

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“PROCEDIMIENTO DE REGULACION EN
BOMBAS DE CAUDAL VARIABLE USANDO
EL PORTABLE HYDRAULIC TESTER 4C9910
– FLOW METER”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

LUIS MARTIN CARPIO MENDIOLA

PROMOCION 2005-II

LIMA-PERU

2010

ÍNDICE

PROLOGO	1
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Justificación	4
1.4 Alcances y limitaciones	4
CAPÍTULO II	
2. SISTEMA HIDRÁULICO EN EXCAVADORAS	
SERIE D – CATERPILLAR	5
2.1 Fluido usado en el Sistema Hidráulico	7
2.1.1 Viscosidad Cinemática	8
2.1.2 Índice de viscosidad	8
2.1.4 Selección del aceite hidráulico según su viscosidad	8
2.2 Sistema Hidráulico en Excavadoras	12
2.2.1 Sistema Hidráulico Principal	14
2.2.2 Sistema Hidráulico Piloto	16
2.2.3 Sistema de Control Electrónico	18
2.3 Bomba Hidráulica Principal	22
2.3.1 Generación del flujo en Bombas de Pistón Axial de	

caudal variable	24
2.3.2 Partes principales de la Bomba Hidráulica Principal	26
2.3.3 Funcionamiento de la Bomba Hidráulica Principal	28
2.4 Sistema de Presión de cambio de Potencia (Power Shift Pressure)	31
2.4.1 Disminución de la velocidad del motor	33
2.4.2 Aumento de la velocidad del motor	34
2.5 Mangueras Hidráulicas	35
2.5.1 Clasificación de presión de las mangueras	36
2.5.2 Tipos de acoplamientos de mangueras	38

CAPÍTULO III

3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA

HIDRÁULICA PRINCIPAL	40
3.1 Principio del Funcionamiento	40
3.2 Señales de Control de la Bomba Hidráulica	42
3.2.1 Primera señal.- Presión de control de flujo negativo (NFC)	43
3.2.2 Segunda señal.- Presión de la Bomba hidráulica	45
3.2.3 Tercera señal.- Censado cruzado de Presión	47
3.2.4 Cuarta señal.- Presión de Cambio de Potencia	47
3.3 Controles de la Bomba hidráulica Principal	48
3.4 Etapas de Operación de la Bomba Hidráulica	51
3.4.1 Stand by – Full Destroke	51
3.4.2 Flow Increase – Start of Upstroke	52
3.4.3 Constant Flow	54

3.4.4 Flow Increase – Full Upstroke	55
3.4.5 Flow Decrease – Start of Destroke	55
3.4.6 Flow Decrease – End of Destroke	58
3.5 Portable Hydraulic Tester 4c9910 – Flow Meter	59
3.5.1 Especificaciones Técnicas	62
3.5.2 Partes principales del Portable Hydraulic Tester 4c9910	
– Flow Meter	62

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y REGULACIÓN DE LA BOMBA

HIDRÁULICA PRINCIPAL	64
4.1 Pruebas en el Motor	64
4.2 Pruebas de Transito	65
4.2.1 Travel on Level Ground – Test	66
4.2.2 Cylinder Speed – Check	67
Parte 1-. Velocidad de los cilindros de la pluma	67
Parte 2-. Velocidad del cilindro del brazo	68
Parte 3-. Velocidad del cilindro del cucharón	68
Parte 4-. Velocidad de giro de la tornamesa	69
4.3 Prueba de Presiones Hidráulicas	70
4.4 Resultados obtenidos	71
4.5 Verificación de caudales de la Bomba Hidráulica Principal	73
4.5.1 Layout de Instalación	73
4.5.2 Diagrama del circuito para las pruebas	74
4.5.3 Toma de valores	75

4.5.4 Valores encontrados durante la prueba	76
4.6 Regulación del caudal de la Bomba Hidráulica Principal	77
4.6.1 Regulación Bomba conductora	78
4.5.2 Regulación Bomba conducida	81
4.7 Control de Flujo Negativo	82
CAPÍTULO V	
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE COSTOS DE OPERACIÓN	84
5.1 Tiempos de ciclo de la Excavadora	84
5.2 Volumen de Material	86
5.3 Volumen de Material encontrado	87
5.4 Perdidas y costos de regulación	88
5.5 Comparación de costos	89
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93

PROLOGO

El presente informe de suficiencia desarrolla de manera clara y resumida, información brindada por Caterpillar y esquemas elaborados para un mejor entendimiento de los diferentes sistemas, con la finalidad de instruir en el funcionamiento, señales de control, pruebas y regulaciones de la Bomba hidráulica principal. Así mismo las pérdidas económicas, que se generan por un funcionamiento de la Bomba fuera de las especificaciones de fabrica

Este trabajo esta dividido en cinco capítulos:

En el Primer Capitulo, se establecen los antecedentes, objetivos, justificación, alcances y limitaciones

En el Segundo Capitulo, se describe el tipo de fluido que usa la maquina así como los sistemas que controlan la Excavadora. Seguidamente se expone las partes y funcionamiento de la Bomba hidráulica principal, así como la generación de Presión de cambio de Potencia. Además una breve explicación del tipo de mangueras que usa Caterpillar

En el Tercer Capitulo, se describe las señales de regulación de la Bomba hidráulica, partes del regulador, las diferentes etapas de operación de la Bomba hidráulica y el Flow Meter como herramienta de diagnostico. Esta explicación se hace con la finalidad que haya un mejor entendimiento de las pruebas y regulaciones.

En el Cuarto Capitulo, se desarrolla las pruebas que se realizaron y las regulaciones que se hicieron para obtener la curva de operación Presión versus Caudal este dentro de las especificaciones de fabrica.

En el Quinto Capitulo, se realiza el análisis de costos mostrando lo que el cliente dueño de la maquina, pierde por semana debido a una desregulación de los controles de la Bomba hidráulica Principal

De la misma manera, al final del informe se presentan las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía utilizada para la elaboración del informe de suficiencia.

Aprovecho estas líneas, para dedicar este trabajo a mis padres por su apoyo incondicional durante mi estancia en la universidad, a mi madre por su paciencia y amor, mi padre por sus ánimos y a mi hermana por estar al tanto de mi siempre.

Un agradecimiento especial a mi facultad y a su plano docente por dedicarse siempre a pesar de las problemas y dificultades que en ese tiempo se vivió y a mis compañeros de promoción por el tiempo que permanecimos juntos y compartimos tantas amanecidas de estudio.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Ferreyros S.A.A. ha incrementado sus ventas en Excavadoras de manera considerable, esto en gran medida al aumento en obras civiles y construcciones a lo largo de todo el Perú, por lo tanto es de vital importancia un buen servicio de post-venta que incluye repuestos y servicio mecánico.

Cuando llego al país el Probador Hidráulico 4C-9910 (Flow Meter) se comenzaron a hacer las primeras regulaciones a las bombas principales de las Excavadoras, usualmente lo hacía el técnico de mayor experiencia, basándose en el manual de servicio de la maquina.

Es así, que la capacitación en el uso de la herramienta como elemento de diagnóstico fue encomendada al área de Desarrollo Técnico que depende directamente del área de recursos humanos de Ferreyros, esta se encargaría de la capacitación y evaluación del personal técnico, además de la instrucción de cursos técnicos en varios campos como evaluaciones de componentes y equipos, operación de sistemas Hidráulicos, Eléctrico y Motores, además del uso software creados por Caterpillar para sus diversos productos.

1.2. Objetivo

Desarrollar el procedimiento de regulación en bombas de Caudal Variable usando el Flow Meter en Excavadoras 330D – Caterpillar.

Para ello se describe el funcionamiento del regulador, etapas de las bombas durante el trabajo y el procedimiento de regulación, siguiendo los procedimientos Caterpillar que se rigen en todo el mundo.

1.3. Justificación

Como parte de la mejora continua en los procesos de evaluaciones y regulaciones de las Bombas hidráulicas de las Excavadoras, se prevé una mayor capacitación del personal, para que mas técnicos puedan hacer esta labor en cualquier parte del Perú, asegurando un estándar de calidad y satisfacción del cliente.

1.4. Alcances y limitaciones

Al hacer las pruebas, el motor se encuentra en óptimas condiciones, de tal manera que se pueda seguir con el procedimiento de pruebas y regulaciones de las bombas hidráulicas descritas en los manuales de servicio Caterpillar.

El regulador que se muestra en el siguiente informe, solo lo tiene las modelos de Excavadoras 330D, y 345D

CAPITULO II
SISTEMA HIDRÁULICO EN EXCAVADORAS
SERIE D - CATERPILLAR

Las Excavadoras Caterpillar serie D, son maquinas de trabajo pesado la cual esta constituida básicamente por un motor de combustión interna, una Bomba Hidráulica Principal de pistones Axiales, un Control o Banco de Válvulas, Motores Hidráulicos de Traslación, Motor de Giro y los respectivos Implementos.

Algo muy importante que se ha introducido como una mejora en la serie D, es el motor de combustión interna C9 con tecnología ACERT (Advanced Emissions Reduction Technology), esta tecnología optimiza el rendimiento del motor mientras cumple con las normas de emisiones Tier III de la EPA (Agencia de la Protección Medioambiental) de los EE.UU.

La primera normativa de la EPA para reducir las emisiones se dio a conocer como Tier I y su objetivo principal consistía en reducir de inmediato los óxidos de nitrógeno (NOx), afectando lo menos posible al rendimiento de las máquinas, en la actualidad lo que se busca con Tier III es reducir al menos un 40% las emisiones de NOx (óxidos de nitrógeno).

Las Excavadoras son maquinas que se pueden desplazar por lodo y agua debido a que posee un sistema de cadenas para su traslación, que evita que patine o resbale en este tipo de terrenos, haciendo que sea muy versátil y practico.

El principal trabajo o el fin para el que fue creado es hacer excavaciones y descargas de material en camiones o lugares alrededor de la misma, es decir a 360°.

Otro labor que puede realizar es levantar objetos pesados (uso grúa), siempre y cuando no exceda las especificaciones de fabrica y se uso los elementos de izaje respectivos de acuerdo a las cargas a levantar.

Las Excavadoras de la serie D se han diseñado para un servicio rápido, con intervalos extendidos de servicio y fácil uso de los diagnósticos electrónicos para una alta productividad y costos de mantenimiento reducidos..

En la figura 2.1 tenemos el Stick (1), Bucket (2), Boom (3) y Travel (4)



Fig. 2.1 Implementos y Traslación de una Excavadora

2.1 FLUIDO USADO EN EL SISTEMA HIDRÁULICO

La vida útil del sistema hidráulico depende en gran medida de la selección y del cuidado que se tengan con los fluidos hidráulicos. Al igual que con los componentes metálicos de un sistema hidráulico, el fluido hidráulico debe seleccionarse con base en sus características y propiedades para cumplir con la función para la cual fue diseñado.

Las principales funciones del fluido hidráulico son:

- **Transmisión de Potencia.-** Un fluido prácticamente es incompresible, un sistema Hidráulico lleno de fluido puede producir potencia hidráulica instantánea de un área a otra.
- **Lubricación.-** Deben lubricar las piezas en movimiento del sistema hidráulico, los componentes que rotan o se deslizan deben poder trabajar sin entrar en contacto con otras superficies
- **Sellado.-** Algunos componentes hidráulicos están diseñados para usar fluidos hidráulicos en lugar de sellos mecánicos entre los componentes
- **Enfriamiento.-** El funcionamiento del sistema hidráulico produce calor a medida que se transfiere energía mecánica a energía hidráulica y viceversa.

La transferencia de calor al sistema se realiza entre los componentes calientes y el fluido que circula a menor temperatura, a la vez estos transfieren calor al tanque o a los enfriadores, con el fin de mantener la temperatura dentro de límites definidos

2.1.1 Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática se define como la resistencia a fluir de un fluido bajo la acción de la gravedad. En el interior de un fluido, dentro de un recipiente, la presión hidrostática (la presión debida al peso del fluido) esta en función de la densidad.

En el sistema internacional (SI) la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo (m^2/s). La unidad CGS (sistema cegesimal de unidades) correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt), 10^{-2} stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

2.1.2 Índice de Viscosidad

El índice de viscosidad es la medida de la variación de la viscosidad de un aceite en función de la temperatura.

Si el líquido mantiene su viscosidad en un rango amplio de temperaturas, el fluido tiene un alto índice de viscosidad (mas estable es la viscosidad del aceite). Si el líquido se hace espeso a bajas temperaturas y se hace delgado a altas temperaturas, el fluido tiene un bajo índice de viscosidad.

2.1.3 Selección del Aceite Hidráulico según su Viscosidad

La temperatura ambiente es la temperatura del aire en la proximidad inmediata de la máquina y esta puede variar según la región geográfica en la que trabaje, por lo tanto para seleccionar la viscosidad apropiada del aceite se determina la temperatura ambiente y la de la región..

Generalmente, se considera la temperatura más alta como criterio para la selección de la viscosidad, ya que la viscosidad más alta mantendrá el máximo espesor posible de la película de aceite, y sobre todo en el momento del arranque debido a que ayudara a proteger las piezas internas hasta que se alcance la temperatura de trabajo que aproximadamente es $55^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$

La temperatura ambiente exterior mínima determina el grado apropiado de viscosidad del aceite. Esta es la temperatura de arranque y operación de la maquina.

Para determinar el grado apropiado de viscosidad del aceite se consulta la columna "Mín." de la Tabla 2.1. Esta información muestra la temperatura ambiente más fría para arrancar y operar una máquina fría. Vea la columna "Máx." en la Tabla 2.1 para seleccionar el grado de viscosidad de aceite para operar la máquina a la temperatura ambiente más alta de la zona en donde trabaje.

Las máquinas que se operan continuamente deben utilizar, en los mandos finales y en los diferenciales, aceites que tengan la viscosidad más alta.

El HYDO Advanced 10 Cat es el aceite recomendado para su uso en la mayoría de los sistemas de transmisiones hidráulicas e hidrostáticas de máquinas Caterpillar cuando la temperatura ambiente está entre -20°C y 40°C ,

HYDO Advanced 10 CAT tiene un grado de viscosidad SAE de 10W, además tiene un aumento del 50% del intervalo estándar de drenaje de aceite en sistemas hidráulicos de máquina (3.000 horas frente a 2.000 horas) sin necesidad de análisis de aceite.

Compartment or System	Oil Type and Specification	Oil Viscosity Grade	°C		°F	
			Min	Max	Min	Max
Hydraulic System ⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾		SAE 0W-20	-40	40	-40	104
		SAE 0W-30	-40	40	-40	104
		SAE 5W-30	-30	40	-22	104
		SAE 5W-40	-30	40	-22	104
		S. AE10W	-20	40	-4	104
		SAE 30	10	50	50	122
		SAE 10W-30	-20	40	-4	104
		SAE 15W-40	-15	50	5	122
		Cat MTO	-25	40	-13	104
		Cat TDTO-TMS ⁽¹⁰⁾	-20	50	-4	122

Tabla 2.1 Viscosidades de lubricantes para temperaturas ambiente

Entre otras características y beneficios del HYDO Advanced 10 Cat sobre otros aceites hidráulicos comunes, tenemos las siguientes

- Intervalos de cambio prolongados de 6,000 horas – hasta el triple de horas que el aceite Cat HYDO 10W (predecesor) cuando se supervisa con el programa de análisis de aceite de Caterpillar
- Mejora y alarga la protección antidesgaste – los aditivos especialmente desarrollados forman una capa protectora en las superficies, reduciendo

el desgaste de los componentes de las bombas de pistones, paletas y engranajes de alta presión.

- Retiene agua en dispersión contiene emulsificadores diseñados específicamente para dispersar el agua. Caterpillar no recomienda aceites que “separen”, “desprendan” o “suelten” agua. El agua separada absorbida por el sistema hidráulico puede dañar las bombas y otros componentes.
- Compatibilidad con aceites anteriores – el único aceite hidráulico que necesita para sus operaciones de mantenimiento. .
- Propiedades de filtración mejoradas – dispersantes y detergentes especiales que mantienen los componentes limpios y mejoran el transporte de los contaminantes por los filtros.
- Protección mejorada contra la corrosión – protege las superficies de metal contra la formación de óxido.
- Separación de aire más rápida – la separación rápida del aire reduce el tiempo de liberación de ésta, impidiendo la cavitación. El tiempo de separación de aire de Cat HYDO Advanced 10 de menos de 4 minutos es muy superior comparado con el de Cat HYDO 10W, con un tiempo de separación de aire de 7 a 10 minutos (según las pruebas ASTM D3427).
- Protección en una amplia gama de temperaturas – mantiene una protección uniforme contra el desgaste a bajas y altas temperaturas..

La viscosidad mínima de los aceites alternativos comerciales que se usan en los sistemas hidráulicos y transmisiones hidrostáticas de las máquinas Caterpillar es de 6,6 cSt a 100 °C (212 °F) ("ASTM D445").

2.2 SISTEMA HIDRÁULICO EN EXCAVADORAS

La ubicación de los componentes y el diseño del sistema hidráulico proporcionan el nivel más alto de eficiencia del sistema. Las bombas principales, las válvulas de control y el tanque hidráulico están localizados muy cerca unos de otros para permitir tuberías más cortas entre los componentes, que reducen la pérdida por fricción y las caídas de presión en las tuberías.

Las Excavadoras son controladas por los siguientes sistemas:

- Sistema Hidráulico principal controla los implementos : Pluma (Boom), Brazo (Stick), Cucharón (Bucket), los motores de traslación (Travel) y el motor de giro (Swing Motor).
- Sistema Hidráulico piloto que suministra aceite de la bomba piloto a los carretes (Spool) del control de válvulas principal
- Sistema de control electrónico que consiste en el ECM de la maquina y el ECM del motor de combustión interna.
- Sistema de enfriamiento que proporciona aceite al motor hidráulico del ventilador, este se encarga de enfriar el aceite hidráulico de la maquina, refrigerante del motor y el aire que entra a la cámara de admisión del motor..

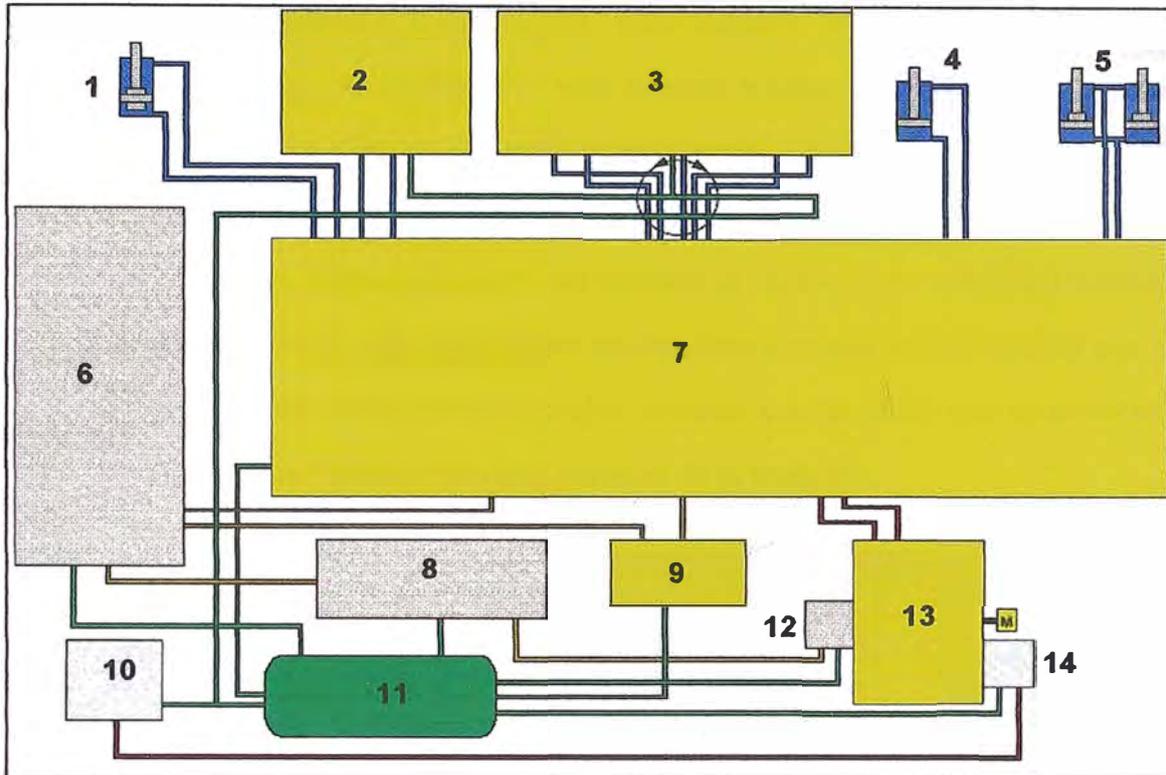


Fig. 2.2 Diagrama de bloques de los sistemas de una Excavadora

1	Cilindro del Brazo	8	Múltiple de Pilotaje
2	Motor hidráulico de Giro	9	Válvulas de prioridad
3	Motores hidráulicos de Traslación	10	Motor hidráulico del ventilador
4	Cilindro del Cucharón	11	Tanque hidráulico
5	Cilindros de la Pluma	12	Bomba Piloto
6	Control de Válvulas Piloto	13	Bomba hidráulica principal
7	Control de Válvulas principal	14	Bomba hidráulica del ventilador

2.2.1 Sistema Hidráulico Principal

Como se menciono líneas arriba, este sistema controla los implementos, traslación y giro de la maquina, esto lo hace gracias a una válvula de control principal de dos cuerpos acoplada, cada cuerpo es alimentado por cada bomba de manera independiente.

La válvula de control principal esta ubicada al centro de la estructura superior de la máquina, los carretes reciben aceite piloto (llamado señales piloto) que se genera por una bomba de engranajes, llamada Bomba piloto que se encuentra acoplada en la bomba Hidráulica principal de la maquina.

