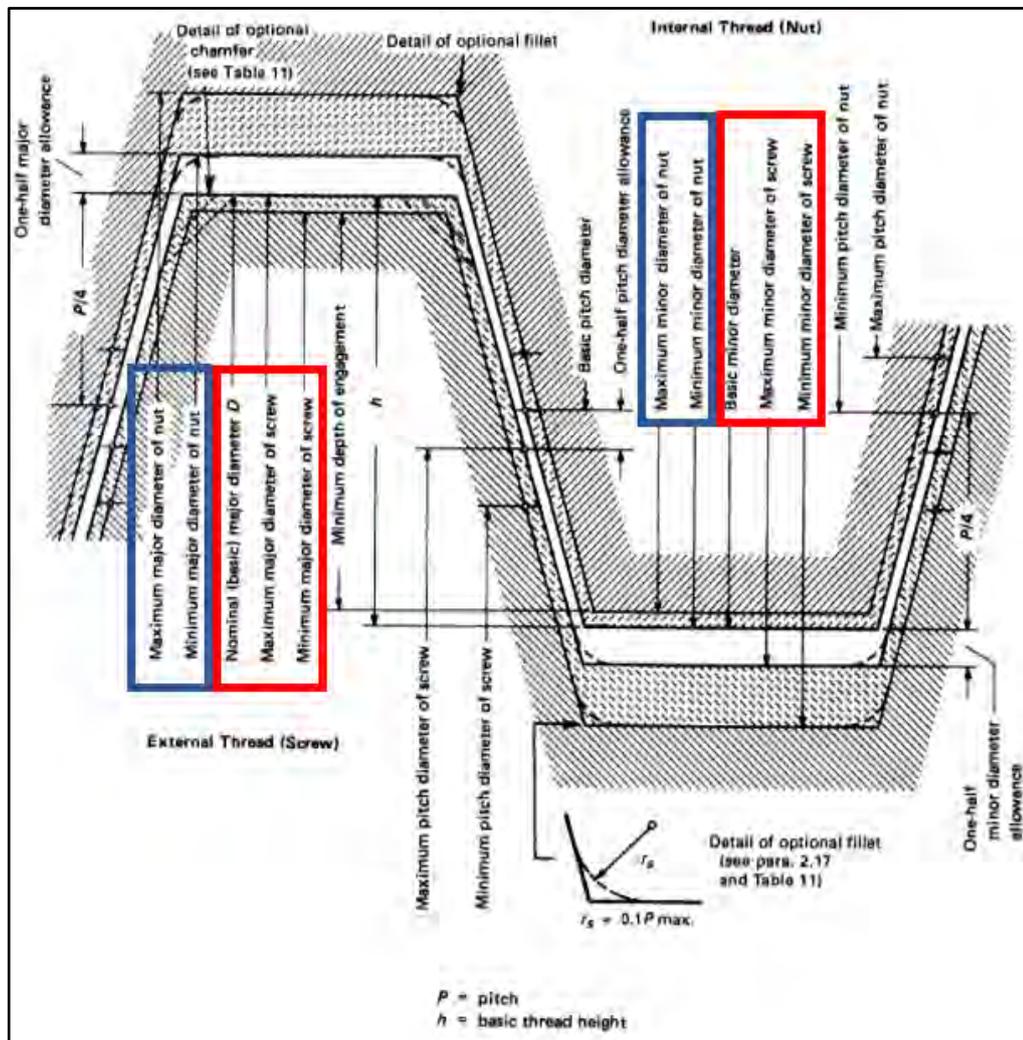


Figura N° 90 Posiciones de los diámetros mayor y menor en horquilla y vástago (AISI/ASME B1.5, 1997)

## Cálculo de tolerancia en diámetro mayor (vástago)

Los siguientes cálculos son realizados para la rosca en el vástago del cilindro de selección.

