

ESTADO ACTUAL DEL DISEÑO DE MECANISMOS HIDRÁULICOS PARA EL CAREM 25. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD

Mazufri C. M¹., Mazzi R. O.²

¹ INVAP S.E. División Ingeniería Nuclear

² INVAP S.E. Proyecto CAREM

Resumen:

El diseño propuesto para el accionamiento de las barras absorbentes del reactor CAREM 25 se basa en un sistema del tipo hidráulico.

Como todo componente innovativo, el proceso de diseño requiere realizar un buen número de comprobaciones experimentales que permitan identificar los parámetros de control relevantes y establecer su relación con los parámetros de diseño, con el objetivo de asegurar la factibilidad técnica, como paso previo a los ensayos de calificación del diseño en condiciones de trabajo en el reactor.

En este trabajo, se presenta una evaluación global de los análisis realizados y resultados experimentales obtenidos en un circuito de baja presión, los avances logrados en el diseño del dispositivo, los fenómenos identificados como limitantes y las acciones correctivas analizadas o propuestas.

La evaluación global se realiza sobre la base de los aspectos de repetitividad, sensibilidad y escalabilidad de los parámetros de control y de las condiciones de ensayo, así como también de la respuesta dinámica del conjunto mecanismo-circuito de comando y aspectos de diseño mecánico.

Los resultados obtenidos hasta el presente muestran que el sistema actual posee una respuesta adecuada compatible con los requerimientos funcionales y constructivos.

STATE OF ART OF THE CAREM 25 HYDRAULIC CONTROL ROD DRIVES FEASIBILITY ANALYSIS

Abstract

The proposed design adopted for the control rod drives for the CAREM reactor is based on a hydraulic system. As any innovative device, the design process requires to obtain experimental evidence to identify the most important control parameters and to set their relationship with other design parameters, in order to guarantee its feasibility as a previous step to the design qualification tests at the working conditions at the reactor.

This paper features a global evaluation of the analysis performed and experimental results obtained in a low pressure loop, design improvements, limiting phenomena identified and corrective actions analyzed or proposed.

The evaluation is based on a repetitivity, sensitivity and scalability study of the control parameters and test conditions, as well as the dynamic response between rod drive and the hydraulic system and features related with the mechanical design.

Obtained results show that present system has an adequate response compatible with functional and manufacturing requirements.

INTRODUCCIÓN

El diseño propuesto para el accionamiento de las barras del sistema de ajuste y control del reactor CAREM 25 es un sistema del tipo hidráulico que permite movimientos discretos entre las posiciones extremas.

La íntima relación que existe entre este sistema y su adaptación a las características de diseño del CAREM hacen que un hipotético cambio conceptual de este sistema involucre un impacto en la ingeniería del reactor, lo cual, dado el fuerte contenido innovador de estos mecanismos hace necesario determinar con la mayor precisión posible la factibilidad de su diseño en una etapa temprana del proyecto.

La primera etapa experimental de evaluación del comportamiento del mecanismo hidráulico del sistema de ajuste y control (MSAC) se ha realizado en un circuito de baja presión (CEM). Los ensayos han servido para obtener información experimental de gran importancia que permite evaluar la aptitud que presenta el diseño propuesto para cumplir la función requerida, identificando los parámetros más importantes, no obstante las limitaciones inherentes del circuito, que reproducen sólo parcialmente las condiciones de trabajo. Durante esta etapa de evaluación aparecieron varios efectos, específicamente dinámicos, que dificultaron la obtención de resultados favorables en forma inmediata. El grado de importancia de estos efectos y la superposición o acoplamiento de los mismos llevó a un cambio de diseño para permitir relajar las condiciones de funcionamiento, y a su vez, facilitar el análisis de dichos efectos dinámicos en forma independiente.

Hasta el presente se han realizado una cantidad importante de estos ensayos con distintos prototipos mecánicos y bajo diversas condiciones de trabajo con resultados positivos que muestran la factibilidad de este diseño en relación con los objetivos fijados para esta etapa.