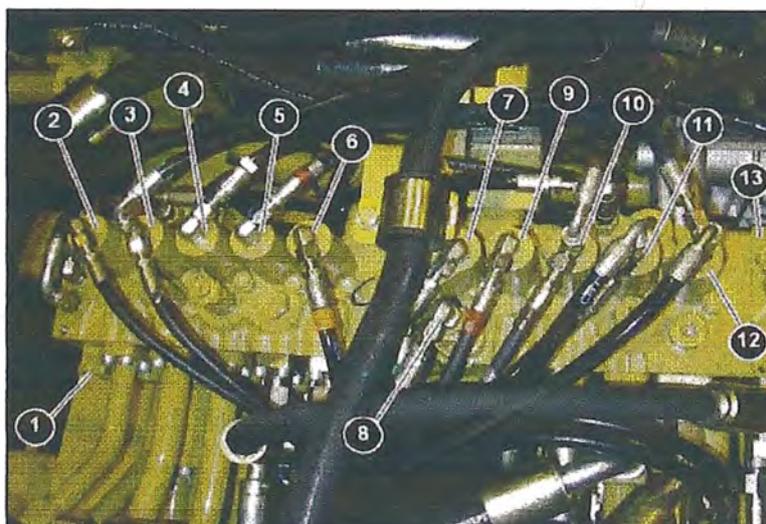


Fig. 2.3 Control de válvulas principal

1	Válvula de alivio NFC lado derecho	8	Válvula de alivio NFC lado derecho
2	Válvula de control del brazo 2	9	Válvula de control del brazo 2
3	Válvula de control pluma 1	10	Válvula de control pluma 1
4	Válvula de control del cucharón	11	Válvula de control del cucharón
5	Válvula de control del accesorio	12	Válvula de control del accesorio
6	Válvula de control de la oruga derecha	13	Válvula de control de la oruga derecha
7	Válvula solenoide de marcha recta		

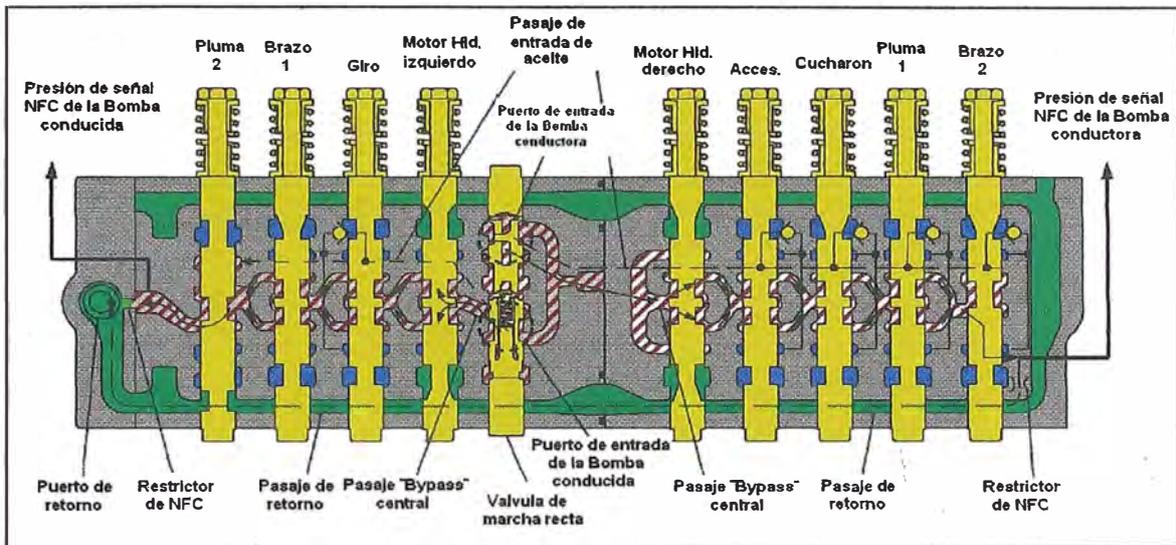


Fig. 2.4 Vista en corte del control de válvulas principal

La señal piloto que se genera, es controlada por el movimiento de los joystick o palancas que se encuentran en la cabina del operador, estas señales entran en cualquiera de los extremos de los carretes para cambiar la posición y así ejecutar una labor como por ejemplo extender o retraer un cilindro, avanzar o girar la excavadora, girar la tornamesa, etc.

El carrete o spool se desplazará en proporción a la velocidad con la que el operador mueva las palancas que se encuentran en la cabina del operador, de acuerdo a los especificado en el manual de partes de la maquina.

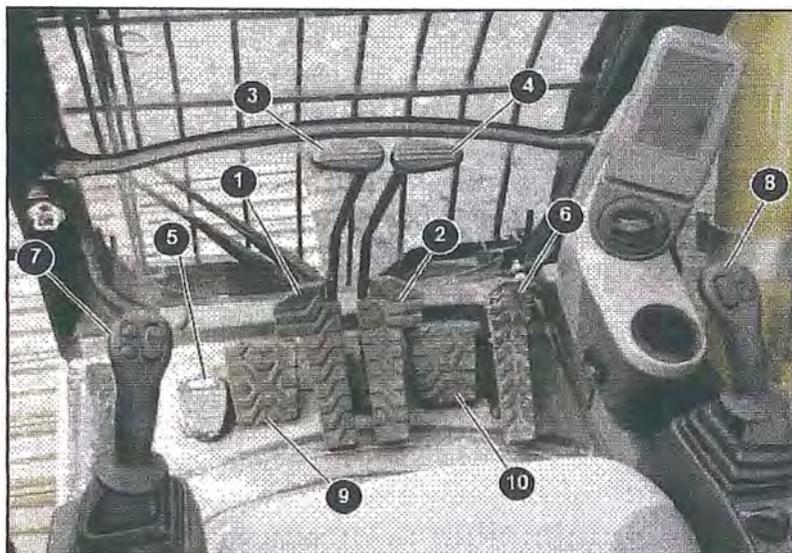


Fig. 2.5 Ubicación de controles de la cabina

1	Pedal izquierdo de traslación	6	Pedal recto - accesorios
2	Pedal derecho de traslación	7	Joystick o palanca izquierda
3	Palanca izquierda de traslación	8	Joystick o palanca derecha
4	Palanca derecha de traslación	9	Reposapiés izquierdo
5	Interruptor de pie - accesorios	10	Reposapiés derecho

2.2.2 Sistema Hidráulico Piloto

Los sistemas de control piloto son señales hidráulicas de aceite que controlan el movimiento de válvulas de control de dirección, una menor presión es suficiente para mover el carrete de una válvula que lleva presión mucho mayor, estos sistemas hidráulicos piloto nos permite operar sistemas de dirección, sistemas de implementos, etc, además nos permiten mayor precisión en la operación reduciendo los esfuerzos del operador.

Una Bomba piloto (1) de tipo engranajes y que esta acoplada mecánicamente a la Bomba Hidráulica principal y su función es suministrar flujo de aceite al sistema piloto, El flujo de aceite de la bomba piloto pasa a través del filtro de aceite piloto (2) y en los componentes del sistema piloto, la Válvula de alivio piloto (3) esta localizada en la base del filtro, esta válvula limita la presión máxima del sistema piloto, cabe anotar que puede ser regulada mediante una tuerca que se encuentra en la misma base.

Esta presión puede ser medida mediante un puerto de toma rápida (4) que se encuentra al lado derecho de la base del filtro y en el lado izquierdo también se encuentra el puerto para el muestreo de aceite (5).

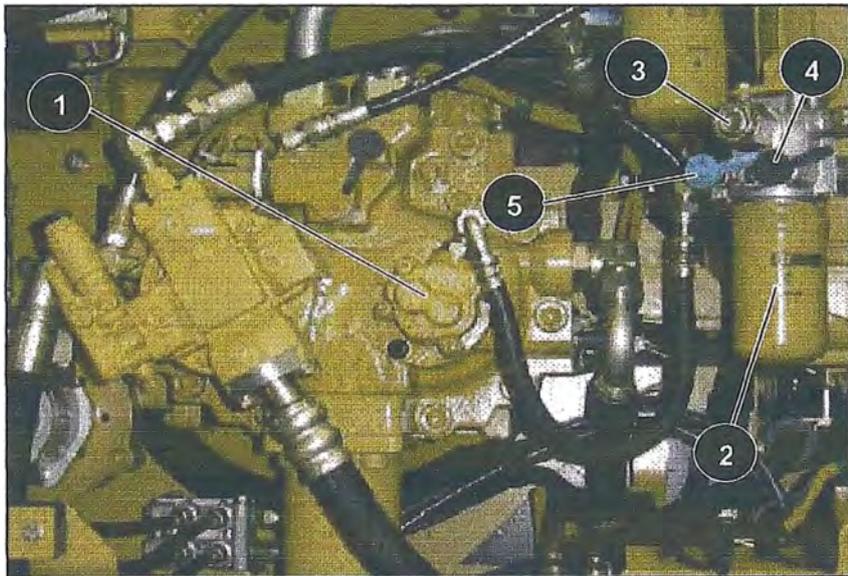


Fig. 2.6 Vista de la Bomba piloto

El sistema Hidráulico Piloto tiene 3 funciones

- Crea presión piloto para controlar el flujo de salida de las bombas, esto se debe a que parte del aceite piloto se deriva en una válvula llamada Válvula reductora proporcional (PRV) y que como se detallará más adelante es una señal que se encarga de controlar el flujo de salida de la Bomba hidráulica principal.
- Crea presión piloto de control para los implementos, giro y traslación, debido que con una presión aproximada de 595 psi originada por las restricciones del sistema y la bomba piloto, puedo mover el carrete del control de válvulas principal de un implemento que lleva una presión generada por la bomba hidráulica principal de 5000 psi
- Crea presión piloto para controlar automáticamente los dispositivos, ya que algunos de ellos son activados electrónicamente.

2.2.3 Sistema de Control Electrónico

El ECM (Modulo de control Electrónico) de la maquina recibe señales de entrada de varios componentes en la máquina y las supervisa continuamente para controlar el flujo de la salida de las bombas principales, la velocidad del motor y varios componentes de los sistemas hidráulicos de la máquina.

Las señales o dispositivos de entrada usados en los sistemas electrónicos Caterpillar se pueden clasificar como: Switches (Interruptores), Senders (Senders) y Sensores.

Todos estos elementos envían señales eléctricas al ECM, luego de procesar esta información la administra a los dispositivos de salida (solenoides, válvulas, etc) para que el trabajo de la maquina sea el mas optimo. La figura que se muestra a continuación es el ECM de la Maquina que se encuentra en la parte posterior de la cabina.



Fig. 2.7 Modulo de Control Electrónico (ECM)

El ECM de la máquina tiene las siguientes funciones principales :

- Controla el flujo de salida de las bombas principales.- El ECM de la máquina envía una señal eléctrica al solenoide del cambio de potencia (Power Shift Solenoid) que se basa en velocidad del motor y la posición del dial de la velocidad del motor. Esto permite que las bombas principales suministren la salida óptima que iguala la carga hidráulica de la máquina y la velocidad del motor.

Cuando una carga hidráulica grande se pone en la máquina, es decir trabajos con los implementos, el sistema permite a las bombas disminuir su flujo, para evitar que el motor tenga un calado (aumento desproporcionado en la carga del motor).

- Controla la velocidad del motor .- Esto se llama el Control Automático de Velocidad del motor o Automatic Engine Speed Control (AEC). Cuando hay una condición de carga muy pequeña o ninguna condición de carga, el sistema disminuye automáticamente la velocidad del motor. El sistema de Control Automático de Velocidad del Motor (AEC) se diseña para reducir el consumo de combustible y el ruido, cuando la maquina se encuentra parada o en espera que se inicie el proceso de descarga de material.
- Controla varios componentes del sistema hidráulico de la maquina ya que enviá señales de salida a los siguientes componentes
 - Válvula solenoide del freno de giro de la tornamesa.- Cuando se mueve el Joystick o palanca de implementos es enviada una señal eléctrica que hace que se libere el freno de giro y la excavadora pueda hacer el trabajo de giro de la tornamesa.
 - Válvula solenoide de la velocidad de traslación-. Mediante un botón que se encuentra en la cabina del operador, se puede incrementar la velocidad de traslación de la Excavadora de lenta a rápida. Esto se debe al envió de una señal eléctrica a una válvula

que hace que incremente el flujo en los motores hidráulicos de traslación y por lo tanto un aumento en la velocidad de traslación.

- Solenoide de marcha recta de traslación-. Cuando se mueve las palancas de los implementos y de traslación a la vez , se energiza un solenoide que a la vez hace mover una válvula y que proporciona que el flujo de aceite de una sola Bomba Hidráulica alimente a los dos motores hidráulicos de traslación.

La Excavadora también posee un ECM en el motor C9 ACERT el cual utiliza los datos del funcionamiento reunidos por varios sensores y los utiliza para regular la respuesta del motor (presión de inyección y la sincronización de la inyección), autodiagnóstico, control de emisiones y economía de combustible.

Contiene mapas de funcionamiento programados (software) para definir la potencia, las curvas de par y las rpm.

El ECM registra las fallas del funcionamiento del motor, es también capaz de operar automáticamente varias pruebas de diagnóstico cuando se utilizan el ECM y el Técnico Electrónico Caterpillar (ET) conjuntamente.

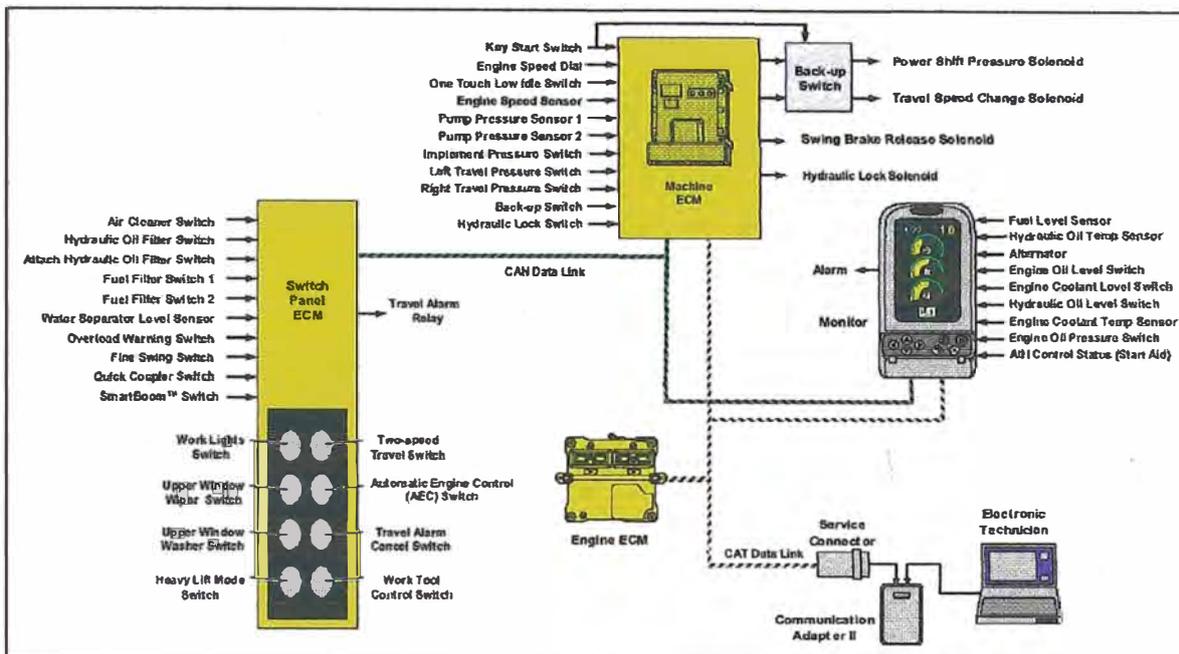


Fig. 2.8 Diagrama de bloques del Sistema de Control Electrónico

2.3 BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

Las Excavadoras Caterpillar tienen dos bombas principales idénticas de diseño Kawasaki con capacidad de 74 US gpm (280 L/min) cada una, la cual se encuentra ubicada en la parte posterior derecha de la máquina.

Una de ellas está acoplada a la volante del motor diesel, la cual es llamada Bomba Conconductora (Drive Pump), la otra bomba es accionada a través de un engranaje común la cual es llamada Bomba Conducida (Idler Pump).

Ambas bombas de desplazamiento variable son de pistones axiales con plato oscilante, cada una de las mismas tiene un regulador mecánico (uno por cada bomba) que recibe cuatro señales de presión hidráulica independientes, estas señales controlan el flujo de salida de cada bomba en forma independiente.

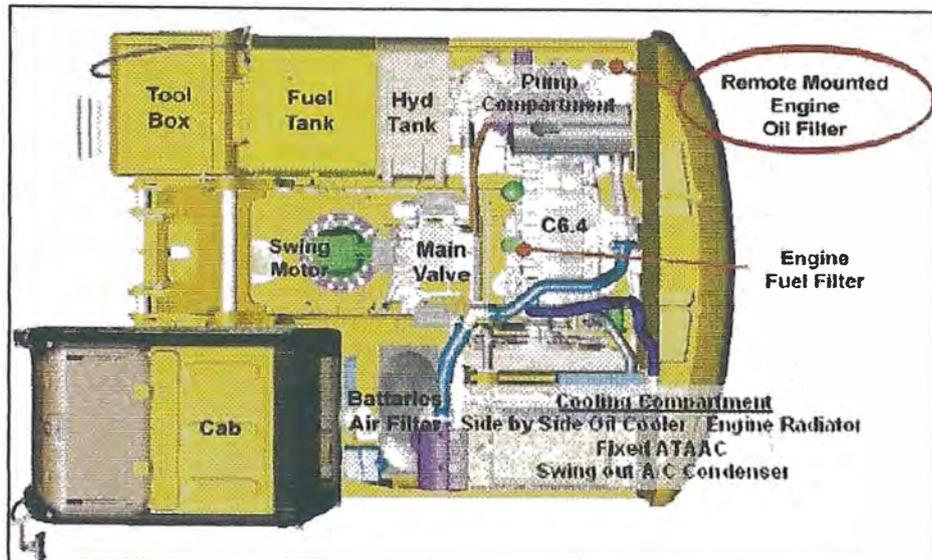


Fig. 2.9 Ubicación en la maquina de la Bomba Principal Hidráulica

Esta Bomba Hidráulica principal posee dos bombas debido a que cada una de ellas alimenta a los diferentes sistemas, la generación del flujo se debe a que se encuentra acoplada mecánicamente a un motor C9 con tecnología ACERT (Advanced Emissions Reduction Technology), con una potencia neta – SAE J1349 de 188 KW (252 HP)

Los sistemas a los cuales suministra flujo se detallan en la siguiente tabla :

Bomba derecha o conductora (Right Pump)	Bomba Izquierda o conducida (Left Pump)
Bomba Hidráulica del Ventilador (Hydraulic Fan)	Bomba Piloto (Pilot Pump)
Motor hidráulico de desplazamiento derecho (Travel Right)	Motor hidráulico de desplazamiento izquierdo (Travel Left)
Accesorios (Attachment)	Motor hidráulico de Giro de la tornamesa (Motor Swing)
Cucharón (Bucket)	Pluma (Boom)
Pluma (Boom)	Brazo (Stick)
Brazo (Stick)	-

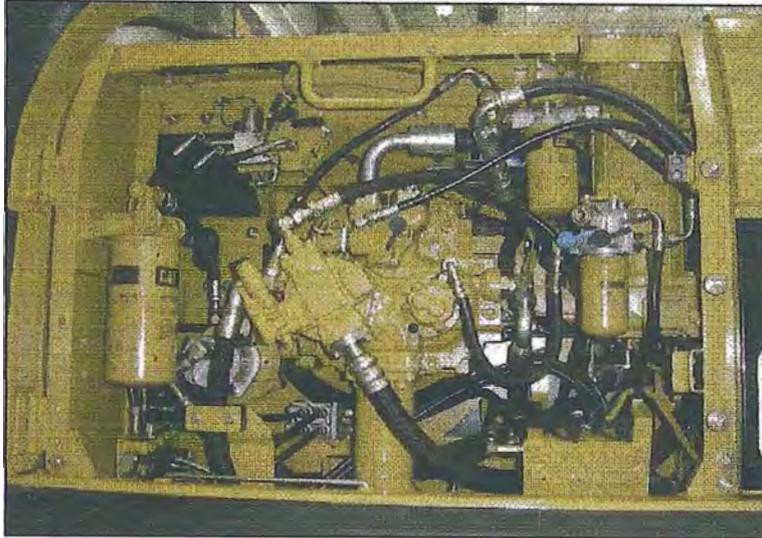


Fig. 2.10 Vista general de la bomba Hidráulica

2.3.1 Generación del flujo en Bombas de Pistón Axial de caudal variable

El ángulo de la plancha basculante controla la distancia que el pistón se mueve dentro y fuera de las cámaras del tambor. Mientras mayor sea el ángulo de la plancha basculante en forma de cuña, mayor será la distancia del movimiento del pistón y mayor la salida de la bomba por cada revolución.

El cambio del ángulo hace que el flujo de salida varíe entre los ajustes máximos y mínimos, aunque la velocidad del eje se mantiene constante.

En estas bombas, cuando un pistón se mueve hacia atrás, el aceite fluye hacia la entrada y llena el espacio dejado por el pistón en movimiento. A medida que la bomba gira, el pistón se mueve hacia adelante, el aceite es empujado hacia afuera a través del escape de salida y de allí pasa al sistema.

Es importante resaltar que en gran mayoría las bombas de pistones usadas en equipos móviles son de pistones axiales.