### Diámetro mayor máximo

- Diámetro mayor máximo = Diámetro rosca = 1" = **25.40 mm**

### Diámetro mayor mínimo

- Diámetro mayor mínimo = 1" - Tolerancia

La tolerancia se obtiene de la Tabla N°14 (columna 4) donde se menciona que si el producto 0.05 x paso es menor a 0.005" se elige ese valor.

$$\text{Tolerancia: } 0.05 \times \text{Paso} = 0.05 \times 0.1" = \mathbf{0.005"}$$

Finalmente, se calcula el diámetro mayor mínimo.

$$\text{Diámetro mayor mínimo: } 1" - 0.005" = 0.995" = \mathbf{25.273 mm}$$

Tabla 14 Tolerancias y márgenes para diámetros mayores y menores en roscas ACME. (AISI/ASME B1.5, 1997)

Threads/ in., <i>n</i> [Note (1)]	Allowance From Basic:		Tolerance on Minor Diameter, All Internal Threads (Plus), 0.05 <i>P</i> (Min. = 0.005 in.) [Note (4)]	Tolerance on Major Diameter	
	Minor Diameter, All External Threads (Minus) [Note (2)]	Major Diameter, Internal Threads ( <i>E</i> ) (Plus) [Note (3)]		Minus on External Threads, 0.05 <i>P</i> (Min. = 0.005 in.) [Note (4)]	Plus on Internal Threads
16	0.010		0.0050	0.0050	0.010
14	0.010		0.0050	0.0050	0.010
12	0.010		0.0050	0.0050	0.010
10	0.020		0.0050	0.0050	0.020
8	0.020		0.0062	0.0062	0.020
6	0.020		0.0083	0.0083	0.020
5	0.020		0.0100	0.0100	0.020
4	0.020		0.0125	0.0125	0.020
3	0.020		0.0167	0.0167	0.020
2	0.020		0.0250	0.0250	0.020

GENERAL NOTE: Tolerance on minor diameter of all external threads is 1.5 times pitch diameter tolerance.

NOTES:  
 (1) Intermediate pitches take the values of the next coarser listed pitch.  
 (2) The minimum clearance at the minor diameter between the internal and external thread is equal to values in the second column.  
 (3) The minimum clearance at the major diameter between the internal and external thread is equal to values in the second column.  
 (4) To avoid a complicated formula and still provide an adequate tolerance, the pitch factor is used as a base with the minimum tolerance value set at 0.005 in.

### **Cálculo de tolerancia en diámetro menor (vástago)**

Los siguientes cálculos son realizados para la rosca en el vástago del cilindro de selección.

#### **Diámetro menor máximo**

- *Diámetro menor máximo = valor diámetro menor – "allowance"*

El valor del "allowance" se encuentra en la Tabla N°14 (columna 2)

$$allowance = 0.02"$$

Por lo tanto,

$$Diámetro menor máximo = 0.88" - 0.02" = \mathbf{0.86"} = \mathbf{21.84\ mm}$$

#### **Diámetro menor mínimo**

- *Diámetro menor mínimo = Diámetro menor máximo – Tolerancia*

El valor de la tolerancia se encuentra en la Tabla N°15 (columna 4), y su valor se calcula de la siguiente forma:

$$Tolerancia = 1.5 \times pitch\ diameter\ tolerance$$

Para hallar el "pitch diameter tolerance" se dirige a la Tabla N°16 para el caso de una tolerancia del **tipo 3G** seleccionado, **diámetro de rosca de 1"** y **10 hilos por pulgadas**. El valor se detalla a continuación:

$$Tolerancia = 1.5 \times 0.007227" = \mathbf{0.010840"}"$$

Finalmente, el diámetro menor mínimo es

$$Diámetro menor mínimo = 0.86" - 0.010840" = \mathbf{0.849159"} = \mathbf{21.57\ mm}$$

Tabla 15 Tolerancias en diámetros mayores y menores en roscas ACME de propósito general. (AISI/ASME B1.5, 1997)

Type of Thread	Major Diameter		Minor Diameter	
	External Thread	Internal Thread	External Thread	Internal Thread
General purpose (all classes)	0.05 P [Note (1)] (0.005 in., min.)	0.020 in. for 10 pitch and coarser; 0.010 in. for finer pitches	1.5 x pitch diameter tolerance	0.05 P [Note (1)] (0.005 in., min.)

NOTE:  
(1) To avoid a complicated formula and still provide an adequate tolerance, the pitch factor is used as a base with the minimum tolerance value set at 0.005 in.