La etapa siguiente tiene como objetivo la optimización de los parámetros operativos y métodos constructivos para las condiciones de trabajo en el reactor y la calificación del diseño final en un circuito de alta presión.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL DISEÑO

La evaluación del diseño se ha centrado principalmente en los aspectos funcionales y constructivos del dispositivo, estos comprenden:

- Repetitividad: Capacidad de reproducir la condición de funcionamiento con los mismos parámetros de control.
- Sensibilidad: Capacidad de tolerar variaciones o perturbaciones en los parámetros de control.
- Respuesta dinámica: Comportamiento dinámico del conjunto acoplado Mecanismo-Circuito de Comando.
- Escalabilidad: capacidad de inferir el comportamiento en las condiciones de alta presión a partir de análisis y proyecciones de los resultados obtenidos en el circuito de baja presión (CEM)
- Diseño mecánico: Capacidad de obtención de tolerancias de fabricación, evaluación de métodos constructivos y comportamiento de los materiales.

La evaluación de las condiciones funcionales se realiza siempre sobre un mismo conjunto de variables que definen los parámetros de control del sistema, a saber:

- Ta : Duración de los pulsos de ascenso *
- Td : Duración de los pulsos de descenso *
- Apa : Amplitud en presión de los pulsos de ascenso
- Apd : Amplitud en presión de los pulsos de descenso
- T : Temperatura del agua de operación
- Qm : Caudal de mantenimiento

* La duración de los pulsos se indica con el tiempo transcurrido entre ordenes de apertura y cierre de válvula.

Los ensayos de repetitividad permiten la identificación de las variables relevantes que garantizan el buen funcionamiento del sistema y están destinados a demostrar que el sistema bajo estudio es controlable.

El análisis de sensibilidad permite determinar los requerimientos para el circuito de comando, que es el encargado de garantizar los valores de los parámetros de control en un rango de variación aceptable.

Los aspectos de repetitividad y sensibilidad se encuentran íntimamente relacionados con la respuesta dinámica del circuito hidráulico que presenta un fuerte acoplamiento debido a la perturbación que produce el movimiento del pistón dentro del cilindro.

Los resultados que se obtienen en el circuito de baja presión, por si solos no aseguran la factibilidad del diseño en condiciones de operación del reactor, ya que corresponden a condiciones de trabajo muy diferentes entre si. Para lograr esto es necesario además estudiar los fenómenos y parámetros que determinan el funcionamiento dinámico y verificar o inferir el grado de la validez de los resultados entre la situación ensayada y las de operación del reactor.

Los aspectos mecánicos que intervienen en las condiciones de funcionamiento están relacionados con la precisión mecánica y geometría del conjunto pistón cilindro y cadena cinemática que determinan los métodos constructivos y de montaje a utilizar.

EFFECTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO

El requerimiento inicial de un paso mínimo de 5 mm dio origen a una primera serie de ensayos, que permitió comprobar un buen comportamiento respecto de la capacidad del dispositivo para mantener posiciones fijas ante perturbaciones de los parámetros de circuito de alimentación. Si bien el dispositivo mostró tolerar variaciones de hasta un 100% en el caudal de sustentación con modificaciones en la posición del orden del milímetro, mostró que se requiere de un gran esfuerzo en la sintonización los parámetros de control [1, 2] para lograr una adecuada respuesta del sistema ante una demanda de cambios de posición.

Este comportamiento evidenció la existencia de fenómenos, fundamentalmente dinámicos, que afectaban la respuesta del mecanismo durante la ejecución de cada ensayo [3]. Para contrarrestar estos fenómenos se debieron realizar cambios en el diseño. Estos cambios son desarrollados más adelante en este mismo documento.

Entre los factores más importantes que afectan el funcionamiento se determinaron los siguientes:

- Acoplamiento dinámico entre mecanismo y circuito de alimentación.
- Cambios en la velocidad de propagación de ondas de presión.
- Perturbaciones de presión por apertura y cierre de las válvulas del generador de pulsos (GDP).
- Centrado del pistón en el cilindro.
- Influencia del tamaño del paso.
- Régimen de caudal en la zona de interferencia pistón-cilindro.