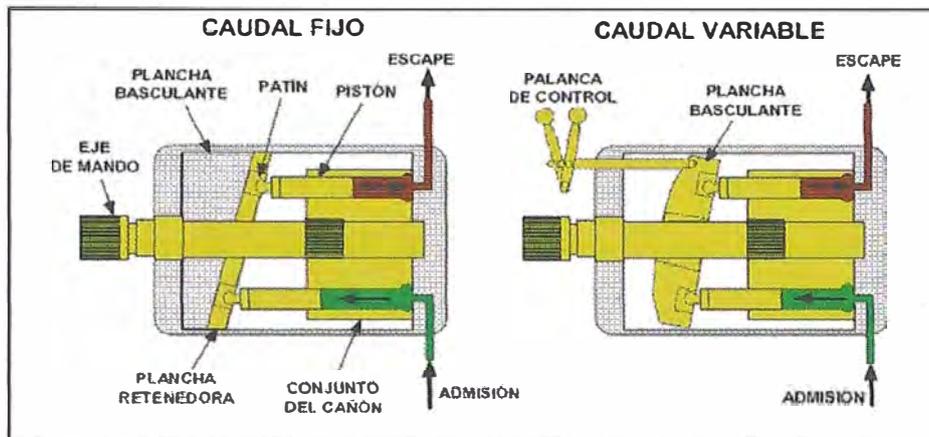


Fig. 2.11 Tipos de Bombas de Pistones Axiales

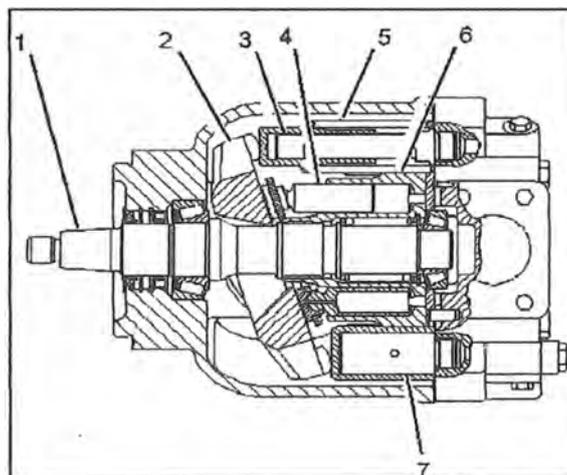


Fig. 2.12 Partes de una Bomba de Pistones Axiales

1	Eje de la bomba	5	Resorte posicionador
2	Plato basculante	6	Grupo de rotación de la bomba
3	Pistón posicionador	7	Pistón de control
4	Pistones		

2.3.2 Partes principales de la Bomba Hidráulica Principal

La Bomba derecha o Bomba conductora (2) vista desde el motor, esta conectada a la volante del motor mediante un acople flexible, la Bomba izquierda o Bomba conducida (5) es accionada por la bomba derecha mediante un engranaje, cada bomba tiene su propio regulador (usado para controlar el flujo), toma de presión (usados para colocar un manómetro) y sensor de presión.

La Válvula Reductora Proporcional PRV (4) esta montada al centro de la carcasa de la bomba, esta toma la presión piloto y genera la Presión de Cambio de Potencia (Power Shift) hacia los reguladores como señal de control; tiene una toma de presión (5).

Otros componentes adicionales mostrados en la foto son : Regulador Bomba derecha, (6) Regulador Bomba izquierda (8), el tornillo de ajuste de mínimo ángulo del plato basculante de la Bomba izquierda.(7), la Bomba Piloto (9) y la Bomba del ventilador (10).

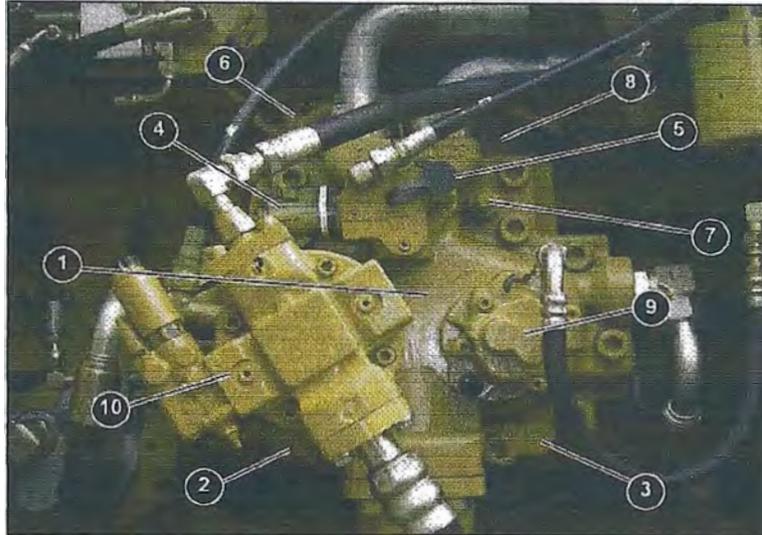


Fig. 2.13 Partes principales de la Bomba principal

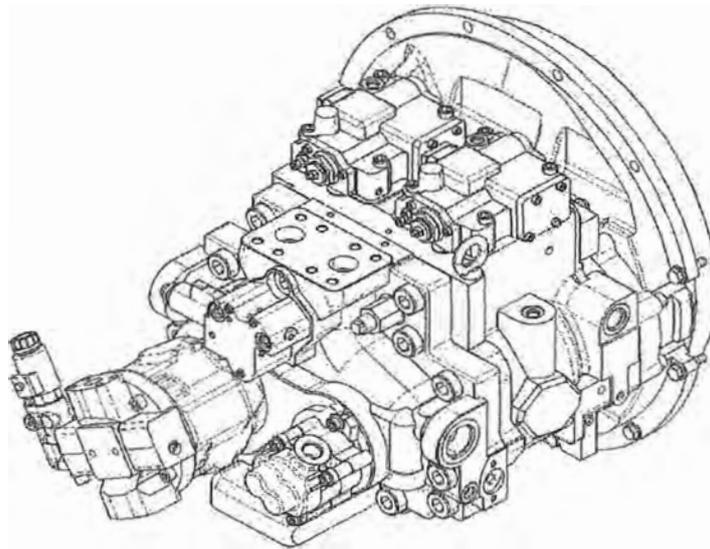


Fig. 2.14 Vista Isométrica de la Bomba Hidráulica

En la figura 2.15 se muestra el regulador de la Bomba derecha o Bomba conductora, esta se encuentra localizada encima y detrás de la Válvula Reductora Proporcional (PRV).

A continuación se muestra lo siguiente:

- (1) Tornillo de ajuste del Control de Flujo negativo (NFC) de la Bomba derecha.
- (2) Tornillo de control de potencia de la Bomba derecha.

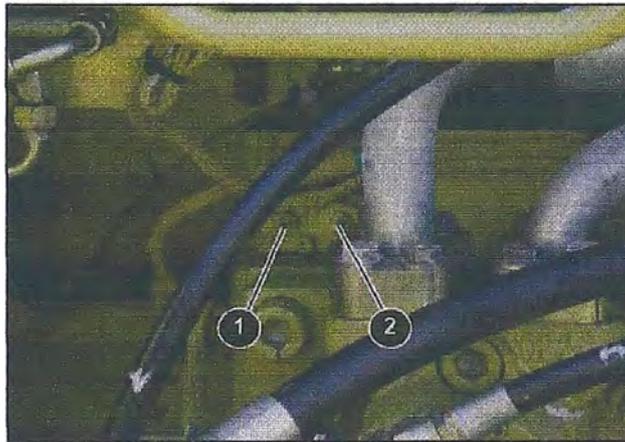


Fig. 2.15 Tornillos Reguladores

2.3.3 Funcionamiento de la Bomba Hidráulica Principal

A continuación se explica el movimiento de las bombas por acción de acoplamiento con el motor:

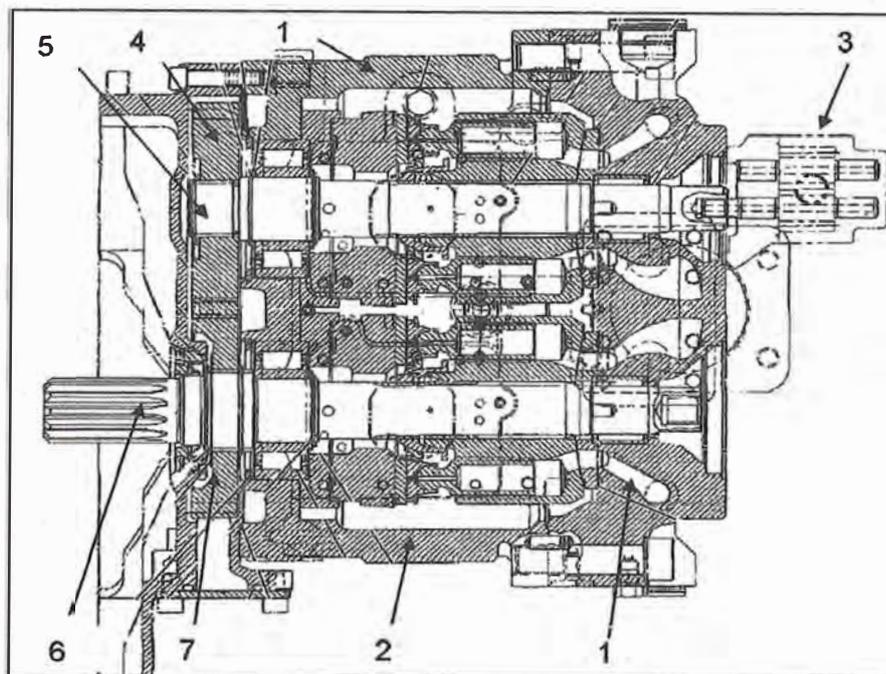
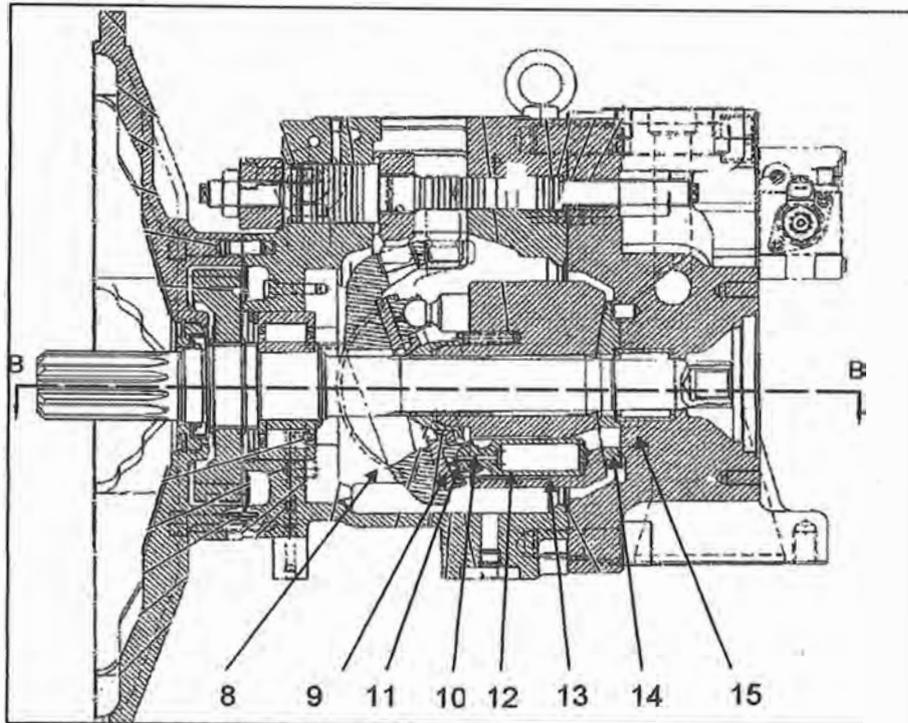


Fig. 2.16 Identificación de partes de una Bomba Hidráulica Principal

1	Bomba Conducida	6	Eje Impulsor	11	Pistón deslizador
2	Bomba Conductora	7	Engranaje	12	Pistón
3	Bomba Piloto	8	Placa Oscilante	13	Barril
4	Engranaje	9	Placa	14	Placa portuaria
5	Eje conducido	10	Retenedores	15	Pasaje

El engranaje (7) del eje impulsor (6) endienta con el engranaje (4) del eje conducido (5). El engranaje (4) y el engranaje (5) tienen el mismo número de dientes.

El eje impulsor (6) de la Bomba conductora (2) es conectada con el motor por un acople. Cuando el motor está funcionando, el eje conducido (5) y el eje impulsor (6) giran a la misma velocidad. Por lo tanto, la Bomba conductora (2) y la Bomba conducida (1) giran a la misma velocidad.

La Bomba piloto (3) está conectada directamente con el eje conducido (5). El barril (13) contiene nueve pistones (12). Los deslizadores del pistón (11) son conectados con los pistones (12) por los retenedores (10). Los deslizadores del pistón se presionan contra la placa (9).

La placa (9) se encuentra en la placa oscilante (8). El barril (13) esta esta acoplado por medios de unas ranuras internas al eje impulsor (6). Mientras que el eje impulsor (6) gira, el barril, los pistones y los deslizadores del pistón giran alrededor de la placa oscilante (8). El ángulo de la placa oscilante (8) determina la longitud del movimiento del pistón (12). Como el ángulo de la placa oscilante aumenta, la longitud del movimiento de los pistones aumenta y el flujo de la salida de la bomba aumenta.

Mientras que el deslizador del pistón (11) gira alrededor de la placa oscilante, el pistón se mueve longitudinalmente dentro del barril (13).

El pistón extrae el aceite del pasaje (15) de la placa portuaria (14) durante este movimiento. A medida que el deslizador del pistón continúa girando alrededor de la placa oscilante, el pistón se mueve dentro de los alojamientos del barril.

2.4 SISTEMA DE PRESIÓN DE CAMBIO DE POTENCIA (POWER SHIFT PRESSURE)

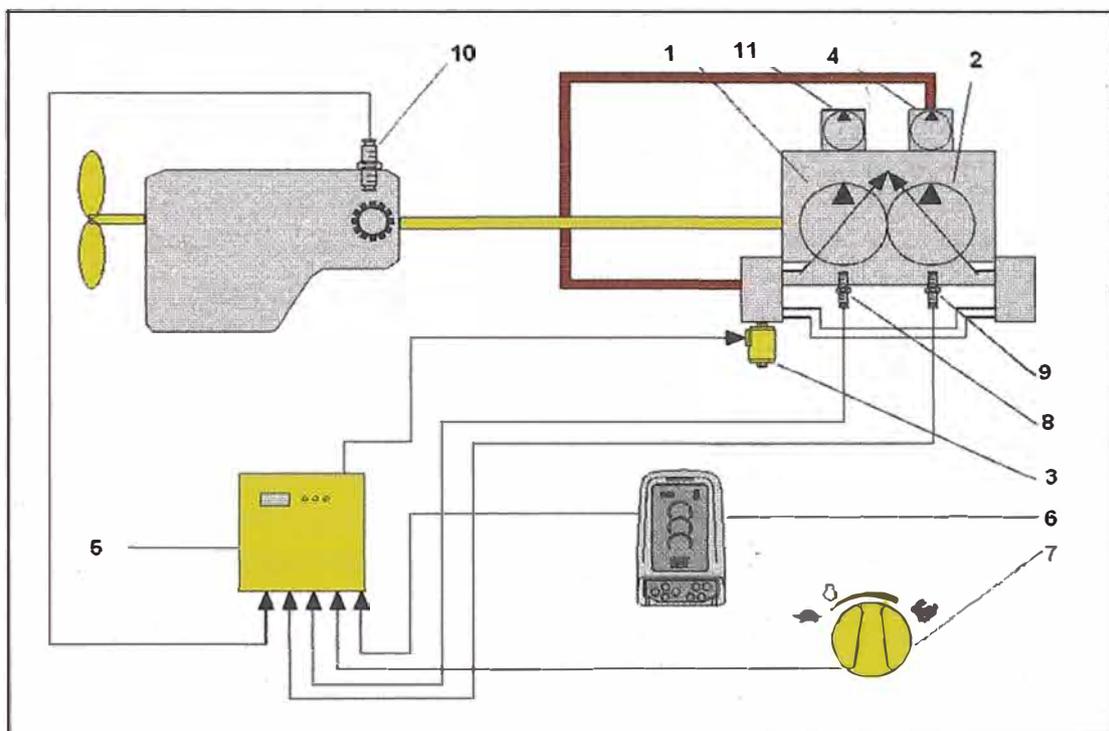


Fig. 2.17 Diagrama de funcionamiento

- | | |
|--|--|
| (1) Bomba conductora | (6) Monitor |
| (2) Bomba conducida | (7) Selector de velocidad del motor |
| (3) Válvula Reductora Proporcional
(Presión de Cambio de Potencia – PS) | (8) Sensor de presión de la Bomba conductora |
| (4) Bomba Piloto | (9) Sensor de presión de la Bomba conducida |
| (5) ECM de la maquina | (10) Sensor de Velocidad del motor |
| | (11) Motor hidráulico del ventilador |

Durante el funcionamiento, el ECM de la maquina (5) recibe señales de entrada de los siguientes componentes:

- Selector de Velocidad del Motor (7)
- Sensor de velocidad del Motor (10) que se encuentra en la volante
- Sensor de presión de la bomba conducida (8)
- Sensor de presión de la bomba conductora (9)
- Monitor en la cabina (6)

La máquina de ECM (5) controla continuamente todas las señales de entrada. Las señales de entrada son procesadas por el ECM de la máquina y una señal de salida se envía a la Válvula Reductora Proporcional (3) en el regulador de la bomba, esta válvula ayuda a controlar el flujo de salida de la bomba conductora (1) y de la bomba conducida (2).

El aceite que suministra la bomba piloto (4) fluye a través del filtro piloto hacia la Válvula Reductora Proporcional (3) en el regulador de la bomba. La señal eléctrica que se envía desde el ECM de la maquina (5) hace que la Válvula Reductora Proporcional (3) regule la presión piloto a una presión reducida, esta reducción de presión es llamada Presión de Cambio de Potencia (Power Shift Pressure - PS).

La Válvula Reductora Proporcional envía la Presión Piloto reducida a través del regulador de la Bomba Conductora y a través del regulador de la Bomba Conducida.

El flujo de salida de la Bomba conductora (1) y de la Bomba conducida (2) se controla de acuerdo a la Presión de Cambio de Potencia, esta se utiliza para regular el flujo máximo permisible de las Bombas Hidráulicas.

La señal de salida que se envía desde el ECM de la Máquina hacia la Válvula Reductora Proporcional puede cambiar cuando esta detecte un cambio en cualquiera de las señales de entrada.

La Presión de cambio de Potencia (PS) que se envía a los reguladores de las bombas puede cambiar con el fin de regular el flujo máximo permisible, y así el motor se mantenga en la velocidad deseada.

Una disminución en la velocidad del motor causa un incremento de la Presión de Cambio de Potencia (PS), lo que origina un desangulamiento del plato basculante de la Bomba (Destroke) y por lo tanto una disminución del flujo de salida.

Un aumento en la velocidad del motor causa una disminución de la Presión de Cambio de Potencia (PS), lo que origina un angulamiento del plato basculante de la Bomba (Upstroke) y por lo tanto un aumento del flujo de salida.

2.4.1 Disminución de la velocidad del motor

Cuando el ECM de la maquina percibe una disminución en la velocidad del motor (por debajo de lo deseado), el ECM aumenta de manera proporcional la señal de corriente al solenoide. A medida que la fuerza magnética se incrementa en el solenoide, vence la fuerza del resorte, haciendo que el carrete se desplace hacia abajo, este movimiento hace que el carrete bloquee el paso del aceite hacia el tanque. En estos momentos la Presión de cambio de Potencia (PS) se dirige hacia los reguladores de las Bombas conductora y conducida haciendo que disminuya el flujo de las bombas.

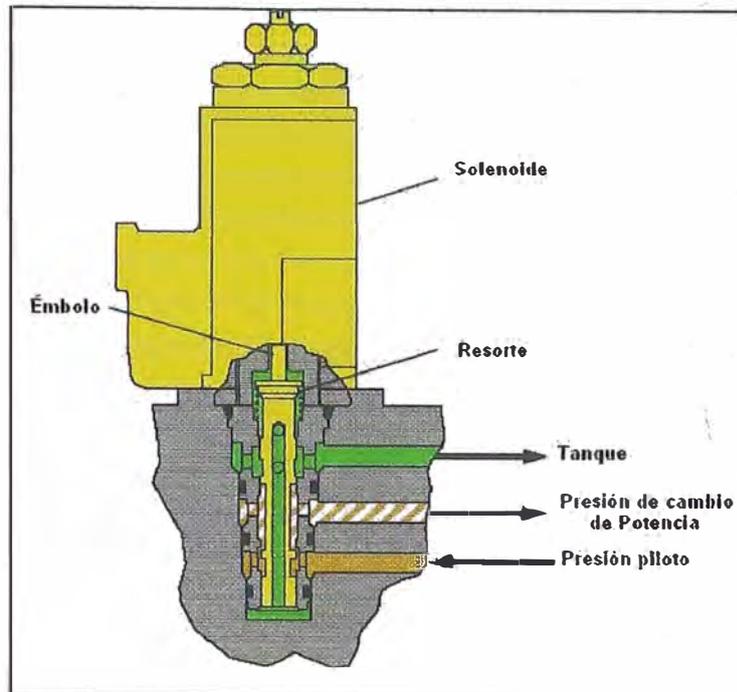


Fig. 2.18 Solenoide PRV energizado

2.4.2 Aumento de la velocidad del motor

Cuando el ECM de la maquina percibe un aumento en la velocidad del motor el ECM disminuye de manera proporcional la señal de corriente al solenoide.

Por lo tanto la fuerza magnética disminuye en el solenoide, lo que ocasiona que la fuerza en el resorte sea mayor, haciendo que el carrete se mueva hacia arriba, este movimiento ascendente restringe el flujo de aceite piloto hacia el pasaje de cambio de potencia, haciendo que este quede conectado con el tanque, por lo tanto la Presión de cambio de potencia (PS) se reduce.

Esta Presión de cambio de Potencia reducida se dirige hacia los reguladores y ocasiona que el flujo de las bombas aumente.