Tabla 16 Tolerancias en el "pitch diameter" para rosca ACME, clases 3G y 3C. (AISI/ASME B1.5, 1997)

Threads/in., n	Pitch Increment, $0.014 \sqrt{1/n}$ [Note (1)]	Nominal Diameter [Note (2)]								
		$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$1$	$1\frac{1}{2}$	$2$	$2\frac{1}{2}$	$3$
16	0.003500	0.004900	0.005065	0.005215	0.005352	0.005480	0.005714	0.005925	...	...
14	0.003742	...	0.005307	0.005456	0.005594	0.005722	0.005956	0.006167	0.006361	...
12	0.004041	...	...	0.005756	0.005993	0.006021	0.006255	0.006486	0.006660	...
10	0.004427	...	...	0.006142	0.006279	0.006407	0.006641	0.006852	0.007046	...
8	0.004950	...	...	...	...	0.006930	0.007164	0.007375	0.007569	...
6	0.005715	...	...	...	...	...	...	0.008140	0.008334	...
5	0.006261	...	...	...	...	...	...	...	0.008880	...
4	0.007000	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	0.008083	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2 1/2	0.008854	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	0.009899	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1 1/2	0.011431	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1 1/3	0.012124	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	0.014000	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Diameter Increment, $0.0028 \sqrt{D}$ [Note (1)]		0.001400	0.001566	0.001715	0.001852	0.001980	0.002214	0.002425	0.002619	...

Threads/in., n	Pitch Increment, $0.014 \sqrt{1/n}$ [Note (1)]	Nominal Diameter [Note (2)]							
		1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4
16	0.003500	...	...	...	...	...	...	...	...
14	0.003742	0.006542	...	...	...	...	...	...	...
12	0.004041	0.006841	0.007011	0.007172	...	...	...	...	...
10	0.004427	0.007227	0.007397	0.007557	0.007710	0.007856	0.008131	...	...
8	0.004950	0.007750	0.007920	0.008080	0.008233	0.008379	0.008654	0.008910	...
6	0.005715	0.008515	0.008685	0.008845	0.008998	0.009144	0.009419	0.009675	0.009915
5	0.006261	0.009051	0.009231	0.009391	0.009544	0.009690	0.009965	0.010221	0.010461
4	0.007000	...	0.009970	0.010130	0.010283	0.010429	0.010704	0.010960	0.011200
3	0.008083	...	...	...	...	0.011512	0.011787	0.012043	0.012283
2 1/2	0.008854	...	...	...	...	...	0.012558	0.012814	0.013054
2	0.009899	...	...	...	...	...	...	0.013859	0.014099
1 1/2	0.011431	...	...	...	...	...	...	...	...
1 1/3	0.012124	...	...	...	...	...	...	...	...
1	0.014000	...	...	...	...	...	...	...	...
Diameter Increment, $0.0028 \sqrt{D}$ [Note (1)]		0.002800	0.002970	0.003130	0.003283	0.003429	0.003704	0.003960	0.004200

### **Cálculo de tolerancia en el diámetro mayor (horquilla)**

Los siguientes cálculos son realizados para la rosca en la horquilla

#### **Diámetro mayor mínimo**

$$Diámetro\ mayor\ mín = diámetro\ rosca + allowance$$

El valor del “allowance” en la horquilla también se encuentra en la Tabla N°14 (columna 2) y su valor es el siguiente:

$$allowance = 0.02"$$

Por lo tanto, el valor del diámetro mayor mínimo es,

$$Diámetro\ mayor\ mín = 1" + 0.02" = 1.02" = 25.908\ mm$$

#### **Diámetro mayor máximo**

Para el caso del diámetro mayor máximo se valor se expresa de la siguiente forma.

$$Diámetro\ mayor\ máximo = Diámetro\ mayor\ mín + tolerancia$$

La tolerancia se encuentra en la Tabla N°14 (columna 5) y su valor es,

$$Tolerancia = 0.01"$$

Finalmente, el valor del diámetro mayor máximo es,

$$Diámetro\ mayor\ máximo = 1.02" + 0.01" = 1.03" = 26.162\ mm$$

### **Cálculo de tolerancia en diámetro menor (horquilla)**

Los siguientes cálculos son realizados para la rosca en la horquilla.