Acoplamiento dinámico entre el mecanismo y el sistema de accionamiento

Un efecto que se ha identificado y es inherente al sistema hidráulico es un fuerte acoplamiento entre el mecanismo de accionamiento hidráulico y el sistema de alimentación. Por una parte, durante la ejecución de los pulsos de comando y movimiento del mecanismo, el sistema de alimentación ve un cambio de resistencia hidráulica muy importante y reacciona ante tal cambio.

Los efectos identificados durante un movimiento del pistón en el sentido ascendente son la caída inmediata en la presión disponible para los pulsos y el aumento inmediato del caudal de circulación. Esto hace que el sistema se presente muy sensible a los parámetros de funcionamiento (caudal de mantenimiento, amplitud y tiempo de pulsos), reduciéndose el margen operacional de los mismos que permiten tener una repetitividad en la posición. [4,5,6]

Velocidad de propagación de ondas de presión

La transmisión de los pulsos de presión y su dinámica asociada está vinculada a la velocidad de propagación de las ondas de presión y su relación con la longitud total de la cañería que transporta el pulso.

Esta velocidad depende, entre otras cosas de la temperatura del fluido y fundamentalmente de la cantidad de burbujas de gases presentes en el mismo.

Concentraciones muy pequeñas de gases no disueltos (ej. fracciones de vacío del 1% a temperatura ambiente) llegan a reducir la velocidad de propagación en un orden de magnitud.

Si bien en las condiciones de operación no se espera que existan gases no disueltos, la velocidad de propagación será un 40% menor debido al aumento de la temperatura respecto a las condiciones correspondientes a temperatura ambiente [7].

Velocidad de apertura y cierre de las válvulas del GDP

Las válvulas utilizadas para generación de los pulsos en el CEM son del tipo accionamiento directo y cierre rápido. Los resultados experimentales muestran que inmediatamente después del cierre se producen pulsos negativos, indeseables desde el punto de vista dinámico, asociados al efecto de separación de columna.

Centrado del pistón en el cilindro

El pistón dentado tiene en el CEM un mayor grado de libertad en el movimiento radial debido a que el vástago se encuentra sin guiado por debajo del nivel del pistón.

El juego diametral en las guías del pistón garantiza una cierta alineación entre el pistón y el cilindro, pero resulta insuficiente por sí sólo para asegurar una uniformidad de la geometría en la zona de dentado durante el movimiento.

Influencia del tamaño del paso

La importancia de los fenómenos mencionados junto con los bajos valores de fricción y amortiguamiento hidromecánicos inherentes a la carga dan como resultado un comportamiento oscilatorio amortiguado de frecuencias de hasta 10 Hz que afecta a los parámetros hidráulicos del circuito.

La duración de estas oscilaciones (figura 1), excede el tiempo requerido entre pulsos sucesivos (500ms), necesarios para lograr una velocidad de ascenso de 1 cm/s, con lo cual las condiciones iniciales de cada evento no resultan repetitivas.

Las mejoras implementadas en el circuito y los cambios de diseño dirigidos a resolver estos problemas, si bien mostraron una leve mejoría, no alcanzan para garantizar un adecuado margen de confiabilidad en el funcionamiento.

Ante esta situación se evaluó la posibilidad de incrementar el paso a un valor tal que mejore la respuesta dinámica aumentando así el intervalo requerido entre pulsos sucesivos. Los estudios neutrónicos, mostraron que un cambio del paso de 5 a 20 mm, permite mantener la capacidad de regulación y ajuste del sistema de control del reactor [8].

Por último se decidió encarar una nueva serie experimental sobre un diseño de paso 20 mm.

Régimen de caudal en la zona de interferencia pistón cilindro.

Mientras que la pérdida de carga por cambio de forma es independiente del número de Reynolds (Re) la debida a la fricción no lo es, y la variación con el número de Re es más pronunciada en regímenes no turbulentos.

Con el aumento del paso a 20mm, la pérdida de carga de la zona del dentado pasa a tener un comportamiento diferente al de su antecesor de 5 mm, ya que en un dentado de paso pequeño y gran número de dientes domina el efecto de cambio de forma, mientras que con un paso grande y menor número de dientes, la fricción tiene una importancia mucho mayor. Este hecho afecta fundamentalmente a la capacidad de extrapolar el comportamiento observado en el circuito de baja presión a las condiciones de trabajo en el reactor [9].