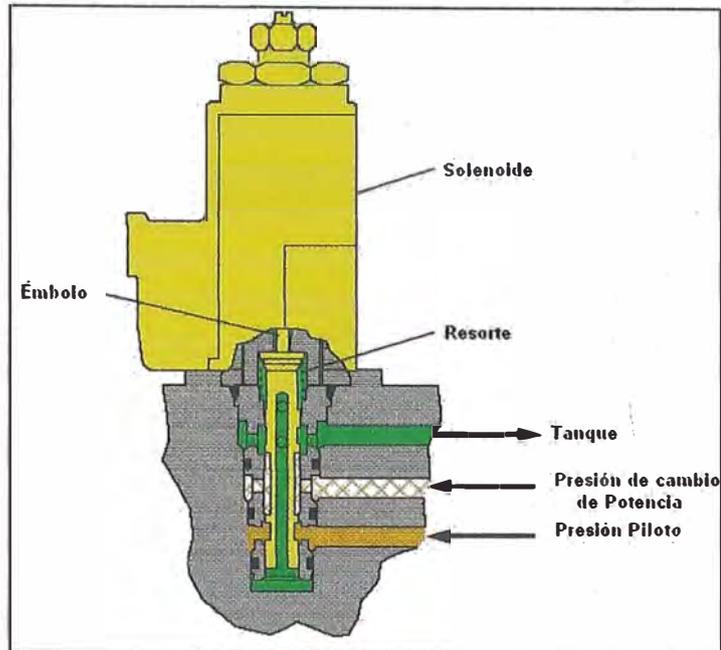


Fig. 2.19 Solenoide PRV desenergizado

2.5 MANGUERAS HIDRÁULICAS

Las mangueras absorben la vibración y resisten las variaciones de presión. Las mangueras CAT exceden ampliamente las especificaciones dadas por la norma SAE 100, soportando mayores temperaturas y proporcionando mejor protección contra la hinchazón de la manguera.

Las diversas capas mostradas en la figura 2.20 son:

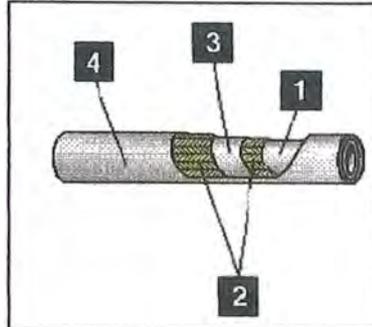


Fig. 2.20 Capas de una manguera Hidráulica \

1. Tubo interior de polímero.- Sella el aceite y no permite que escape.
2. Capa de refuerzo.- Puede ser de fibra para presión baja o de alambre para presión alta, lo que soporta el tubo interior. Pueden usarse de una a seis capas.
3. Capa de fricción de polímero.- Separa las capas de refuerzo para evitar la fricción entre ellas y por tanto el desgaste.
4. Capa externa.- Protege la manguera del desgaste y de otros componentes.

2.5.1 Clasificaciones de presión de las mangueras

En el equipo móvil se usa una variedad de mangueras para presiones baja, mediana y alta, dependiendo de los requerimientos del sistema.

Las diferentes mangueras mostradas en la figura 2.17 son:

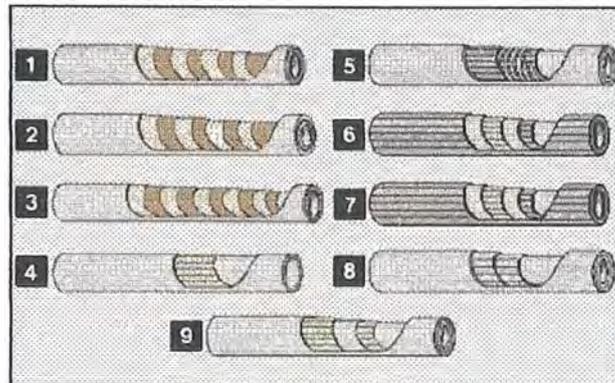


Fig. 2.21 Tipos de Manguera Hidráulica CAT

	Tipo de manguera	Presión de trabajo
1	XT-3 (Cuatro espirales)	Presión alta: 2.500 - 4.000 psi
2	XT-5 (De cuatro a seis espirales)	Presión alta: 6.000 psi
3	XT-6 (Seis espirales)	Presión alta: 6.000 psi
4	716 (Una trenza de alambre)	Presión mediana/baja: 625 - 2.750 psi
5	844 (De succión hidráulica)	Presión baja: 100 - 300 psi
6	556 (Tela y una trenza de alambre)	Presión mediana/baja: 500 - 3.000 psi
7	1130 (Motor/freno de aire)	Presión mediana/baja: 1.250 - 3.000 psi
8	1028 (Termoplástico)	Presión mediana: 2.250 - 5.000 psi
9	294 (Dos trenzas de alambre)	Presión mediana/alta: 2.250 - 5.000 psi

La selección de mangueras dependerá de su uso (temperatura, fluido a transportar, etc.) y de los niveles de presión que soportará el sistema.

Para el caso de las pruebas y regulación con el Flow Meter en la Excavadora se usara mangueras con numero de parte 5P-0201 (XT-5 Hose 3.5 m) con equivalencia en SAE 100R13, sus características son las siguientes :

- Diámetro interior de la manguera : 25.4 mm.
- Presión de trabajo máxima : 5 000 psi.
- Radio de flexión mínimo : 153 mm (línea central de la manguera)

2.5.2 Tipos de acoplamientos de mangueras

Los acoplamientos de mangueras se usan en ambos extremos de la longitud de la manguera con el fin de conectar la manguera a los componentes del sistema hidráulico. Se usan tres métodos para unir los acoplamientos a los extremos de la manguera.

- Rebordeado.- Permanente, no reutilizable, con bajo riesgo de falla, que trabaja bien en todas las aplicaciones de presión.

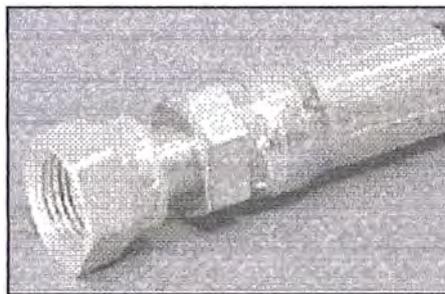


Fig. 2.22 Acoplamiento rebordeado

- De tornillo.- Reutilizable, puede instalarse en las mangueras en campo usando herramientas manuales, útil en aplicaciones de presiones mediana y baja.

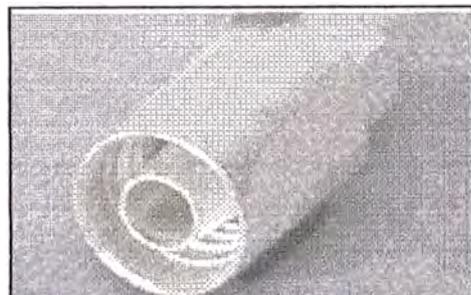


Fig. 2.23 Acoplamiento de tornillo

- De collar.-Reutilizable, diseñado para aplicaciones de manguera de presión alta, debe armarse y desarmarse usando una prensa de manguera.

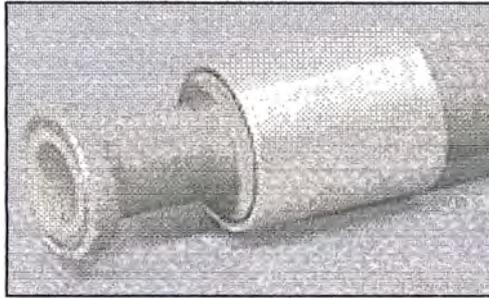


Fig. 2.24 Acoplamiento de collar

El extremo del acoplamiento de la manguera que no está directamente unido a la manguera unirá otro componente del sistema hidráulico. Se usan dos tipos generales de extremos de acoplamientos: conector de brida y conector roscado. Hay dos espesores para los extremos del conector de brida para algunas mangueras de tamaño específico, determinado por la presión del sistema. Hay varios extremos de conectores roscados, determinados por las conexiones a las cuales están conectados. Los conectores roscados se restringen generalmente a mangueras de 1,25 pulgadas de diámetro o más pequeñas.

CAPITULO III
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA
BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para entender fácilmente el funcionamiento del regulador de las bombas vamos a plantear un diagrama simplificado tal y como se muestra en la figura 3.1.

Asumiendo que el control del ángulo del plato basculante es por medio de un pistón hidráulico, el resorte en el extremo de cabeza del pistón mueve el ángulo del plato basculante a máximo caudal o flujo, cuando llega presión a la cámara del extremo del vástago el resorte se comprime y reduce el ángulo del plato basculante a mínimo flujo.

El pistón tiene 2 topes mecánicos, los tornillos de regulación de máximo y mínimo ángulo que a la vez determinan el máximo y mínimo flujo.

La tensión del resorte se puede regular por medio de un tornillo regulador de Control de Potencia, en algunas excavadoras hay 2 resortes y cada uno tiene su propio tornillo, el resorte más grande es para bajas presiones y el más pequeño para altas presiones cada uno de ellos con sus tornillos respectivos

La señal de presión de Control de Flujo Negativo (NFC) puede tener un tornillo o lamas (laminas de acero delgadas) para su regulación, estas variarán la velocidad de respuesta de la bomba ante el movimiento de los carretes del Control de Válvulas.

3.2 SEÑALES DE CONTROL DE LA BOMBA HIDRÁULICA

Cada una de las Bombas hidráulicas recibe cuatro señales diferentes para controlar el flujo de salida de las bombas y estas son las siguientes :

- Primera señal : Control de Flujo Negativo (Negative Flow Control - NFC)
- Segunda señal : Presión de la Bomba Hidráulica.
- Tercera señal : Censado Cruzado de Presión (Cross Sensing Control)
- Cuarta señal : Presión de Cambio de Potencia (Power Shift Pressure – PS)

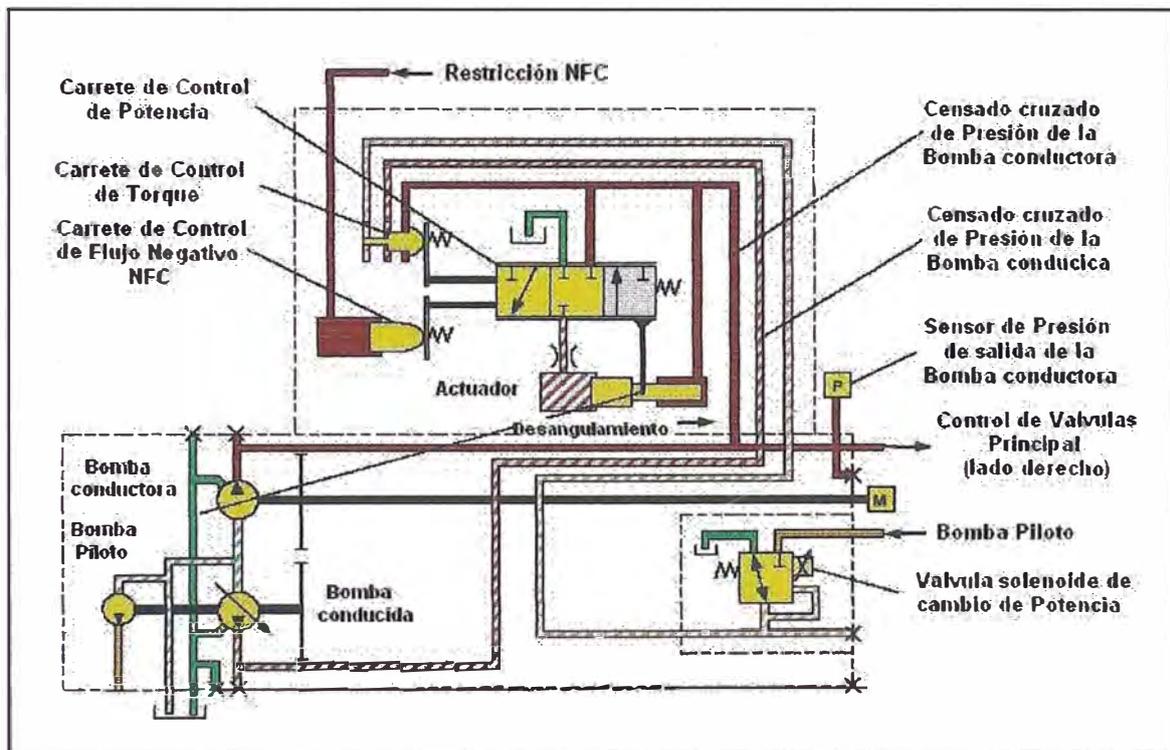


Fig. 3.2 Señales de control de la Bomba Hidráulica conductora

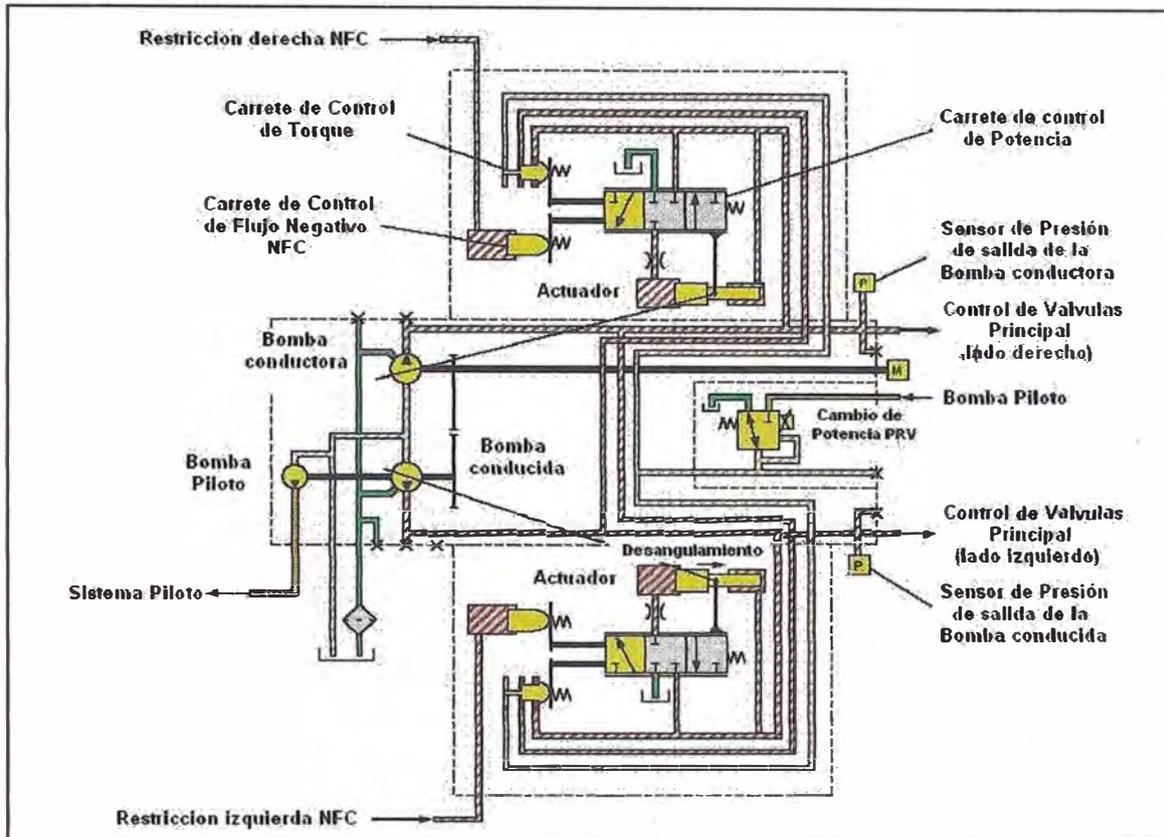


Fig. 3.3 Señales de control de la Bomba conductora y conducida

3.2.1 Primera señal : Control de Flujo Negativo (NFC)

Es la primera señal de control para el flujo de salida de las Bombas Hidráulicas, es generada en la válvula de control principal, con los joystick (Palanca de mando) en neutral, es decir sin moverlos, el flujo pasa por los carretes de centro abierto del control de válvulas principal y retorna al tanque por el orificio de restricción NFC.

Esta restricción causa una señal de presión llamada NFC que es enviada a los reguladores de la Bomba conductora y conducida respectivamente.

Cuando un regulador recibe una alta presión NFC mantiene la bomba en espera (Stand By), cerca al desplazamiento mínimo de la bomba.

Al mover un control fuera de la posición neutral, el pasaje de centro abierto es cerrado proporcionalmente al movimiento del carrete de control, esto reduce la señal NFC hacia el regulador, que incrementa proporcionalmente el flujo de salida de las bombas.

Si el carrete se mueve al tope, cerrando el pasaje de la NFC, esta presión es igual a la del circuito de retorno a tanque (definida por la válvula check de retorno) Dentro del regulador, la alta señal NFC es mayor a la señal de Control de Potencia Constante y reduce el flujo de salida de la bomba al mínimo.

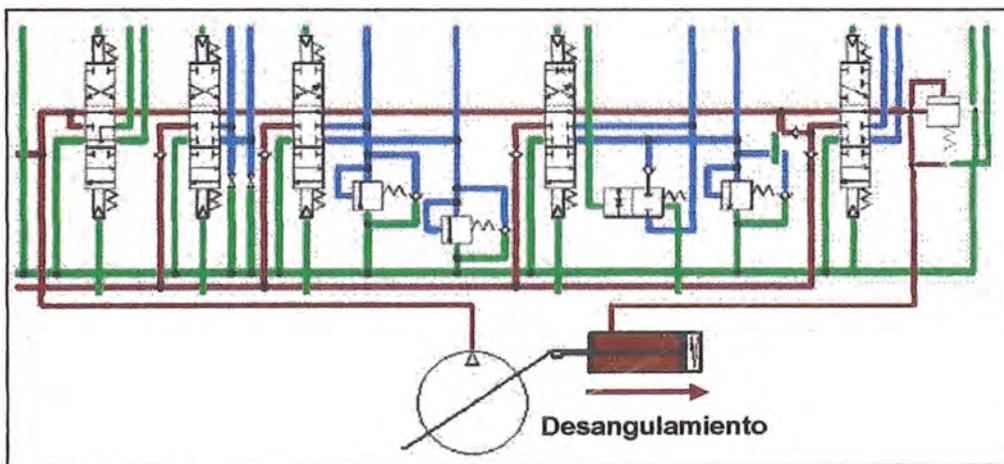


Fig. 3.4 Diagrama mostrando NFC alta

Al activarse un control se reduce la señal al regulador (presión baja de NFC), esto angula la bomba y envía el flujo requerido

Relación Inversa (llamada negativa)

Flujo de la Bomba (Q)	Presión NFC
Bajo (-)	Alta (+)
Alto (+)	Baja (-)

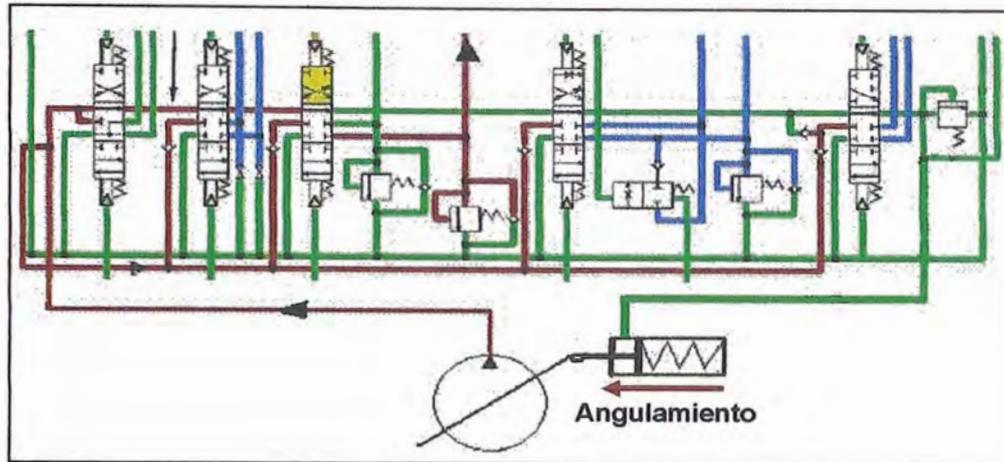


Fig. 3.5 Diagrama mostrando NFC baja

3.2.2 Segunda Señal : Presión de la Bomba Hidráulica

La segunda señal es la más importante para el control del regulador ya que limita la potencia hidráulica que será requerida al motor diesel, la potencia se expresa en HP y esta se transforma desde el motor diesel hasta los implementos.

Las especificaciones de la excavadora 330D obtenemos los siguientes datos

- Potencia Neta del motor = 268 hp (SAE J1349)
- Flujo máximo de las bomba = 74 US gpm
- Presión máxima de alivio = 5 076 psi

$$\text{Potencia Hidráulica (hhp)} = \frac{Q_{\max} \times P_{\max}}{1714} = \frac{74 \times 5076}{1714} \times 2 = 438.3 \text{ hp}$$

Donde Q_{\max} (US gpm), P_{\max} (psi) y donde 1 US gpm = 3.785 L/min

Del ejemplo es fácil darse cuenta que si multiplicamos el caudal máximo de una bomba (Q_{\max}) por la máxima presión de alivio (P_{\max}) y esto por dos (ya que son

dos bombas) obtendríamos una Potencia Hidráulica mucho mayor a la Potencia disponible del motor diesel, entonces el regulador de la bomba debe mantener siempre que la Potencia del Motor sea mayor que la Potencia Hidráulica.

Esto se logra gracias al funcionamiento del resorte de Control de Potencia y obtenemos la Curva característica de una bomba: el cambio de flujo de una bomba es representado por la curva característica (B) P-Q (presión vs caudal) desde el punto (A) donde el ángulo del plato basculante de la bomba empieza a disminuir, cada punto de esta curva representa el flujo y la presión cuando la potencia es mantenida constante.