#### **Diámetro menor mínimo**

- *Diámetro menor mínimo = diámetro rosca – P*

Por lo tanto,

$$\text{Diámetro menor mínimo} = 1" - 0.1" = 0.9" = \mathbf{22.86\ mm}$$

#### **Diámetro menor máximo**

- *Diámetro menor máximo = Diámetro menor mínimo + Tolerancia*

El valor de la tolerancia se encuentra en la Tabla N°4 (columna 3), y su valor se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Tolerancia} = 0.005"$$

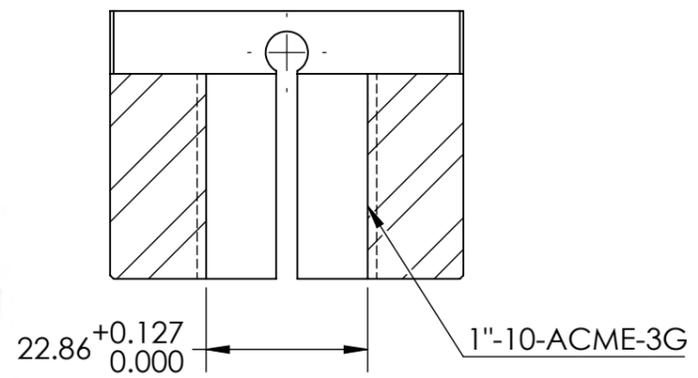
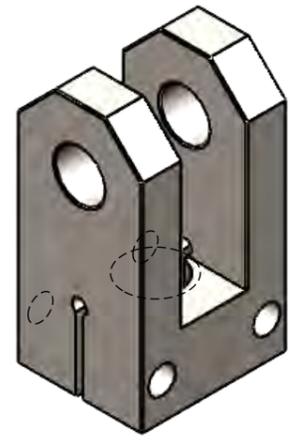
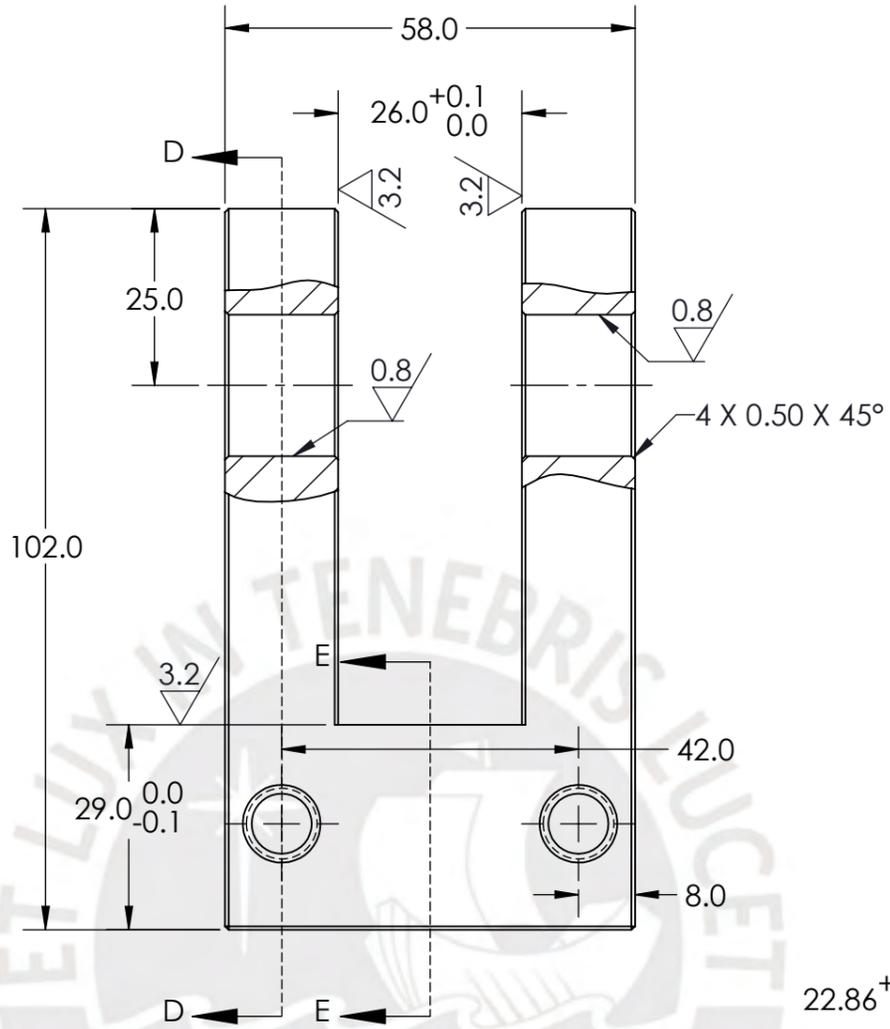
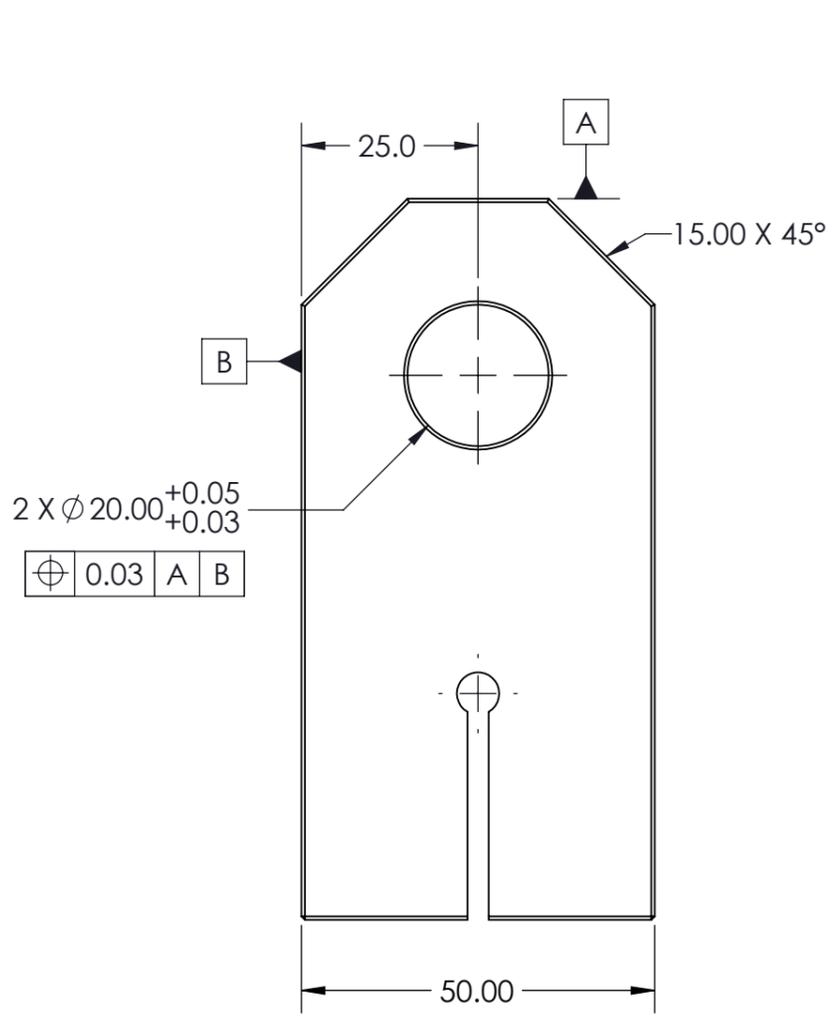
Finalmente, el diámetro menor mínimo es