En este punto fue necesario efectuar una evaluación acerca de la validez de los resultados obtenidos en relación con las condiciones de trabajo del mecanismo en el reactor. A este aspecto corresponde el análisis que denominamos “escalabilidad”, que se describe a continuación.

ESCALABILIDAD DE LOS RESULTADOS

Los ensayos en el circuito de baja presión presentan la facilidad de permitir una gran flexibilidad en los ensayos, pero a costa de no poder reproducir todos los parámetros del sistema.

Tratándose de un sistema hidráulico con requerimientos dinámicos, se debe tener especial cuidado en los parámetros a utilizar, ya que la preservación de alguno de ellos no implica que necesariamente se obtengan resultados extrapolables a otras condiciones.

En un análisis cualitativo, claramente se pueden identificar los tipos de analogías que se desean preservar:

- 1) Analogía geométrica: forma del dentado, número de dientes, diámetros y alturas.
- 2) Analogía hidráulica del sistema: propiedades físicas del fluido, patrón de flujo, etc.
- 3) Analogía de los aspectos dinámicos del sistema: masas involucradas, presiones, caudales, velocidades, fricción, amortiguamiento, etc.

En una primera instancia, se adoptó el criterio de respetar la geometría en escala idéntica a la real para estudiar el comportamiento funcional.

El análisis desde el punto de vista dinámico e hidráulico demostró que la preservación de esta analogía en forma simultánea era incompatible. Se replanteó entonces el esquema de ensayos para lograr un patrón de flujo lo más cercano a las condiciones de funcionamiento orientado a lograr un escalado simple y directo de los resultados obtenidos en el CEM con respecto a las condiciones de trabajo en el reactor.

A continuación se plantean los criterios de similitud utilizados.

Similitud dinámica: Considerando que se pretende caracterizar el comportamiento dinámico del sistema resulta imprescindible mantener los valores involucrados en la ecuación de momento, es decir, las masas, las fuerzas de fricción y las magnitudes de las diferencias de presión relativas involucradas en cada componente, así también como la diferencia de presión disponible para los pulsos de accionamiento.

Similitud hidráulica: En condiciones de operación del reactor se espera tener un régimen puramente turbulento. Para las temperaturas relativamente bajas que se manejan en el circuito de baja presión hay que efectuar cambios en alguno de los parámetros para alcanzar el régimen turbulento.

Para obtener esta condición en el circuito de ensayos (con temperaturas inferiores a 90°C) se debe incrementar el caudal entre un 60% y 80% del valor nominal, lo cual implica que el número total de dientes del pistón para mantener la misma fuerza de sustentación en la carga debe ser menor.

RESULTADOS CON PASO DE 20mm

Los primeros ensayos fueron realizados a temperatura ambiente con el objetivo de observar cambios cualitativos respecto del diseño anterior de 5mm. Inicialmente se utilizó un pistón largo con 22 dientes rectos (90g20mm22d) obteniéndose secuencias largas de más de 13000 pulsos sin fallos, con una relativa facilidad en la sintonización de los parámetros del circuito y con amplios márgenes de estabilidad en los parámetros de control [10].

Los aspectos de repetitividad y sensibilidad relevados mostraron una mejora sustancial respecto de la respuesta lograda hasta entonces por el diseño anterior.

Resultados similares se lograron con un segundo diseño que utilizaba huelgos mayores con 11 dientes de perfil oblicuo (20g20mm11d) [11]

Para alcanzar las condiciones de “escalabilidad” se ensayó un pistón corto con 5 dientes rectos (90g20mm5d) con mayor caudal de mantenimiento y en condiciones de temperatura de hasta 80°C [12].

En todos los casos se verificaron secuencias de ascenso - descenso de más de 1000 pulsos y respuestas repetitivas con buena tolerancia a la variación de los parámetros de control, dentro de un rango acotado. Las figuras 2 y 3 muestran los mapas de comportamiento

repetitivo para distintos tiempos de apertura de las válvulas y amplitudes de pulsos en condiciones de ascenso (T_a) y tiempos de apertura de válvula en descenso (T_d) respectivamente, mientras que las figuras 4 y 5 muestran los resultados para variaciones del caudal de mantenimiento (Q_m) alrededor del valor nominal.