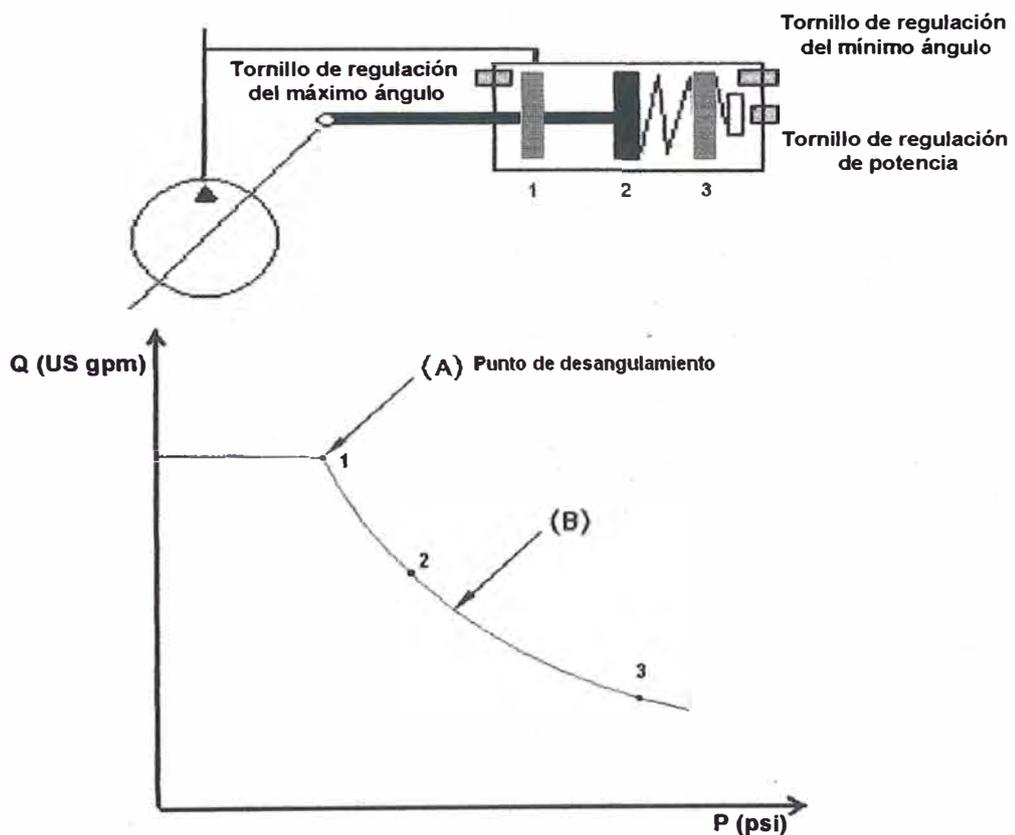


Fig. 3.6 Curva característica de la Bomba Hidráulica

3.2.3 Tercera Señal : Censado Cruzado de Presión

Las excavadoras cuando están con alta carga hidráulica trabajan con ambas bombas, para mantener la Potencia del motor hacia las bombas en un ratio constante, los reguladores reciben la presión de la bomba conductora y conducida, esto es llamado Control de Potencia Constante (enclavamiento para mantener cierto equilibrio), el comportamiento es similar al de la segunda señal.

3.2.4 Cuarta Señal : Presión de Cambio de Potencia

La Válvula Reductora Proporcional PRV recibe una señal de control del ECM de la maquina para regular la Presión de Cambio de Potencia (PS) en relación con la velocidad del motor.

La señal PS a los reguladores permite a la máquina mantener la velocidad deseada del motor para una máxima productividad.

Si la velocidad del motor es menor (baja) que la velocidad deseada (seteada por el dial en la cabina) debido a una alta carga hidráulica de las bombas, el ECM de la maquina aumenta la presión PS, la lectura del sensor de velocidad del motor (expresada en rpm) es tomada 2.5 segundos luego de salir los Joystick de la posición neutral, la PS reduce el ángulo del plato basculante de la bomba, esto disminuye el flujo de salida de las bombas reduciendo la carga hidráulica al motor, en consecuencia el motor mantiene la velocidad deseada.

3.3 CONTROLES DE LA BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

Las tres secciones de control están conectados con una serie de pines y palancas, estas secciones de control separadas trabajan juntas para regular caudal de la bomba y así cambiar el ángulo del plato basculante de la bomba, según la demanda y requerimientos hidráulicos.

La Presión que suministra la bomba se dirige al extremo pequeño del Pistón actuador para angular la Bomba y también una señal de presión regulada se dirige al extremo grande del pistón actuador para desangular la Bomba.

La sección de control de Potencia dirige un poco de aceite del sistema de presión hacia el extremo más grande del pistón actuador. El extremo inferior de la palanca de respuesta se conecta al pistón actuador. La palanca de respuesta funciona como un vínculo para mover el carrete de control de Potencia cuando se mueve el pistón actuador grande.

El Control de Flujo Negativo (NFC) en la sección trabaja en conjunto con la sección de Control de Potencia para desangular el plato basculante cuando todos los controles hidráulicos están en neutral.

La sección de control de Torque trabaja en conjunto con la sección de control de Potencia para regular el flujo de las bombas cuando los circuitos hidráulicos son activados.

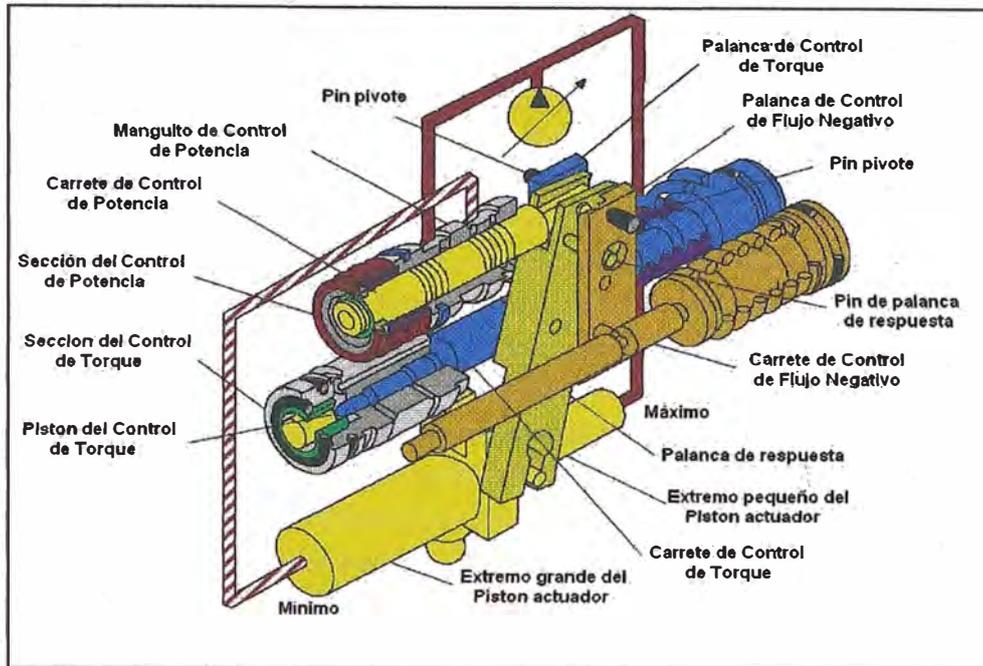


Fig. 3.7 Vista isométrica del regulador de la Bomba

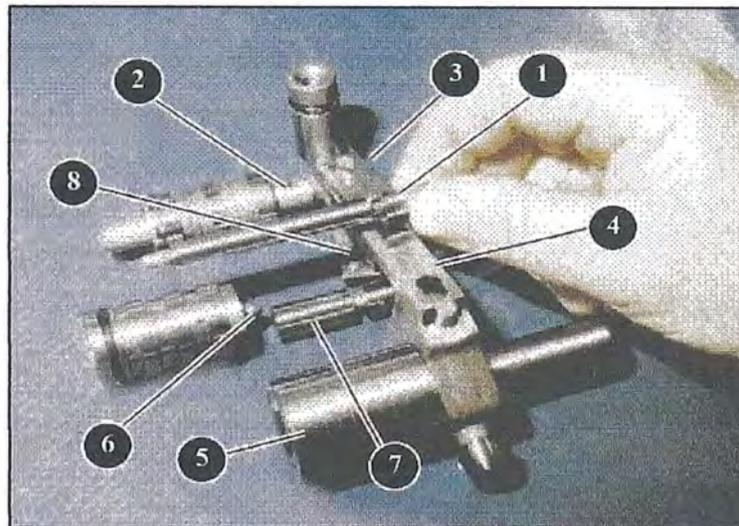


Fig. 3.8 Partes del regulador de la Bomba

1	Carrete de Control de flujo negativo	5	Pistón actuador
2	Carrete de Control de potencia	6	Pistón de control de torque
3	Palanca de control de flujo negativo	7	Carrete de control de torque
4	Palanca de respuesta	8	Palanca de control de torque

La figura 3.9 muestra una vista en corte de los controles de la bomba. El carrete de NFC está conectado al extremo inferior de la palanca de NFC con un pin. El extremo superior de la palanca de NFC pivotea en un pin fijado en la carcasa.

El carrete de control de Torque está conectado al extremo inferior de la palanca de control de Torque mediante un pin. El extremo superior de la palanca de control de Torque pivotea en un pin fijado en la carcasa.

El extremo superior de la palanca de respuesta está conectada al carrete de control de Potencia mediante un pin. El extremo inferior de la palanca de respuesta está conectada al pistón actuador.

El pin de palanca de respuesta encaja en el agujero grande de la palanca de control de torque y de la palanca de NFC. Los agujeros grandes permiten el control individual de la palanca de control de Torque y de la palanca de NFC.

El movimiento del pistón actuador provoca que la palanca de respuesta pivotee en el pin de la palanca de respuesta y mueva el carrete de control de Potencia.

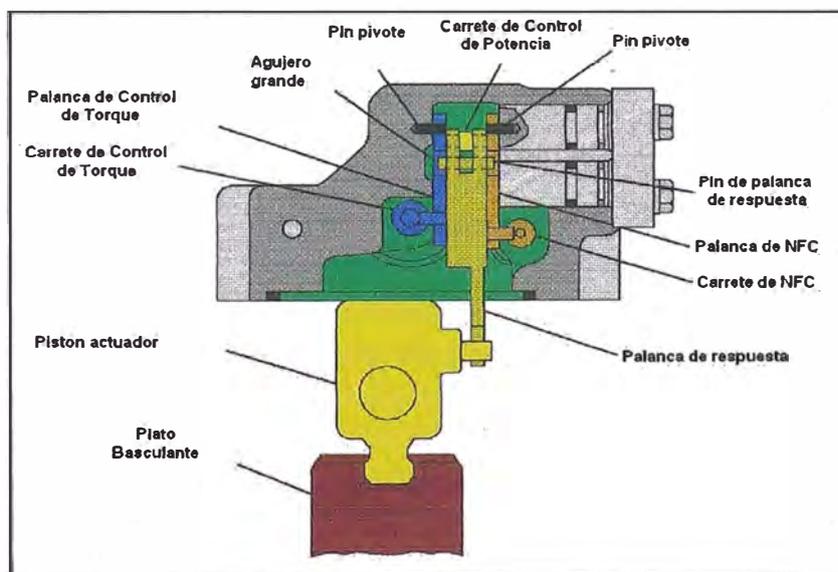


Fig. 3.9 Vista en corte del regulador de la Bomba

3.4 ETAPAS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA HIDRÁULICA

3.4.1 Stand By – Full Destroke

Cuando el control de válvulas esta en la posición neutral, una alta presión NFC del orificio restrictor NFC se dirige al extremo izquierdo del Carrete NFC. La presión NFC empuja el carrete NFC hacia la derecha en contra de la fuerza del resorte.

En la posición de Stand By (Espera), el carrete de Control de Potencia dirige una señal de presión, que es parte de la presión del sistema al extremo del mínimo ángulo del pistón actuador. Este aumento de presión mueve el pistón actuador hacia la derecha contra el tope de tornillo del mínimo ángulo.

El flujo de la bomba se mantendrá constante hasta que la presión de NFC del control de válvulas disminuya. El tornillo de regulación del NFC cambia el efecto de la presión NFC en el carrete.

Girando el tornillo en sentido horario causa que se requiera mas presión NFC antes de mover el carrete, esta condición hace que el aumento del ángulo del plato basculante de la bomba (Upstroke) sea mas rápido, es decir con menos modulación (tiempo de respuesta entre el movimiento del Joystick y la reacción de la bomba) al activar una función hidráulica.

En el caso contrario, girando el tornillo en sentido antihorario causa que se necesite menos presión NFC para mover el carrete, esta condición hace que el aumento del ángulo del plato basculante de la bomba (Upstroke) sea mas lento, es decir con mas modulación al activar una función hidráulica.

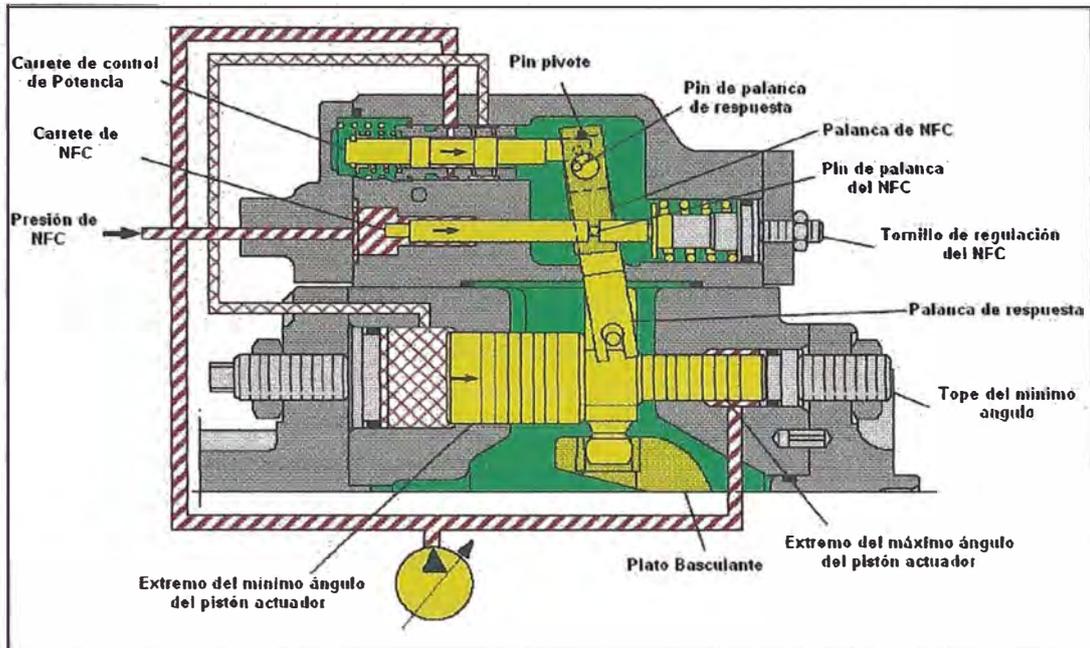


Fig. 3.10 Posición del regulador en Standby

3.4.2 Flow Increase – Start of Upstroke

En esta etapa se muestra el inicio del angulamiento de la bomba causada por una disminución de la presión de la NFC.

Cuando el control de válvulas cambia de la posición neutral, la presión NFC disminuye, lo que origina que el resorte mueva hacia la izquierda el pistón NFC, a la vez este mueve el extremo inferior de la palanca NFC hacia la izquierda.

El pin pivote esta fijado en la carcasa del regulador de la bomba y la palanca NFC

Como el extremo inferior de la palanca NFC se mueve hacia la izquierda, el agujero grande a través de la palanca también se mueve hacia la izquierda, la

fuerza del resorte jala el carrete de control de Potencia y el extremo superior de la palanca de respuesta hacia la izquierda.

El pistón actuador (extremo izquierdo) es abierto a drenaje (tanque) a través del orificio restrictor a la derecha del manguito de control de potencia (extremo derecho del carrete de control de potencia), la presión del sistema entra al extremo derecho del pistón actuador empujándolo hacia la izquierda para aumentar el ángulo del plato basculante de la bomba.

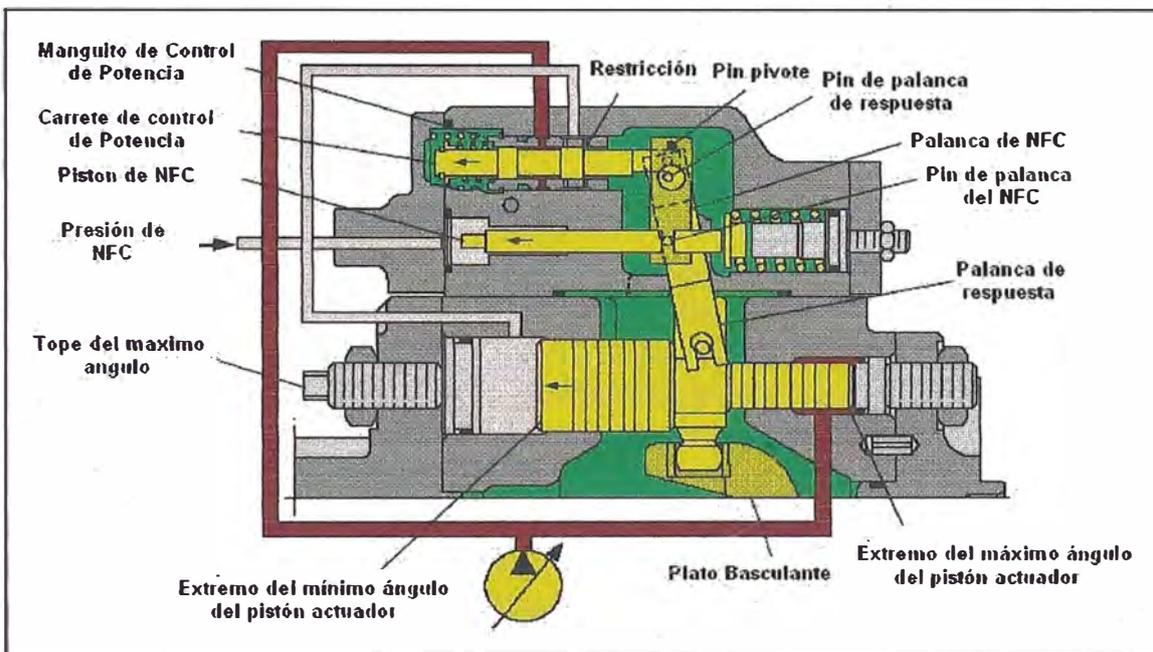


Fig. 3.11 Posición del regulador en Start of Upstroke

3.4.3 Constant Flow

Al moverse el pistón actuador también lo hace la palanca de respuesta, a la vez esta jala hacia la derecha el carrete de control de Potencia hasta que encuentre un punto de equilibrio con el orificio restrictor del manguito del control de Potencia

La salida de Flujo desde el extremo de mínimo ángulo del pistón actuador es ahora dosificada por el carrete y manguito del control de Potencia.

El ángulo del plato basculante de la bomba se mantiene constante hasta que la presión NFC vuelva a cambiar.

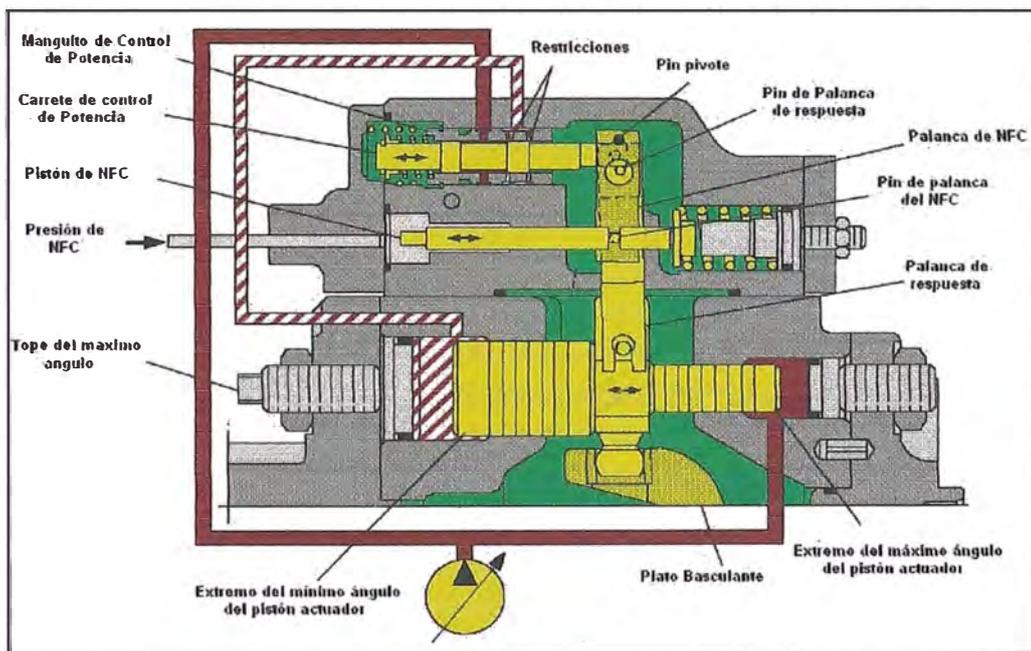


Fig. 3.12 Posición del regulador en Constant Flow

3.4.4 Flow Increase – Full Upstroke

Si la presión NFC es reducida a mínimo, debido a que se activa los controles hidráulicos, la bomba puede angularse hasta que el pistón actuador entre en contacto con el tope del máximo ángulo.

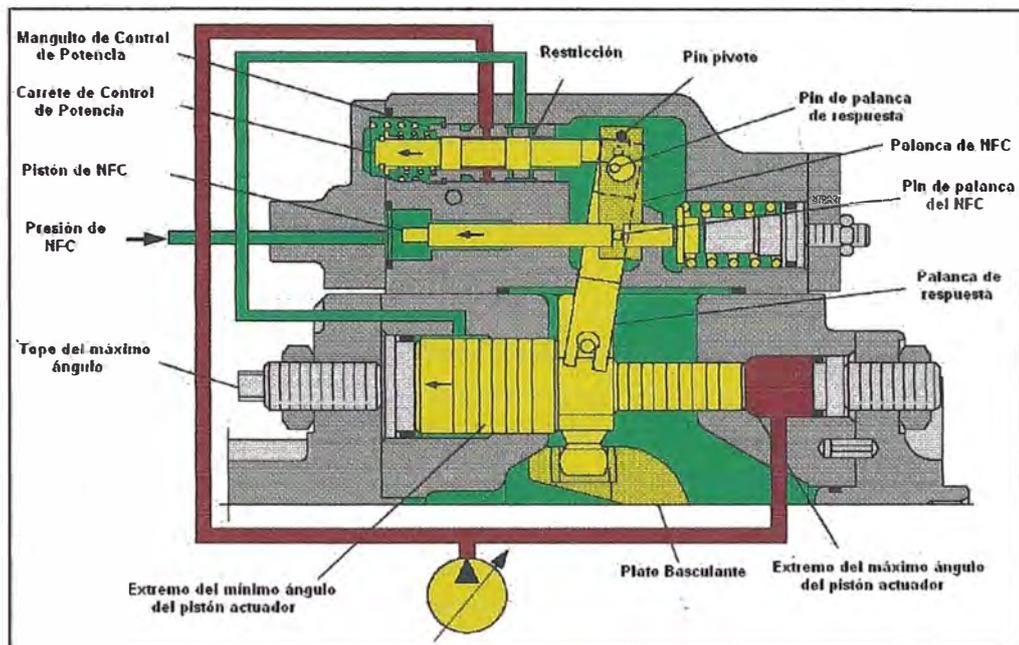


Fig. 3.13 Posición del regulador en Flow Increase

3.4.5 Flow Decrease – Start of Destroke

La figura 3.14 muestra el pistón de control de torque y el carrete de control de Potencia en la posición de inicio de desangulamiento (Beginning of Destroke) debido a un incremento en la carga hidráulica del sistema.