$$\text{Diámetro menor máximo} = 0.9" - 0.005" = 0.895" = \mathbf{22.73\ mm}$$

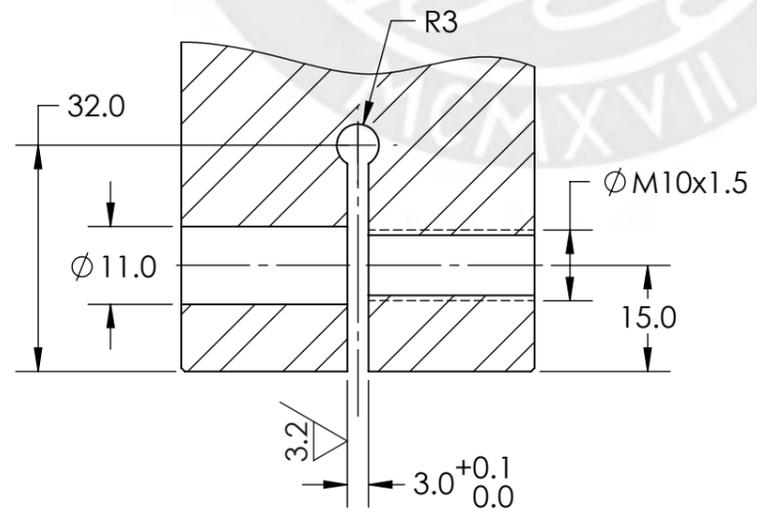
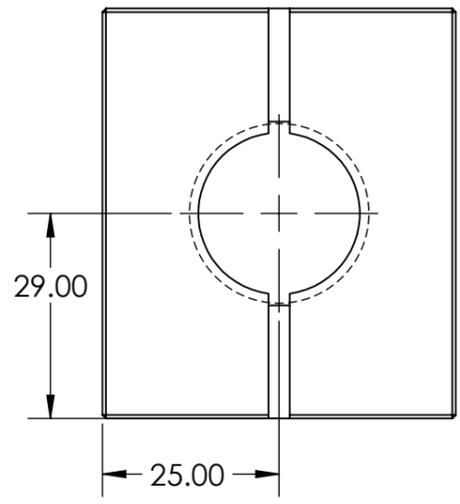
**ANEXO N°3:**  
**PLANOS DE FABRICACION**