De los tres casos estudiados, interesa particularmente el último, ya que es el que mejor representa la factibilidad funcional en las condiciones del reactor. En este caso la tolerancia a variaciones independientes de cada parámetro evaluado fue la siguiente:

T_a : 20 mseg
 T_d : 500 mseg
 Q_m : $\pm 4\%$

DISEÑO MECANICO - ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

El diseño adoptado para el MSAC implicó varios desafíos para el diseño mecánico. Aspectos relacionados con el comportamiento funcional han requerido de un alto grado de precisión geométrica y tolerancias en la fabricación y ensamble de sus partes. Como ejemplos de estos desarrollos pueden citarse: la construcción del cilindro dentado, el diseño del sello inferior y el guiado del pistón.

También los requerimientos de simplicidad en el montaje y desmontaje requeridos para la maniobra de recambio de combustible en el reactor, así como para las tareas de mantenimiento propias del equipo durante el servicio han llevado a desarrollos específicos en algunos de sus componentes.

Cilindro dentado

El arreglo geométrico adoptado de un cilindro ranurado de gran longitud y un pistón corto móvil es adecuado desde el punto de vista de cumplir el requisito de tener un dispositivo lo menos esbelto posible, pero conduce implícitamente al desarrollo de un cilindro maquinado de considerable longitud con gran precisión en sus dimensiones internas.

En un primer desarrollo del cilindro se utilizaron una serie de insertos contenidos dentro de un cilindro exterior, que hacía las veces de zuncho sobre toda la longitud [13]. La precisión obtenida a través de esta metodología no resultó satisfactoria, por lo que se planteó un diseño conceptualmente diferente que consiste en una serie de insertos ranurados, los cuales se montan entre sí por medio de dilatación térmica [14]. Este montaje por contracción no genera esfuerzos permanentes excesivos [15]

Actualmente el cilindro se compone de 15 piezas individuales, fijadas por medio de una pequeña interferencia mecánica, una a continuación de la otra. El diámetro interno se controla con un calibre pasa no pasa de una longitud equivalente a la del pistón del MSAC y permite ser verificado externamente para garantizar la rectitud requerida. En la figura 6 se observa el detalle de la unión entre dos piezas del cilindro.

Sello flotante

A fin de minimizar los esfuerzos de fricción en la base del cilindro se diseñó un sistema de sello flotantes que permite acomodar la posición del pistón en el cilindro, garantizando un ritmo de pérdidas controlado.

Conceptualmente el sello es una sucesión de anillos de grafito y acero inoxidable, con huelgos diametrales internos y externos diferentes, montados dentro de un alojamiento concéntrico con el eje vertical del MSAC (figura 7).

Guiado vástago y pistón

Si bien la cadena cinemática se encuentra guiada a lo largo de su recorrido por dos bujes, es de gran importancia asegurar un buen centrado del pistón dentro del cilindro a fin de lograr el comportamiento uniforme y repetitivo.

El guiado del pistón se garantiza mediante la inclusión patines deslizantes maquinados en el mismo cuerpo del pistón con tolerancias y huelgos más estrictos que los de la zona de dentado. Con esta disposición el guiado del conjunto se produce en una zona con mucha circulación de fluido, lo que significa un lavado permanente de las zonas que pudieran estar en contacto (figura 6).

Sistema de montaje /desmontaje del mecanismo

Un resorte ubicado en el interior del pistón y asegurado por una tuerca, provee la precarga necesaria para mantener unida toda la cadena cinemática (figura 8).

El acoplamiento entre la barra de mecanismos y la araña del elemento absorbente se realiza a través de una pieza de unión que permite su desconexión desde la parte superior del recipiente de presión mediante un pequeño giro. El conjunto cuenta con una barra de seguridad que evita la desconexión durante la operación.

Una vez desacoplada la araña, puede extraerse el mecanismo completo (cilindro, pistón y vástago) desacoplando el cilindro del disco soporte de mecanismos.