Para efectos de explicación asumiremos que la Presión de cambio de Potencia (PS) que es creada desde válvula solenoide PRV permanece constante.

El pin pivote esta fijado a la carcasa del regulador y la palanca de control de Torque pivotea alrededor de este.

El tornillo regulador de Potencia grande ajusta el punto inicial de desangulamiento (Starts of Destroke) y el tornillo regulador de Potencia pequeño regula la velocidad con que la bomba desangula el plato basculante.

- La presión de cambio de Potencia (PS) desde la válvula solenoide PRV entra en el regulador y empuja el extremo izquierdo del pistón de control de Torque.
- La presión de esta bomba entra al resalte (shoulder area) de la derecha del pistón de control de Torque.
- La señal de presión de flujo cruzado (presión de la otra bomba) entra al resalte (shoulder area) de la izquierda del pistón control de Torque.

La combinación de las tres presiones mencionadas líneas arriba empuja el pistón de control de Torque hacia la derecha contra la fuerza del resorte de control de Potencia.

El carrete de control de Potencia dirige una señal de presión hacia el extremo del mínimo ángulo en el pistón actuador para iniciar el desangulamiento del plato basculante de la bomba.

Cuando las presión suministrada por el sistema y la presión de cambio de Potencia empujan el pistón control de Torque hacia la derecha

- El carrete de control de Torque se mueve a la derecha comprimiendo el resorte de control de potencia. El carrete de control de Torque mueve el extremo inferior de la palanca de control de Torque hacia la derecha.

- La palanca de control de Torque jala el pin de palanca de respuesta y el extremo superior de la palanca de respuesta hacia la derecha.
- La palanca de respuesta jala el carrete de control de Potencia hacia la derecha en contra de la fuerza del resorte.

La presión que suministra el sistema pasa a través del orificio restrictor del manguito de control de Potencia hacia el extremo del mínimo ángulo del pistón actuador, un aumento de este ultimo mueve el pistón actuador para desangular el palto basculante de la bomba.

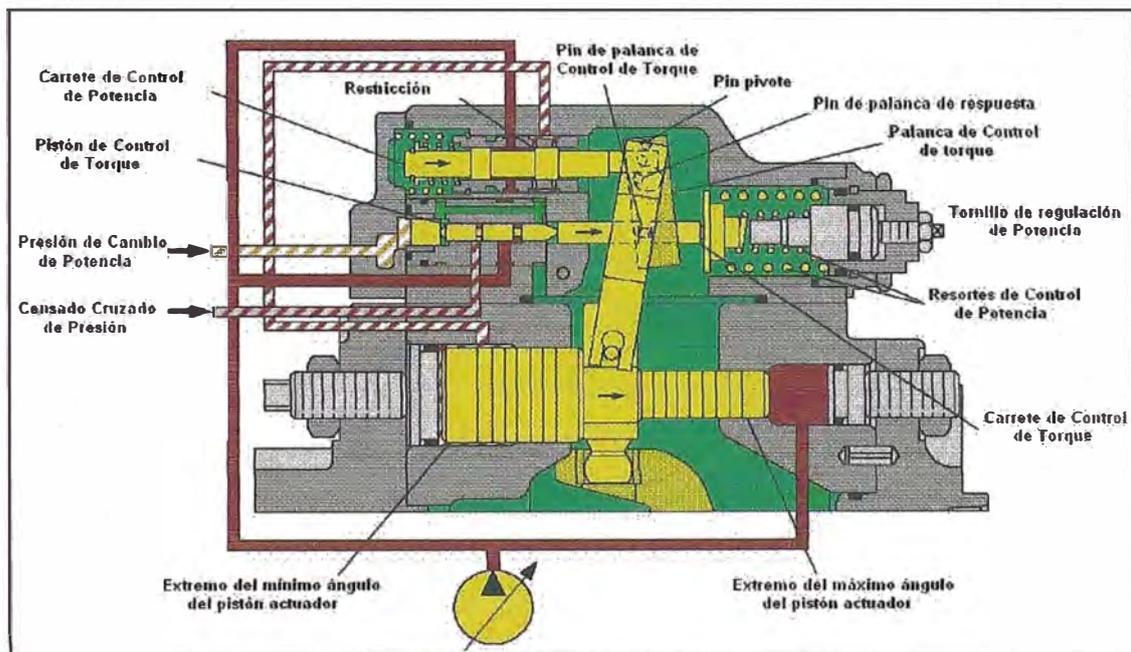


Fig. 3.14 Posición del regulador en Flow Decrease

3.4.6 Flow Decrease – End of Destroke

En la figura se muestra el regulador en el final del desangulamiento debido al incremento de la carga hidráulica.

Cuando el pistón actuador se mueve hacia mínimo ángulo (hacia la derecha), el extremo inferior se mueve hacia la derecha, luego la palanca de respuesta mueve el carrito de control de Potencia hacia la izquierda, así la presión del sistema es dosificada a través de dos orificios restrictores hacia y desde el extremo del mínimo ángulo del pistón actuador, así mismo el flujo de la bomba es mantenido constante hasta que una de las señales de presión cambie.

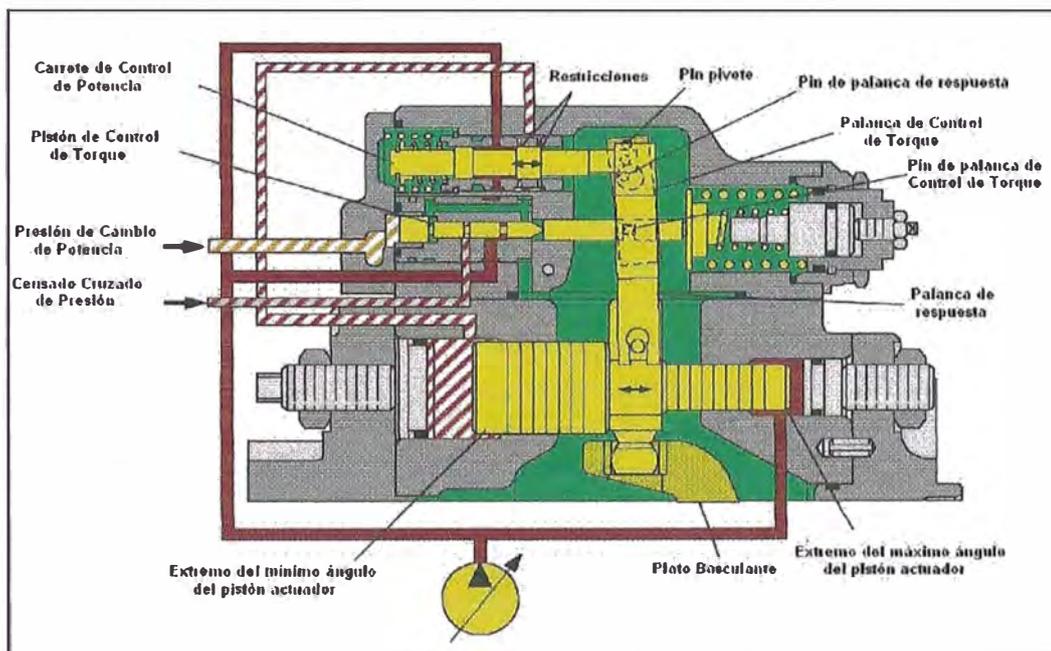


Fig. 3.15 Posición del regulador en End of Destroke

3.5 PORTABLE HYDRAULIC TESTER 4C9910 – FLOW METER

El equipo Flow Meter, es un instrumento que sirve para hacer pruebas y regulaciones hidráulicas a la Bomba Hidráulica de las Excavadoras Caterpillar.

Los datos que se comprueban son que a una determinada presión hidráulica originada por la restricción de un regulador variable que se encuentra en la mismo Flow Meter la bomba suministre un caudal o flujo determinado, estos datos serán comparados con las especificaciones de fabrica.

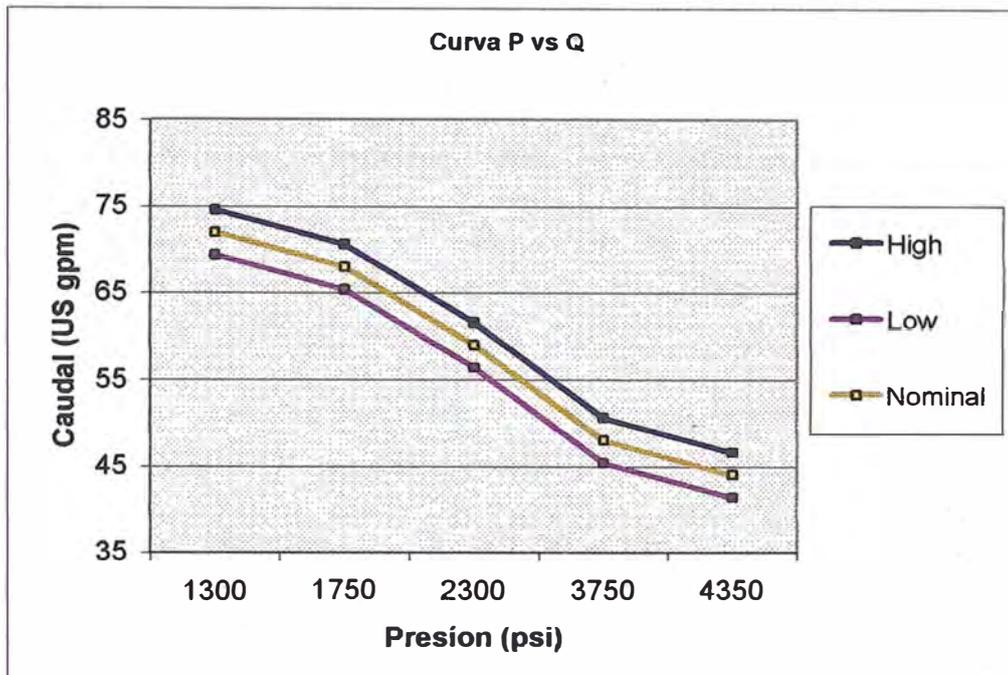


Fig. 3.16 Curva característica de una Bomba

	Puntos de medición				
Presión (psi)	1300	1750	2300	3750	4350
Especificación (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

Esta prueba se debe hacer en los siguientes casos :

- Bombas Hidráulicas reparadas (cambio de algunos de los componentes internos).
- Tiempos de ciclos de los implementos por debajo o encima de lo especificado.
- Sobrecalentamiento del motor de la Excavadora.
- Excavadoras nuevas.

La prueba de Flow Meter conecta la salida de cada una de las bombas hidráulica al equipo, de tal manera que no haya comunicación entre la bomba y el control de válvulas de la Excavadora.

El flujo de aceite que pasa por el regulador va hacia el tanque hidráulico de la Excavadora a través de una válvula de retorno lento que forma parte del sistema hidráulico.

Cuando se realiza esta prueba se cumple lo siguiente con las señales del regulador :

- La presión de flujo cruzado permanece constante, debido a que la otra bomba permanece en Stand By, dado que no se mueve ningún implemento,
- La Presión NFC, es prácticamente cero ya que como se menciono esta presión se genera en el control de válvulas cuando los carretes están en la posición neutral.
- La Presión de cambio (PS) se fija en un valor mediante el monitor que se encuentra en la cabina de la Excavadora en 415 ± 7 psi

Al estar estas tres señales constantes solo nos quedaría controlar el plato basculante de la misma bomba a la cual se hace la prueba.

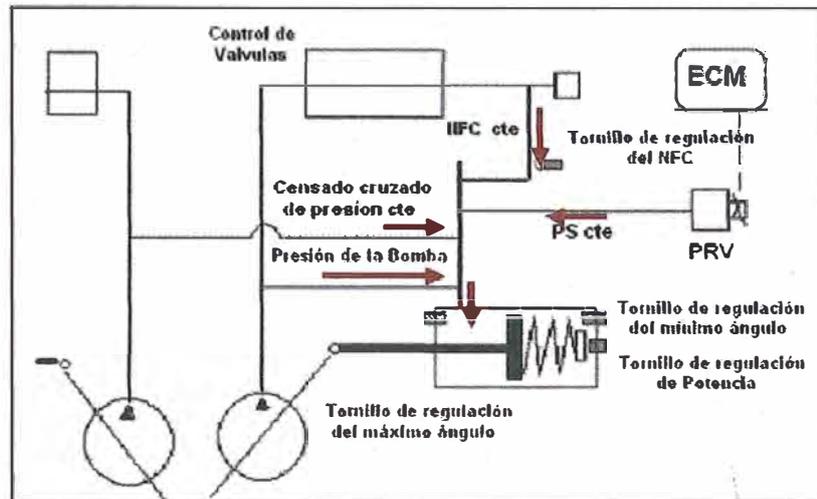


Fig. 3.17 Señales de control durante la prueba

Las graficas que se obtienen durante la prueba nos ayudara a determinar si la bomba se encuentra dentro de especificaciones de operación, si no fuera el caso se regulara lo siguiente:

- Tornillo de Control de Potencia (1)
- Tornillo de regulación NFC (2)
- Tornillo de ajuste de mínimo ángulo del plato basculante de la bomba(3)

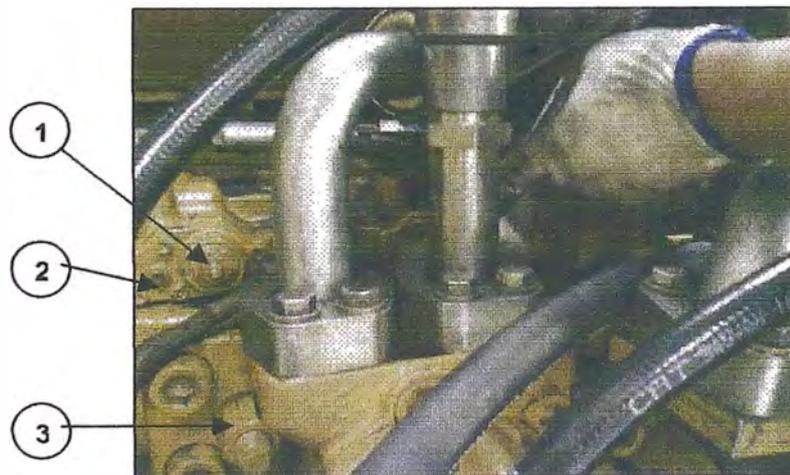


Fig 3.18 Tornillos Reguladores Bomba Derecha

3.5.1 Especificaciones Técnicas :

- Flow range 13.0 - 475.0 lpm (3.5 - 125.0 US gpm)
- Digital readout scales Metric, US or British
- Accuracy $\pm 1\%$ full scale over normal range
- Analog output 0 - 1.5 VDC = 0 - 475.0 L/min (0 - 125 US gpm)
- External input socket for flow meters 0.2 - 795 L/min (0.05 - 210 US gpm)
- Continuous working pressure 0 - 500 bar (0 - 6,800 psi) (analog readout)
- Pressure accuracy $\pm 1.6\%$ full scale
- Temperature (analog readout) 10° to 120°C (50° to 250°F)
- Temperature accuracy $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 2^\circ\text{F}$)
- Speed 0 - 6000 rpm (digital readout)
- Accuracy $\pm 1\%$ full scale
- Ports 17/8-12 UNF SAE O-ring

3.5.2 Partes Principales del 4C-9910 Portable Hydraulic Tester

Como a una manera de reconocimiento tenemos las siguientes partes :

- A. Pantalla.- aquí se muestra datos como caudal de aceite en US gpm o L/min, temperatura de aceite hidráulico en °C o °F y revoluciones del motor en rpm.
- B. Selector de encendido.
- C. Manómetro.- nos ayuda para medir la presión, su rango es de 0 a 6800 psi
- D. Batería.- la fuente de alimentación del equipo , funciona con 9v.

E. Regulador.- es una válvula que nos ayuda a restringir el aceite.



Fig 3.19 Equipo Flow Meter

CAPITULO IV
DESARROLLO DE LAS PRUEBAS Y REGULACIÓN
DE LA BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

4.1 PRUEBAS EN EL MOTOR

La excavadora 330D posee un motor electrónico C9 ACERT, el cual debe estar funcionando dentro de las especificaciones de fabrica, para que los datos obtenidos durante las pruebas hidráulicas sean confiables.

Si el motor se encontrara con fugas internas o componentes descalibrados originara que al momento de hacer las pruebas los implementos respondan mas lentamente por lo que daría un diagnostico erróneo.

Estas pruebas se harán siguiendo los procedimientos del manual de servicio Caterpillar (Engine Performance – Test – Engine Speed, RENR9585-12), estos procedimientos son normados y se pueden realizar en cualquier parte del mundo a las condiciones ambientales que describa el manual.

Como un adicional se recomienda que se verifique y se regule si es necesario el juego de válvulas del motor, debido a las horas de trabajo.

	ESPECIFICACIONES (rpm)		
	Nuevo	Reparado	Limite de servicio
Alta en vacío (1)	1880 ± 50		1680 a 1930
	1980 ± 50		1780 a 2030
Baja en vacío	800 ± 50		800 ± 100
Baja en vacío de un toque	1100 ± 50		1100 ± 100
Máxima velocidad con carga(4)	1720 (5)	1670 (5)	1620
Velocidad reducida AEC sin carga (6)	1300 ± 50		1300 ± 100

Tabla 4.1 Velocidades del motor especificadas

- (1) Control de velocidad automática del motor (AEC) en off
- (2) Se toma 3 segundos después de colocar el selector de velocidad en 10
- (3) Entre los 3 segundos después de colocar el selector de velocidad en 10
- (4) Presión es aliviada en ambas bombas (calado, PRV conectada)
- (5) Mínima revoluciones del motor (rpm)
- (6) Control de velocidad automática del motor (AEC) en on.

4.2 PRUEBAS DE TRANSITO

Antes de realizar estas pruebas se debe e verificar que no exista fugas hidráulicas que puedan originar lecturas incorrectas al realizar las pruebas, la temperatura de operación del aceite hidráulico debe ser 55 ± 5 °C, además que el área de trabajo

deberá de estar limitada y se llenara la hoja de Análisis de Trabajo Seguro (ATS), que ser firmado por el supervisor del taller o supervisor de campo correspondiente.

Las pruebas a continuación se harán según lo procedimientos descritos en el manual de servicio Caterpillar.

Antes de comenzar las pruebas se debe comprobar lo siguiente

- La prueba de Performance del Motor haya sido satisfactoria.
- Revisar si no hay códigos activos en la maquina, a través del programa Electronic Technician
- Revisar niveles de aceite del motor, aceite Hidráulico, refrigerante del motor y combustible

4.2.1 Travel on Level Ground – Test (REN9585-12)

- Posicione la máquina en una superficie nivelada tal como se muestra.
- Coloque una marca en una de las zapatas (referencia)
- Coloque DIAL 10 y AEC en “OFF”
- El interruptor de velocidad de traslación en HIGH (Liebre) y en LOW (tortuga) , mueva el control y mida el tiempo de tres vueltas completas en cada dirección.

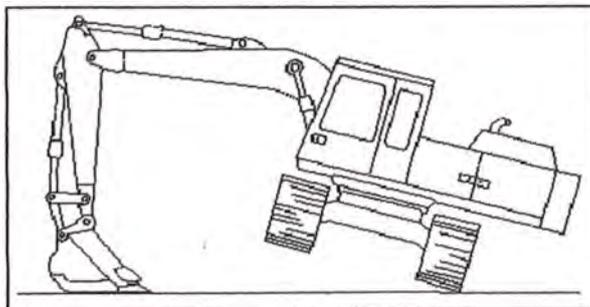


Fig. 4.1 Disposición de la maquina

Velocidad de traslación		Nuevo	Reparado	Limite de servicio
High	Forward	22.5 segundos o menos	23.5 segundos o menos	24.5 segundos o menos
	Reverse			
Low	Forward	34.5 segundos o menos	35.5 segundos o menos	36.5 segundos o menos
	Reverse			

4.2.2 Cylinder Speed – Check (REN9585-12)

Parte 1-. Velocidad de los cilindros de la pluma

- Posicione la máquina en una superficie nivelada
- Retraer los cilindros del brazo y cucharón tal como se muestra en la figura 4.2
- Colore el cucharón el suelo y con la ayuda de un cronometro mida el tiempo que se requiere para extender completamente los cilindros de la pluma (A), a continuación mida el tiempo que se requiere para que el cucharón entre en contacto con el suelo (B)

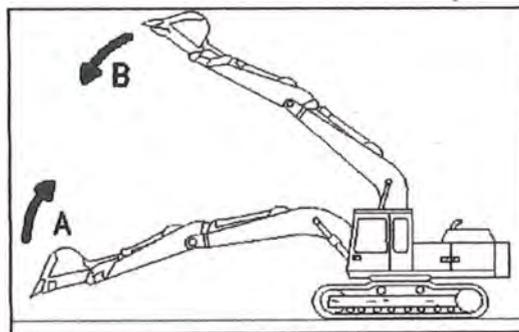


Fig. 4.2 Disposición de la maquina

	Nuevo	Reparado Valor máximo	Limite máximo de servicio
Extensión (A)	3.4 ± 0.5 seg.	4.0 seg..	4.5 seg.
Retracción (B)	2.6 ± 0.5 seg	3.3 seg	3.8 seg.

Parte 2-. Velocidad del cilindro del brazo

- Posicione la máquina en una superficie nivelada
- Posicionar la superficie superior de la pluma paralela al suelo.
- Extienda completamente el cilindro del cucharón.
- Retraiga el cilindro del brazo y con la ayuda de un cronometro mida el tiempo que se requiere para retraer (B) y para extender (A) completamente el cilindro del brazo.