8 7 6 5 4 3 2 1



SECTION E-E  
SCALE 1 : 1



SECTION D-D  
SCALE 1 : 1

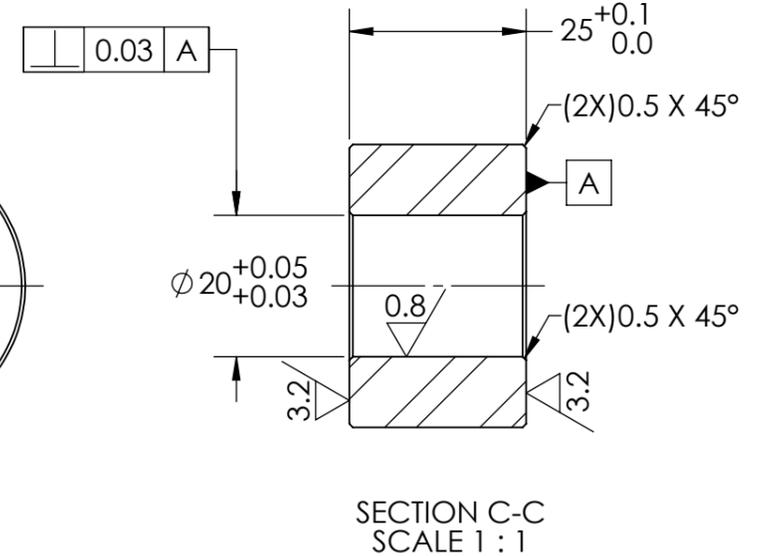
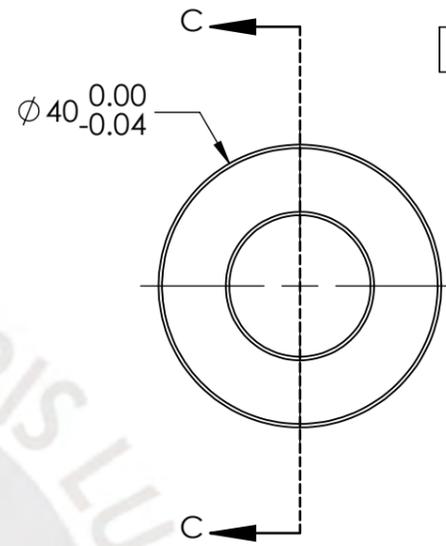
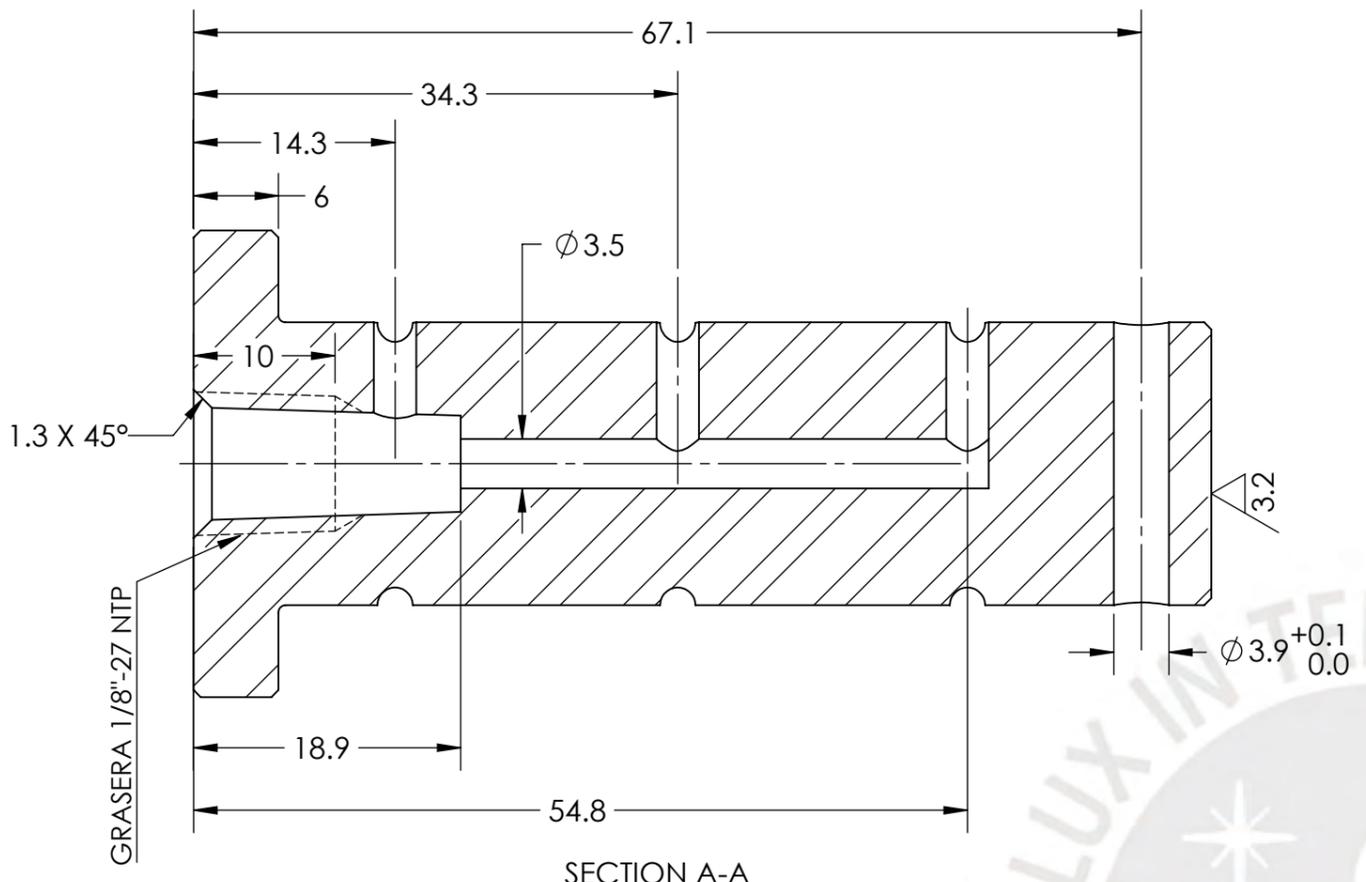
NOTA:  
- CHAFLANES NO INDICADOS 0.5x45°

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/ 0.8/	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 GRADO MEDIO	MATERIAL AISI-4340
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION ⊕	HORQUILLA DE VASTAGO CILINDRO DE SELECCION	ESCALA 1:2
20114993	JORGE LUIS ESTEBAN PINCO	FECHA: 11.03.21
		LAMINA: A3