CONCLUSIONES

Los experimentos realizados han posibilitado acumular una gran experiencia en el diseño, fabricación, armado, operación y modelado del mecanismo. Se han relevado y estudiado los fenómenos más importantes que rigen el comportamiento funcional del sistema y se desarrollaron herramientas de análisis que permiten interpretar y evaluar los resultados obtenidos. Con lo cual se ha cumplido con la mayor parte de los objetivos previstos para la presente etapa [16,17].

Se desarrolló una metodología útil que permite inferir en forma aceptable para esta etapa, el comportamiento dinámico en las condiciones de trabajo del reactor a partir los resultados obtenidos en el circuito de baja presión. Estos resultados muestran que es posible obtener un conjunto de parámetros de control que satisfaga los requerimientos de repetitividad dentro de un cierto rango de variación de los mismos.

Si bien algunos de los rangos de variación tolerados por los parámetros de control pueden ser considerados pequeños (ej. T_a y Q_m), existen algunos factores particulares (entre ellos, una mayor velocidad del fluido, un menor número total de dientes, la ausencia de guiado por debajo del cilindro y la presencia de burbujas) que hacen que las condiciones ensayadas sean, desde este punto de vista, más exigentes que las del reactor.

Si bien es deseable obtener márgenes más amplios en los parámetros para prevenir posibles efectos aún no identificados, la sensibilidad lograda permite ser manejada dentro de rangos alcanzables por un sistema de comando hidráulico con características convencionales.

Los aspectos del diseño mecánicos principales han sido resueltos aceptablemente. En particular, para los componentes relacionados con el comportamiento funcional y estructural, se cuenta con métodos constructivos compatibles con los procesos de fabricación industrial y tolerancias que pueden alcanzarse en la industria nacional.

El montaje y desmontaje durante las maniobras que se requieren en el reactor se ha resuelto mediante operaciones sencillas, factibles de realizarse desde la zona de maniobras ubicada sobre el nivel del recipiente del reactor.

Los trabajos y conclusiones alcanzadas (que necesariamente deben ser complementados y confirmados durante los ensayos de alta presión), junto con las pruebas realizadas, muestran que es factible obtener un diseño capaz de cumplir las funciones requeridas con la única limitación de tener un paso igual o superior a 20mm.

ACTIVIDADES FUTURAS

Para lograr el diseño definitivo es necesario avanzar en la optimización de los parámetros de funcionamiento y métodos constructivos, de modo de ampliar los rangos de operación de los parámetros mediante mejoras en el circuito de comando e incrementar la tolerancia y respuesta del sistema frente a situaciones anormales (fallas de componentes, roturas, etc.).

La próxima etapa comprende la realización de ensayos en un circuito de alta presión, en donde se determinarán con mayor precisión los valores operativos para cada condición de trabajo y la respuesta del sistema frente a fallas y situaciones anormales.

Por último se deberá calificar el componente realizando los ensayos de durabilidad que garanticen el funcionamiento durante su vida útil.

Con esta finalidad, actualmente se están realizando las tareas de ingeniería para construir una instalación experimental apta para realizar ensayos funcionales y de durabilidad, con vistas a calificar el diseño en condiciones de trabajo en el reactor (presiones entre 2,3 y 12,25Mpa).

REFERENCIAS

1. Documento 0758-0220-3TAIN-145-1O Tareas realizadas en el circuito experimental de ensayos del mecanismo hidráulico de control (1ra etapa). Análisis de resultados- Rubio Raúl – 11.dic.1998
2. Documento 0758-0220-1TAKD-162-1O, “Tareas desarrolladas durante el primer cuatrimestre en el circuito de ensayo del mecanismo hidráulico de control de elementos absorbentes del reactor CAREM-25”, R. Rubio,
3. Documento 0758-0220-1IAKD-169-1O, “Modelado y Simulación del MSAC. Factores que afectan la generación y propagación del pulso”. A. Larreteguy
4. Memo MEM-TER-99-0019 - “Análisis dinámico el pistón dentado del mecanismo hidráulico”, C. Mazufri
5. Memo MEM-DES-00-0056 - “Influencia de la relación de caudales en la estabilidad de la presión de suministro al generador de pulsos”, A. Larreteguy
6. Memo MEM-TER-00-0016 - Análisis Dinámico del Sistema de Alimentación Acoplado al Mecanismo Hidráulico”, C. Mazufri