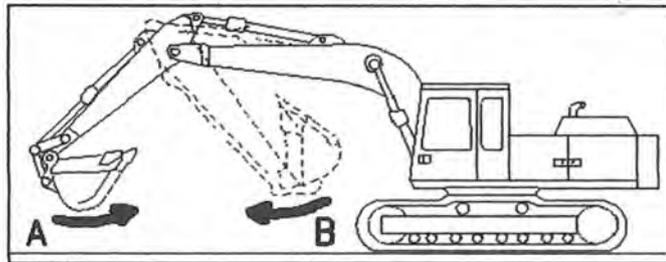


Fig. 4.3 Disposición de la maquina

	Nuevo	Reparado Valor máximo	Limite máximo de servicio
Extensión (A)	3.4 ± 0.5 seg.	4.0 seg.	4.5 seg.
Retracción (B)	2.8 ± 0.5 seg	3.5 seg	4.0 seg.

Parte 3-. Velocidad del cilindro del cucharón

- Posicione la máquina en una superficie nivelada
- Posicionar la superficie superior de la pluma paralela al suelo y el brazo perpendicular a la superficie, tal como se muestra en la figura 4.4.
- Retraiga completamente el cilindro del cucharón y mida el tiempo que se requiere para retraer (B) y extender (A) completamente el cilindro del cucharón

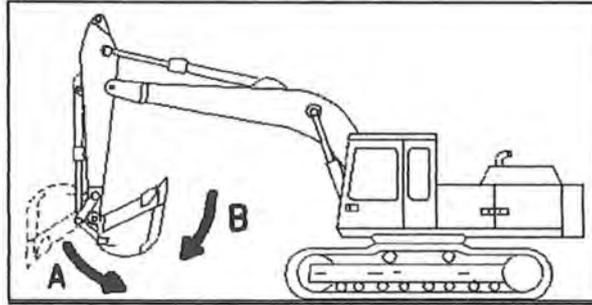


Fig. 4.4 Disposición de la maquina

	Nuevo	Reparado Valor máximo	Limite máximo de servicio
Extensión (A)	4.4 ± 0.5 seg	5.0 seg	5.5 seg.
Retracción (B)	2.5 ± 0.5 seg	3.2 seg	3.7 seg.

Parte 4-. Velocidad de giro de la tomamesa

- Posicione la máquina en una superficie nivelada
- Posicione los implementós tal como muestra la figura 4.5
- Mueva el Joystick de giro en cada dirección y mida el tiempo que se requiere para completar la operación de giro de 180° grados.

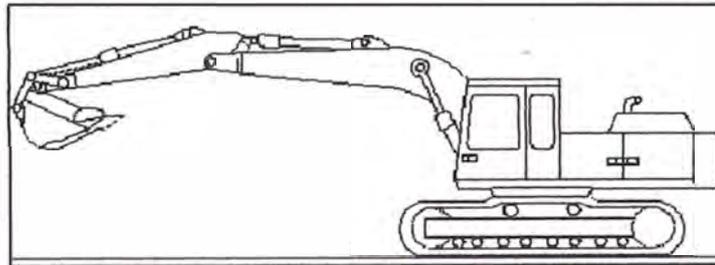


Fig. 4.5 Disposición de la maquina

	Nuevo	Reparado Valor máximo	Limite máximo de servicio
Giro a la derecha	4.9 segundos o menos	5.4 segundos o menos	6.0 segundos o menos
Giro a la izquierda			

4.3 PRUEBAS DE PRESIONES HIDRÁULICAS

Realice las pruebas solicitadas siguiendo el procedimiento del manual de servicio (Testing and Adjusting – Hydraulic System - RENR9585-12)

Para ajustar las presiones se requiere la normal operación del motor y la bomba hidráulica, si no se llegan a estos valores, debe realizarse la prueba de Flow Meter para comprobar si la curva característica Flujo / Presión de la bomba esta dentro de las especificaciones del fabricante, la temperatura de operación: 55 +/- 5° C

VALVULA DE ALIVIO	ESPECIFICACIONES	
	NUEVO O RECONSTRUIDO	LIMITE DE SERVICIO
(A) Main relief valve	5100 +/- 72 PSI (35000 +/- 500 kPa)	4800 a 5150 PSI (33000 a 35500 kPa)
	5200 +/- 72 PSI (36000 +/- 500 kPa) HEAVY LIFT	
(B) Boom cylinder line (head end)	5500 +/- 145 PSI (38000 +/- 1000 kPa)	5150 a 5650 PSI (35600 a 39000 kPa)
(C) Boom cylinder line (rod end)	5400 +/- 150 PSI (37000 +/- 1000 kPa)	5000 a 5500 PSI (34600 a 38000 kPa)
(D) Stick cylinder line (head end)		
(E) Stick cylinder line (rod end)	5500 +/- 145 PSI (38000 +/- 1000 kPa)	5150 a 5650 PSI (35600 a 39000 kPa)
(F) Bucket cylinder line (head end)	5300 +/- 145 PSI (37000 +/- 1000 kPa)	5000 a 5500 PSI (34600 a 38000 kPa)
(G) Bucket cylinder line (rod end)		
(H) Swing relief pressure (right)	4550 +/- 145 PSI (31400 +/- 1000 kPa)	3750 a 4200 PSI (25900 a 28900 kPa)
(I) Swing relief pressure (left)		
(J) Left travel crossover relief valve (forward - upper valve)	5340 +/- 220 PSI (36800 +/- 1500 kPa)	4900 a 5555 PSI (33800 a 38300 kPa)
(K) Left travel crossover relief valve (reverse - lower valve)		
(L) Right travel crossover relief valve (forward - upper valve)		
(M) Right travel crossover relief valve (reverse - lower valve)		
(N) Pilot relief valve	595 +/- 29 PSI (4100 +/- 200 kPa)	

Tabla 4.2 Presiones hidráulicas especificadas

4.4 RESULTADOS OBTENIDOS

Se obtuvo los siguientes resultados cumpliendo los procedimientos normados por Caterpillar, en una Excavadora 330D que fue evaluada cerca al campamento de Planchon – Puerto Maldonado por un problema en los tiempos de ciclos de los implementos.

MOTOR

	Lectura
Alta en vacío	1875 rpm
	1970 rpm
Baja en vacío	820 rpm
Baja en vacío de un toque	1020 rpm
Máxima velocidad con carga	1760 rpm
Velocidad reducida AEC sin carga	1300 rpm

Los datos encontrados en el motor se encuentran dentro de especificaciones de fabrica por lo que se procede a la segunda etapa que viene a ser la evaluación de las presiones del sistema hidráulico.

PRUEBA DE VELOCIDAD DE LOS IMPLEMENTOS

	Posición	Tiempo (seg.)
Pluma	Extensión	6.4
	Retracción	5.2
Brazo	Extensión	7.1
	Retracción	5.8
Cucharón	Extensión	7.8
	Retracción	5.2

PRUEBA DE VELOCIDAD DE LAS CADENAS

		Posición	Tiempo (seg.)
IZQUIERDA	HIGH	Fordward	38.1
		Reverse	37.1
	LOW	Fordward	52.0
		Reverse	53.1
DERECHA	HIGH	Fordward	38.2
		Reverse	39.1
	LOW	Fordward	52.1
		Reverse	51.0

PRUEBA DE PRESIONES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

DESCRIPCIÓN	PRESIÓN (psi)
Válvula principal de alivio	5050
Presión para extender los cilindros de la pluma	5000
Presión para retraer los cilindros de la pluma	5100
Presión para extender el cilindro del brazo	5090
Presión para retraer el cilindro del brazo	5000
Presión para extender el cilindro del cucharón	5100
Presión para retraer el cilindro del cucharón	5000
Presión para girar el tornamesa a la derecha	4200
Presión para girar el tornamesa a la izquierda	4150
Presión válvula Piloto	550

De los resultados obtenidos y descartando problemas del motor dado que se encuentra dentro de especificaciones, se concluye que el tiempo de recorrido de los implementos esta fuera de los rangos especificados, por lo que se procederá a hacer pruebas a la Bomba principal usando como herramienta el Probador Portátil Hidráulico (Flow Meter)

4.5 VERIFICACIÓN DE CAUDALES DE LA BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

4.5.1 Layout de Instalación

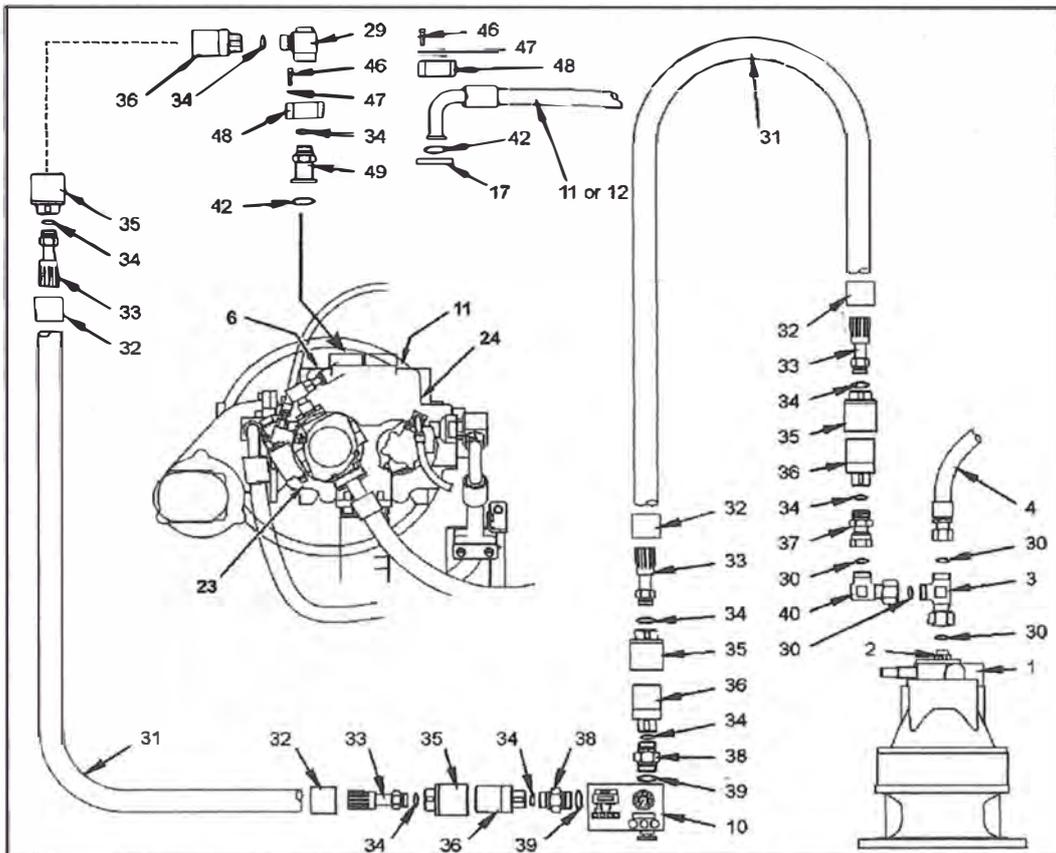


Fig. 4.6 Layout de herramientas y conexiones

- | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| (1) Motor de Giro | (13) Línea NFC (Bomba conducida) | (35) 4C-6481 Coupler Ass. |
| (2) Conector al motor de giro | (17) 7I-7133 Blocking cover | (36) 4C-6482 Nipple Ass. |
| (3) 6V-9840 Swivel tee | (23) Bomba conductora | (37) 4I-6141 Coupling |
| (4) Makeup line (swing motor) | (24) Bomba Conducida | (38) 8C-9026 Adapter |
| (6) Línea de NFC (Bomba conductora) | (29) 1U-8303 Fitting | (39) 6K-6307 O-Ring seal |
| (10) 4C-9910 (Flow Meter) | (30) 5K-9090 O-Ring seal | (40) 6V-9854 Swivel elbow |
| (11) Delivery line (idler pump) | (31) 5P-0201 XT-5 Hose 3.5 m | (42) 1P-3704 Rectangular seal |
| (12) Delivery line (drive pump) | (32) 5P-1010 Sleeve | (46) 8T-4184 Bolt |
| | (33) 4C-8767 Coupling | (47) 8T-4223 Hard washer |
| | (34) 7M-8485 O-Ring seal | (48) 1P-5767 Half flange |
| | | (49) 1U-8293 Adapter |

4.5.2 Diagrama del circuito para las pruebas

Usando el Layout de conexione, se procede a armar el diagrama de circuito de las pruebas.

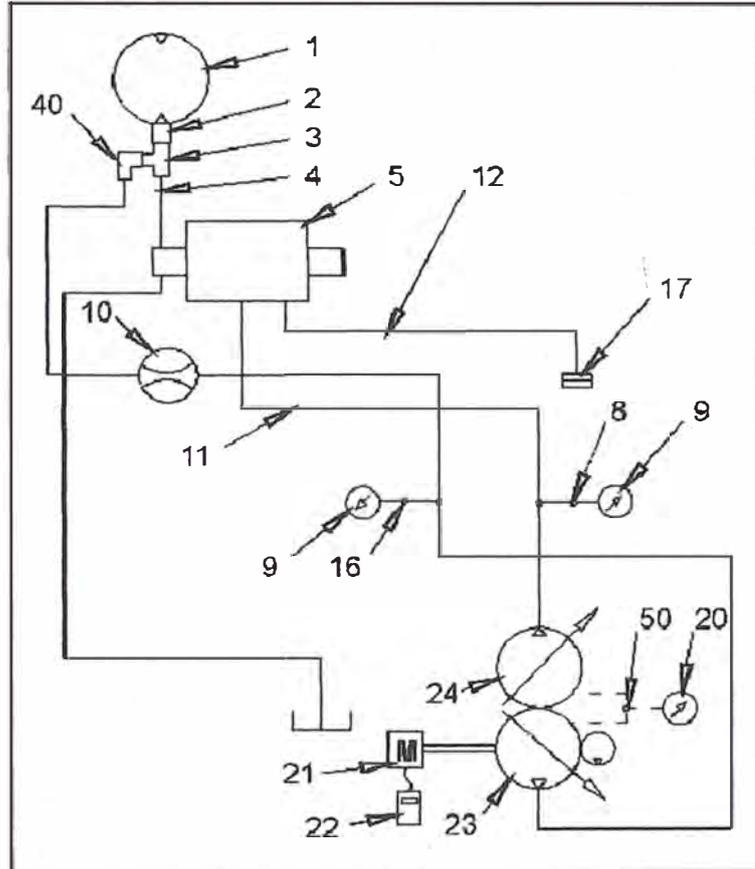


Fig. 4.7 Diagrama del circuito

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| (1) Motor de Giro | (11) Delivery line for idler pump | (20) Manómetro |
| (2) Connector | (12) Delivery line from drive pump | (21) Motor C9 Acert |
| (3) Tee | (16) Toma de Presión (bomba conductora) | (22) Tacómetro |
| (4) Makeup line | (17) 9U-7335 Blocking cover | (23) Bomba conductora. |
| (5) Main control valve | | (24) Bomba conducida |
| (8) Toma de presión (bomba conducida) | | (40) Elbow |
| (9) Manómetro | | (50) Toma de presión (Power shift pressure) |
| (10) 4C-9910 Flow Meter | | |

4.5.3 Toma de valores

Para la instalación y pruebas , seguir los procedimientos descritos en el manual de servicio (Main Pump (Flow) - Test - Constant Horsepower Flow Control – RENR9585-12)

Algo importante que mencionar es el hecho que se debe de fijar en un valor constante la Presión de cambio (PS) en 415 psi, con el fin que haya tres señales de regulación de la bomba constantes.

Una vez que se haya tomado los valores de caudal y revoluciones del motor se deberá corregir con la formula :

$$\text{Flujo corregido (US gpm)} = \frac{\text{Flujo medido (US gpm)} \times 1800 \text{ rpm}}{\text{rpm leída}}$$

Se hace esta corrección ya que los datos que especifica fabrica se hacen con una velocidad constante de 1800 rpm y durante la prueba la velocidad del motor varia.



Fig. 4.8 Instalación del Flow Meter

4.5.4 Valores encontrados durante la prueba

	PUNTOS DE RESTRICCIÓN BOMBA CONDUCTORA				
	1300 psi	1750 psi	2300 psi	3750 psi	4350 psi
Flujo medido (US gpm)	76.8	70.2	58.4	47.8	43.1
Temp. aceite Hidráulico (°C)	54	55	55	55	56
Velocidad del motor (rpm)	1964	1947	1928	1890	1880
Flujo Corregido (US gpm)	70.39	64.90	54.52	45.52	41.27
Flujo Especificado (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

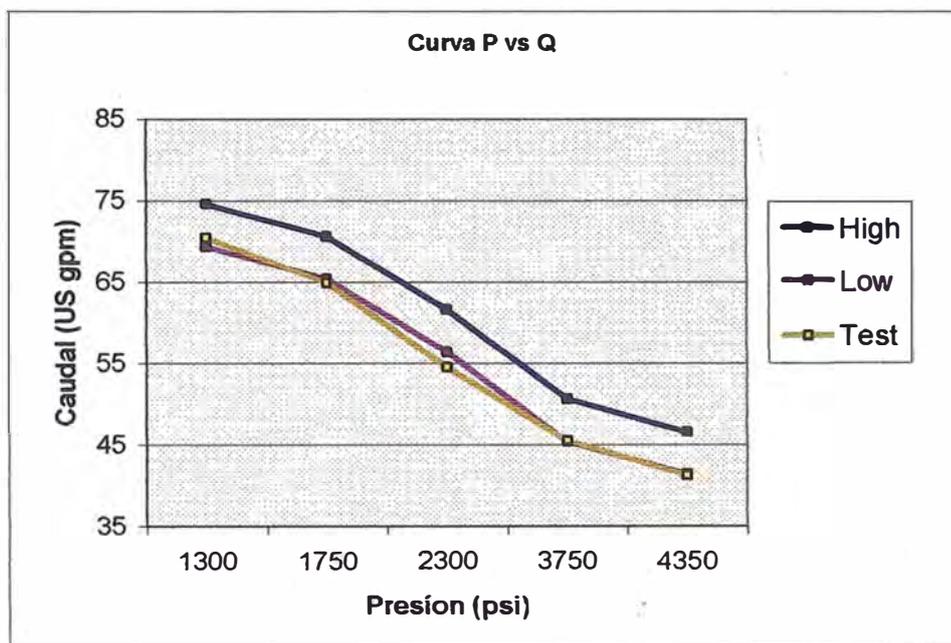


Fig. 4.8 Curva obtenida durante la prueba

	PUNTOS DE RESTRICCIÓN BOMBA CONDUCTADA				
	1300 psi	1750 psi	2300 psi	3750 psi	4350 psi
Flujo medido (US gpm)	77.2	70.1	59.8	45.8	43.9
Temp. aceite Hidráulico (°C)	55	56	56	56	56
Velocidad del motor (rpm)	1973	1956	1926	1894	1871
Flujo Corregido (US gpm)	70.43	64.51	55.89	43.53	42.23
Flujo Especificado (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

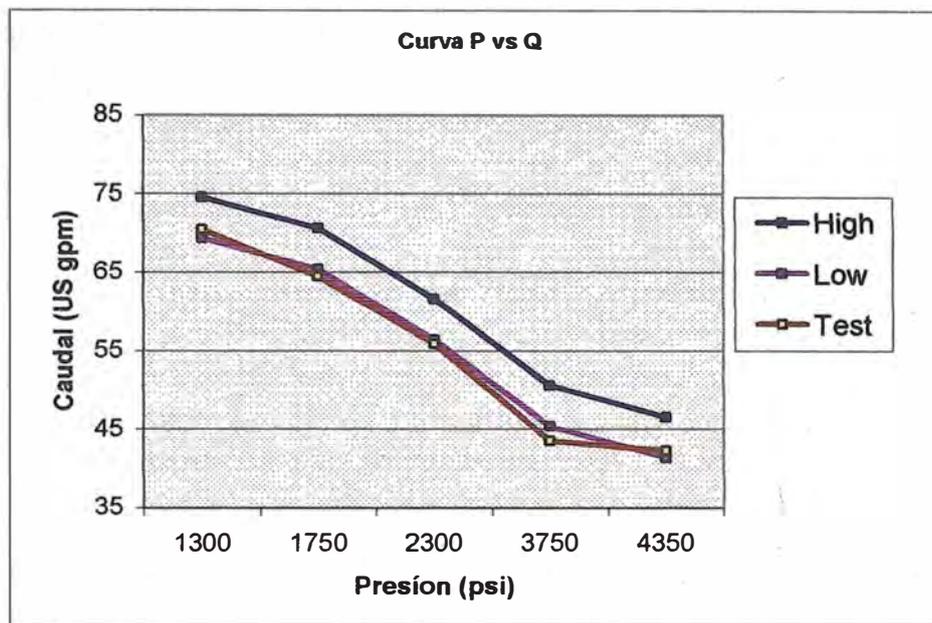


Fig. 4.9 Curva obtenida durante la prueba

4.6 REGULACIÓN DEL CAUDAL DE LA BOMBA HIDRÁULICA PRINCIPAL

Como se observa en la figura 4.10 las curvas de las bombas conductora y conducida se encuentran por debajo del rango mínimo de operación (Low), por lo cual es necesario que se ajuste el tornillo de Baja potencia y luego el tornillo de Alta potencia (se recomienda en ese orden), con esto se lograra que toda la tendencia de la curva suba y este dentro del rango de operación

Esto se explica a que el tornillo de Potencia, viene a ser igual al resorte del regulador, al tener mas tensión el resorte, el plato basculante de la Bomba podrá angularse mas rápidamente, y por lo tanto el flujo que suministra la bomba al sistema aumentara.