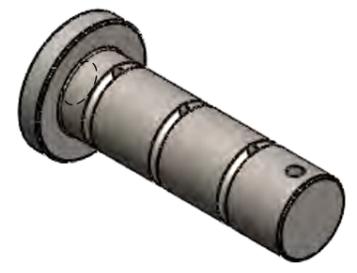
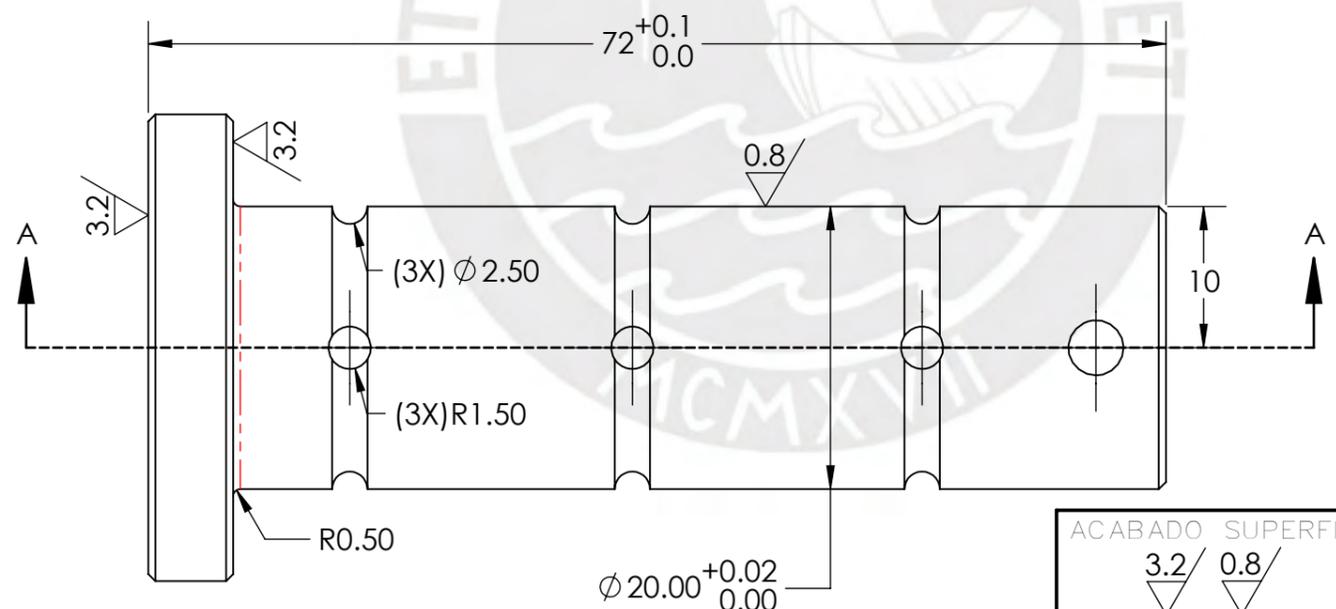
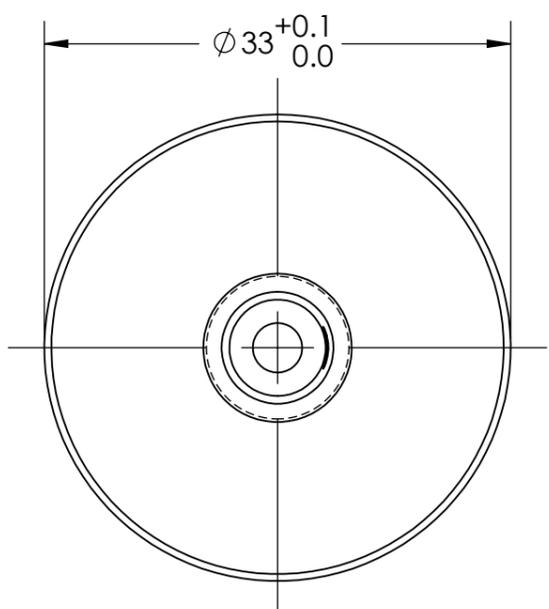
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

8 7 6 5 4 3 2 1



BOCINA



ACABADO SUPERFICIAL 3.2 / 0.8	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 GRADO FINO	MATERIAL PIN AISI1045 BOCINA BRONCE SAE68
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	CONJUNTO PIN-BOCINA	ESCALA 2:1
20114993	JORGE LUIS ESTEBAN PINCO	FECHA: 11.03.21
		LAMINA: A3

NOTA:  
- CHAFLANES NO INDICADOS  
0.5 MM X 45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2