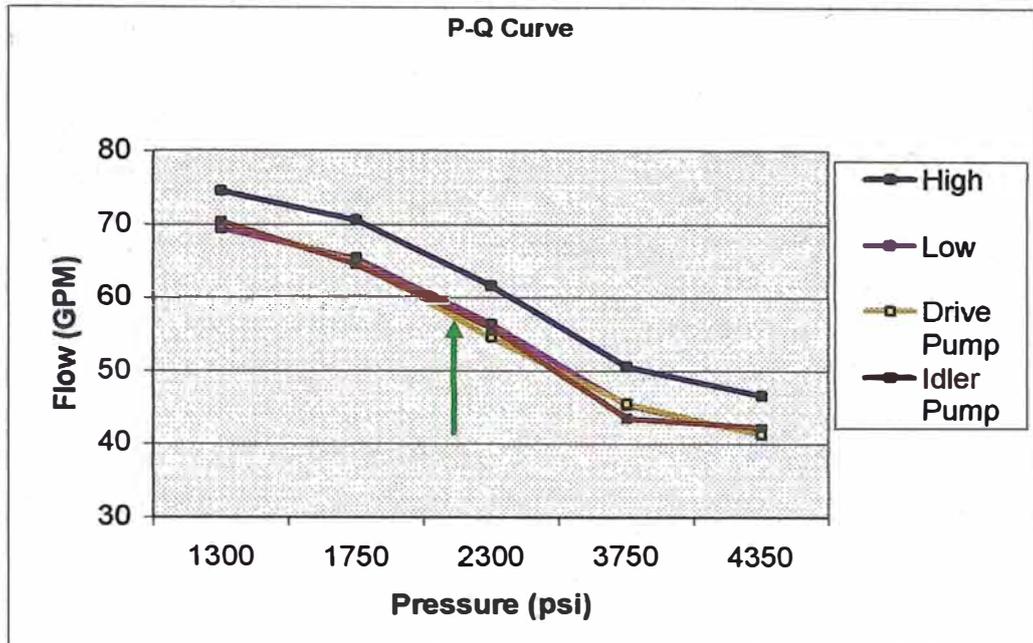


Fig. 4.10 Curva obtenida durante la prueba

4.6.1 Regulación Bomba conductora

	PUNTOS DE RESTRICCIÓN BOMBA CONDUCTORA				
	1300 psi	1750 psi	2300 psi	3750 psi	4350 psi
Flujo medido (US gpm)	76.22	70.71	63.43	50.31	44.67
Temp. aceite Hidráulico (°C)	55	56	56	57	58
Velocidad del motor (rpm)	1960	1956	1958	1900	1900
Flujo Corregido (US gpm)	70.00	65.07	58.31	47.66	42.32
Flujo Especificado (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

	PUNTOS DE RESTRICCIÓN BOMBA CONDUCTORA				
	1300 psi	1750 psi	2300 psi	3750 psi	4350 psi
Flujo medido (US gpm)	78.73	71.90	63.50	50.40	45.03
Temp. aceite Hidráulico (°C)	55	56	56	57	58
Velocidad del motor (rpm)	1966	1960	1960	1905	1900
Flujo Corregido (US gpm)	72.08	66.03	58.32	47.62	42.66
Flujo Especificado (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

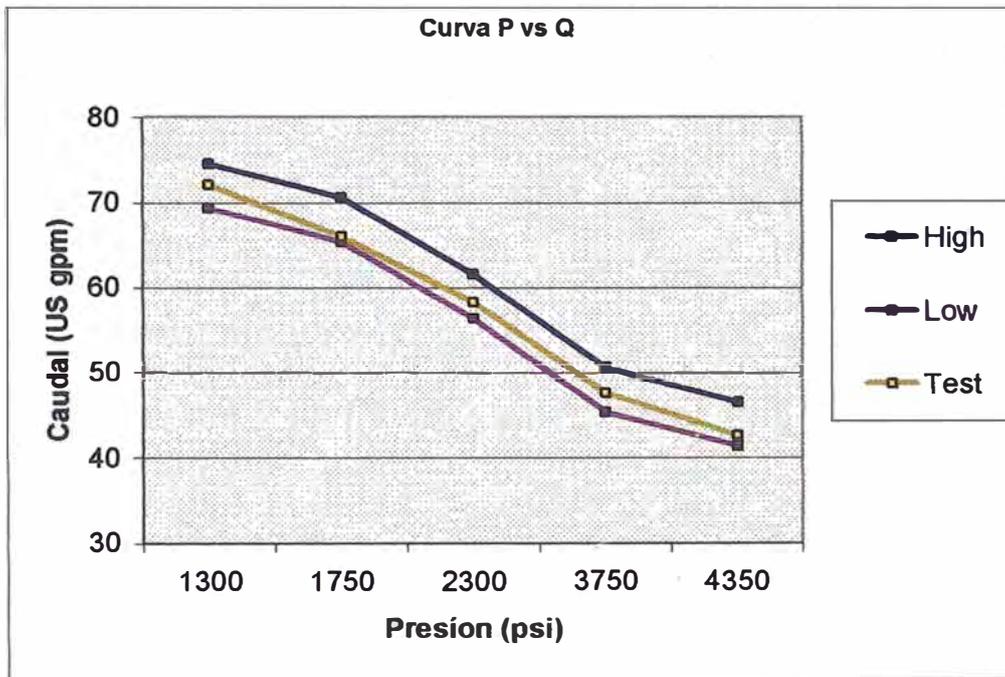


Fig. 4.12 Curva obtenida después de la segunda regulación

Una vez que se aflojó el tornillo de máximo flujo, la curva se encuentra dentro de los rangos de operación.

4.6.2 Regulación Bomba conducida

	PUNTOS DE RESTRICCIÓN BOMBA CONDUcida				
	1300 psi	1750 psi	2300 psi	3750 psi	4350 psi
Flujo medido (US gpm)	79.28	71.84	63.85	51.08	45.83
Temp. aceite Hidráulico (°C)	55	56	56	56	56
Velocidad del motor (rpm)	1960	1946	1934	1924	1905
Flujo Corregido (US gpm)	72.81	66.45	59.43	47.79	43.30
Flujo Especificado (US gpm)	72 ± 2.6	68 ± 2.6	59 ± 2.6	48 ± 2.6	44 ± 2.6

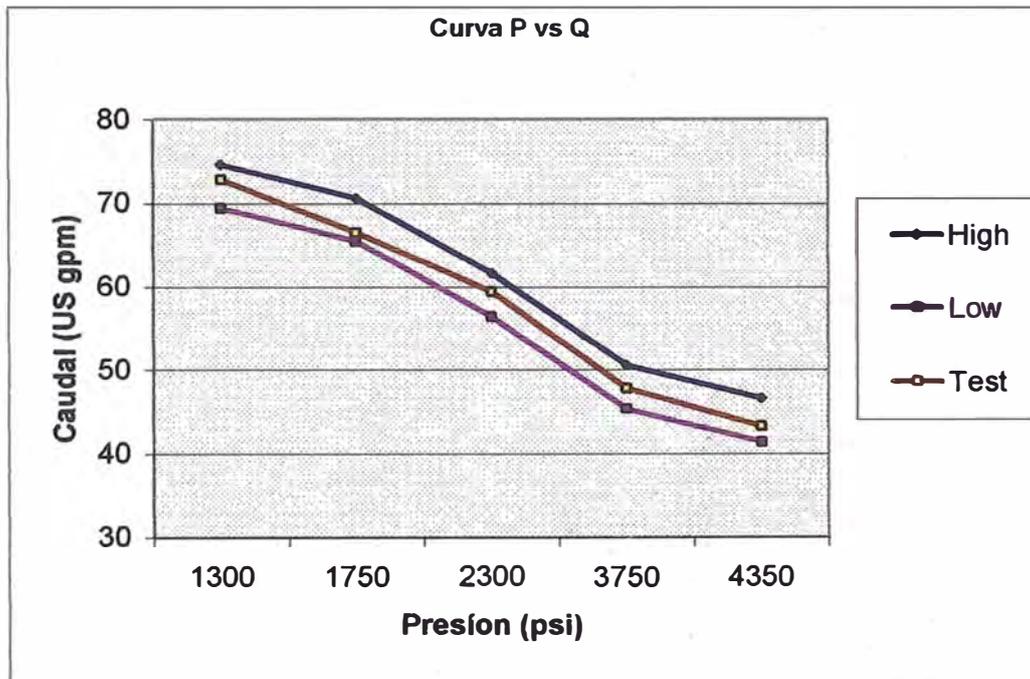


Fig. 4.13 Curva obtenida después de la primera regulación

En el caso de la bomba conducida no hubo necesidad de hacer una segunda regulación ya que la curva obtenida se encuentra dentro del rango de operación..

4.7 CONTROL DE FLUJO NEGATIVO

Esta prueba se hace con el fin de verificar que se cumpla la especificación, para esto se seguirá el procedimiento que indica el manual de servicio (Pump Control (Negative Flow) - Test- RENR9585-12).

En esta prueba lo que se hace es generar una presión de flujo negativo a partir de la presión que se genera por la PRV, la cual se fija en un valor de 370 psi, desde el monitor que se encuentra en la cabina del operador

Una vez que se haya hecho la conexiones respectivas fijar en el regulador un valor de 1000 psi, anotar el flujo medido y reemplazarlo en la formula siguiente

$$\text{Flujo corregido (US gpm)} = \frac{\text{Flujo medido (US gpm)} \times 1800 \text{ rpm}}{\text{rpm leída}}$$

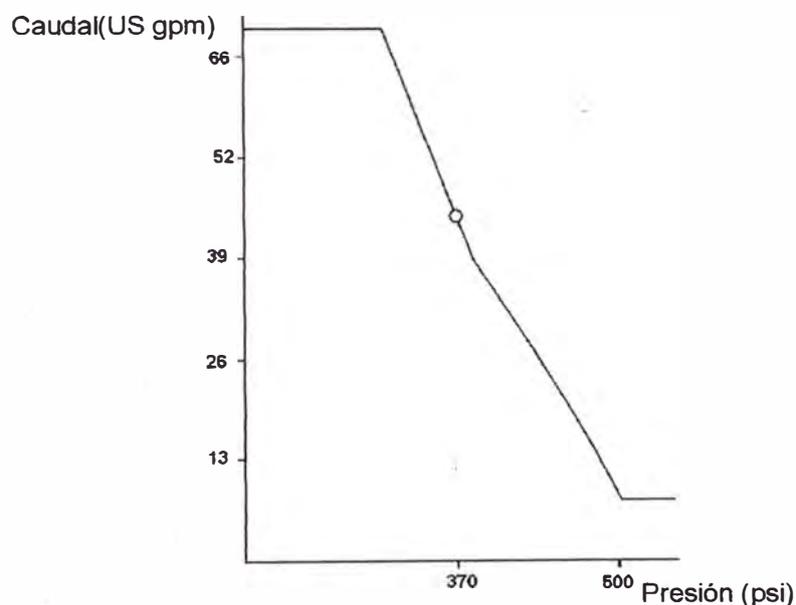


Fig. 4.14 Grafica de la NFC

Para nuestro caso solo se hace a manera de comprobación en una de las bombas y esta debe dar una valor de flujo de 45 ± 4.5 US gpm, en nuestro caso nos dio un valor de 48.66 US gpm con velocidad del motor de 1880 rpm.

Al reemplazarlo en la formula corregida nos da un valor :

$$\text{Flujo corregido (US gpm)} = \frac{48.66 \text{ (US gpm)} \times 1800 \text{ rpm}}{1880 \text{ rpm}} = 46.58 \text{ US gpm}$$

Este regulación casi nunca se hace en las excavadoras 330D, ya que usualmente al hacer las regulaciones de los tornillos de potencia, máximo y mínimo ángulo, el valor de la NFC ya se encuentra dentro de especificaciones, a menos que se detecte un problema con la respuesta de los implementos en el momento de hacer las pruebas.

CAPITULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO
DE COSTOS DE OPERACIÓN

5.1 TIEMPOS DE CICLO DE LA EXCAVADORA

El ciclo de excavación de la excavadora consta de cuatro partes:

1. Carga del cucharón
2. Giro con carga
3. Descarga del cucharón
4. Giro sin carga

Para nuestro caso el ciclo de efectivo por hora se calcula de la siguiente manera :

$$\text{Ciclos efectivos por hora} = A \times B \times C \times D \dots(1)$$

De donde :

A = 60 min. en una hora / Tiempo de ciclo

B = Eficiencia del Operador

C = Disponibilidad de la Maquina

D = Eficiencia general de Operación.

El tiempo de ciclo según la tabla 5.1 es de 0.25 minutos.

CYCLE TIME ESTIMATING CHART														
CYCLE TIME	MACHINE SIZE CLASS													CYCLE TIME
	307C	311C	M312 M313C M313D 312C	M315C M316C M315D M316D 315C L	M318C 318D	M322C M322D 320D 320D RR 321D CR 323D	324D	325D	328D LCR	330D	345C	365C	385C	
10 SEC.									NA					0.17 min.
15									NA					0.25 min.
20 SEC.									NA					0.33 min.
25														0.42 min.
30 SEC.														0.50 min.
35														0.58 min.
40 SEC.														0.67 min.
45														0.75 min.
50 SEC.														0.83 min.
55														0.92 min.
60 SEC.														1.0 min.

Tabla 5.1 Tiempos de ciclo por modelos

De aquí consideramos los siguientes valores :

$$A = 60/0.25 = 240$$

B = Eficiencia del operador es de aproximadamente = 0.9 (valor estimado)

C = Disponibilidad de la maquina se considera igual a 0.9 dado que la maquina tiene 3200 horas

D = Eficiencia general de operación es igual a dividir 50 min entre 60 min esto nos dará como resultado 0.83.

Reemplazando en la ecuación (1) se obtiene

$$\text{Ciclos efectivos/hora} = 170.3 \dots (2)$$

Hacemos la siguiente conversión:

$$170.3 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 2.83 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \approx 3 \text{ ciclos/minuto} \dots (3)$$

5.2 VOLUMEN DE MATERIAL

En nuestro caso tenemos una Excavadora 330D con capacidad de cucharón de 2.4 m³ que tiene que llenar un camión de 15 m³ de capacidad, si dividimos la capacidad del camión entre la capacidad del cucharón nos saldría 6.25.ciclos (pasadas), que en la practica seria entre 6 o 7 ciclos, ya que la capacidad de llenado del cucharón varia, en cada carga de material.

Si invertimos la ecuación (3) y lo pasamos a segundos obtenemos

$$0.33 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}} \times \frac{60 \text{segundos}}{1 \text{min}} = 19.8 \frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}} \approx 20 \frac{\text{segundos}}{\text{ciclo}} \dots (4)$$

Si multiplicamos la ecuación (4) por los 6 ciclos que demora aproximadamente en llenar la tolva del camión nos saldrá como resultado 120 segundos.

Este valor se usa siempre como referencia siempre y cuando se cumpla lo siguiente

- Los flujos de la bomba hidráulica principal debe de estar dentro de las especificaciones.
- El camión debe de estar bien nivelado.
- El cucharón con un a100 % de factor de llenado.
- Los derrames del material en la tolva deben ser mínimos
- La tolva del camión debe estar lleno.

Para calcular el volumen de material en una hora, hay que considerar que un camión se demora aproximadamente 20 segundos en estacionarse una vez que el otro camión ya se ha ido hacia la cantera, por lo tanto por cada 120 segundos de llenado de un

camión hay que sumar 20 segundos de tiempo muerto, por lo tanto tendremos los siguiente:

$$\frac{\text{Volumen de material}}{\text{hora}} = \frac{15 \text{ m}^3 \times 3600 \text{ segundos}}{140 \text{ segundos}} \approx 385 \text{ m}^3 \text{ por hora (aprox.)}$$

Si a este valor lo multiplicamos por 10 horas de trabajo y por 6 días a la semana tendríamos 23 142 m³ de material (aprox) por semana.

5.3 VOLUMEN DE MATERIAL ENCONTRADO

Cuando se fue a evaluar la maquina, las pruebas de tiempo de ciclo estuvieron por debajo de lo especificado tal como se describe en el capitulo anterior, entonces se procedió a tomar el tiempo y nos dio 136 segundos para llenar la tolva de un camión de 15 m³ de capacidad y a esto le sumamos los 20 segundos entre cada camion, si hacemos la operación anterior :

$$\frac{\text{Volumen de material}}{\text{hora}} = \frac{15 \text{ m}^3 \times 3600 \text{ segundos}}{156 \text{ segundos}} \approx 346 \text{ m}^3 \text{ por hora (aprox.)}$$

Como se observa nos da como resultado 39 m³ menos de material por hora lo que equivale a 2 340 m³ por semana.

5.4 PERDIDAS Y COSTOS DE REGULACIÓN

El costo de alquiler de una excavadora es de US \$ 65.0 / hora. al multiplicarlo por 10 horas diarias y por 6 días de trabajo nos da una cantidad de US \$ 3 900 por semana

Lo que pierde la empresa dueña de la Excavadora se calcula de la siguiente manera:

- La perdida por semana en el alquiler de la excavadora seria de la diferencia que es 2,340 m³ de material por semana, si lo dividimos entre los 15 m³ de capacidad de tolva del camión, nos da como resultado 156 que vendría a ser el numero de camiones adicionales.

La Excavadora demora 136 segundos en llenar el camión mas los 20 segundos de estacionamiento del mismo, son 156 segundos.

Si multiplicamos los 156 camiones por los 156 segundos nos da como resultado 24 336 segundos o 6.76 horas aproximadamente.

El costo por alquiler de excavadora = 6.76 horas x 65 dólares / hora

= 439.4 dólares por semana

= 1,274.26 soles por semana

- El costo de combustible adicional

= 13 galones/hora x 6.76 horas x 8.9 soles/galón

= 782.13 soles por semana

- El costo del operador

= 6.76 horas x 51.3 soles/hora = 346.78 soles por semana

El costo adicional total seria de 2,403.17 soles por semana.

El costo de evaluación de una de una Excavadora es de 750 dólares, esta incluye evaluación del Motor, Sistema Hidráulico y sistema Electrónico, esta evaluación demora aproximadamente 5.5 horas.

El costo por la Prueba y regulación de las bombas Principales de la Excavadora es de 1,400 dólares, el tiempo aproximado para esta prueba es de 6 horas

El tiempo en los dos casos incluye una Inspección Visual previa de la maquina, verificación de fugas, calentar la maquina antes de la prueba e inspección visual post-pruebas.

Siempre se hace una evaluación previa del sistema para descartar otros problemas que se puedan presentar en un futuro, y teniendo en cuenta que la regulación de la bomba se hace cada 10 000 horas (3 años aproximadamente), tendríamos un costo total de 2 150 dólares o su equivalente en soles de 6 235 soles (a 2.90 soles el cambio)

5.5 COMPARACIÓN DE COSTOS

Se puede concluir erróneamente que la evaluación del sistema y la regulación es mayor que la perdida por semana

Evaluación y regulación = 6,235 soles >>> Perdida por semana = 2,403.17 soles

Pero esta perdida ira aumentando semana tras semana, sin contar problemas que se puedan presentar posteriormente, si el equipo no es revisado en su debida oportunidad, por lo tanto se concluye que una regulación que se hace cada 3 años es mucho mas rentable a largo plazo.

CONCLUSIONES

1. Es importante que antes de realizar cualquier tipo de pruebas al sistema hidráulico de la maquina, el motor debe encontrarse en optimas condiciones y sus parámetros dentro de las especificaciones de fábrica, dado que el motor es el encargado de dar movimiento a la bomba Hidráulica. Si las revoluciones del motor estuvieran por debajo de la especificación, implicaría que el flujo que genere la bomba también sea bajo y suponer erróneamente problemas en la bombas o en el regulador.

2. Las regulaciones de las bombas son independientes, es decir puede suceder que como resultado de las pruebas las bombas sea conductora o conducida, esten fuera de rango de operación y la otra se encuentre en optimas condiciones. A la vez tampoco hay un orden en las pruebas se puede comenzar por cualquiera de ellas.

3. En ningún manual se encontrará el orden en el cual se hace los ajustes a los reguladores de la bomba cuando esta se encuentra fuera de especificación, pero la práctica en estos trabajos nos dice lo siguiente:

- Primero se debe regular el tornillo de baja potencia (tornillo grande).
- Segundo se debe regular el tornillo de alta potencia (tornillo pequeño).
- Tercero se debe regular el tornillo de máximo ángulo del plato basculante.

- Cuarto se debe regular el tornillo de mínimo ángulo del plato basculante.
- Quinto se debe regular el tornillo de NFC (en raras ocasiones)

4. Una vez que se haya realizado las regulaciones y no se logra mejorar la tendencia de estas, puede que sea debido a un desgaste de los resortes internos de los reguladores debido a las horas de trabajo, esto usualmente sucede cuando se exceden las 10,000 horas de operación. A la vez para descartar desgaste en los componentes internos de la bomba, se debe evaluar los resultados que nos muestre el reporte de análisis de aceite.

En cualquiera de los dos casos, se debe desmontar la Bomba hidráulica, y hacer la reparación respectiva en el taller, no se recomienda hacer trabajos en la zona de trabajo, por la presencia de agentes contaminantes.

5. Cuando la curva de operación de una o dos de las bombas se encuentre por debajo de la especificación mínima, implicará que los implementos a los cuales esta suministre flujo se muevan de manera mas lenta, aumentando el tiempo de ciclo de operación.

Y en el caso que la curva se encuentre por encima de la especificación, si bien es cierto los tiempos de ciclo serán menores, originara un recalentamiento del sistema hidráulico, esto traerá como consecuencia avisos por parte del sistema monitor y el operador tendrá que hacer paradas para esperar que el sistema se enfríe reduciendo la productividad, acortando la vida útil de sellos, a la vez que el aceite se volverá muy delgado y permitirá el contacto metal – metal entre las piezas en movimiento.

RECOMENDACIONES

1. Todas las pruebas y regulaciones deben ser realizadas solo por personas capacitadas por Ferreyros, en los cuales hay presencia de altas presiones, que pueden ocasionar lesiones graves.
2. La Prueba de Flow meter, se recomienda que se realice cada 10,000 horas, debido a las cargas de trabajo a las cuales están sometidas las Excavadoras,
3. Se deberá tener cuidado en el momento de realizar las desconexiones y conexiones, para evitar el ingreso de agentes extraños al sistema que puedan contaminarlo.
4. El cliente debe de usar los aceites que recomienda el catálogo del fabricante con el fin que la vida útil de los componentes sea el adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

Operation and Maintenance Manual 330D Excavators

Caterpillar Año: 2010

Caterpillar Performance Handbook

Caterpillar Edition 39

Testing and Adjusting 330D Excavators

Caterpillar Año: 2009

Service Training Meeting Guide 320D - 336D

Hydraulic Excavators – TIER III Engines

Caterpillar Año: 2008