7. Documento 0758-0230-1IAKP 005-1O, Análisis de la posibilidad de evolución de gases en el sistema 0230 – influencia sobre la velocidad de propagación de ondas de presión hacia los MCEA., Nestor Gonzales, Marzo 2000.
8. Documento 0758-0220-1TAKD-153-1O “Alternativas de mejoras al funcionamiento del mecanismo hidráulico. Rubén Mazzi.
9. Memo MEM-TER-00-0010 - “Consideraciones sobre el dentado del mecanismo hidráulico”, C. Mazufri, A. Larreguy,
10. Documento 0758-0220-1ITAKD-175-1O “Mecanismo hidráulico de control – Tareas realizadas con el pistón 90g20mm22d”, Raúl Rubio
11. Documento 0758-0220-1ITAKD-177-1O “Mecanismo hidráulico de control – Tareas realizadas con el pistón 90g20mm11d”, Raúl Rubio
12. Documento 0758-0220-1IAKD-178-1O, “Mecanismo hidráulico de control – Tareas realizadas con el pistón 90g20mm5d”, Raúl Rubio
13. Plano conjunto MCEA 0758 0220 3TAPQ 101 2O
14. Documento 758 0220 1IAKD 048 1O, Cambios de Diseño en el Mecanismo Hidráulico paso 5 mm y paso 20mm, C. Brendstrup.
15. Documento 758 0220 2IAKD 160 1O “Análisis de Tensiones entre Sectores de los Cilindros Ranurados del MSAC”., S. Terlisky
16. Documento 0758 0220 3IAIN 033 1A, “Esquema de ensayos sobre los mecanismos de control de elementos absorbentes”, N. Masriera
17. Documento 0758 0220 3IAIN 136 1A, “Mecanismo hidráulico de control de reactividad. Plan de ensayos”, Raúl O. Rubio

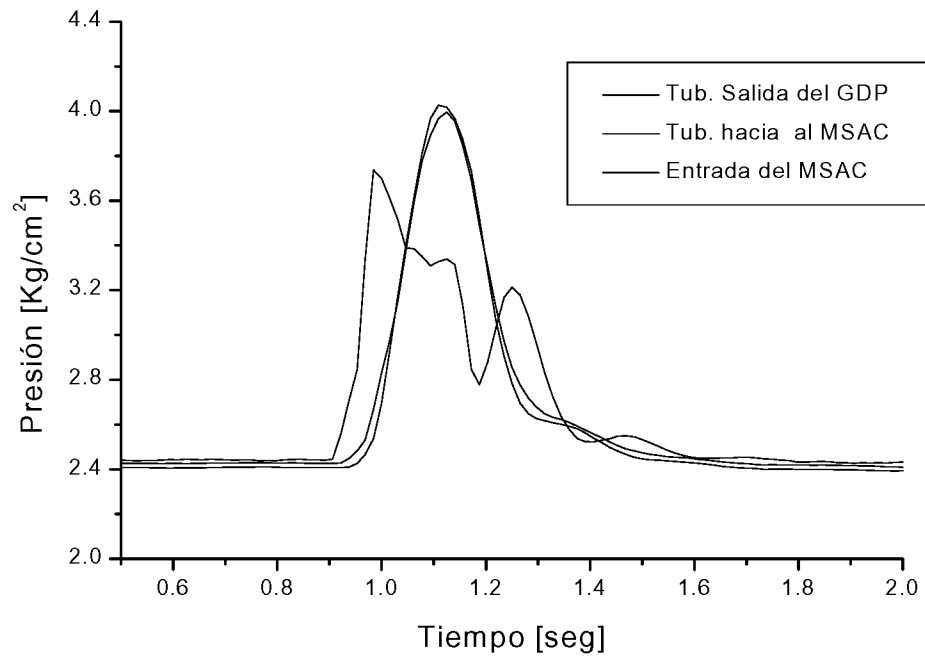


Figura 1: Ondas de presiones durante un pulso de subida

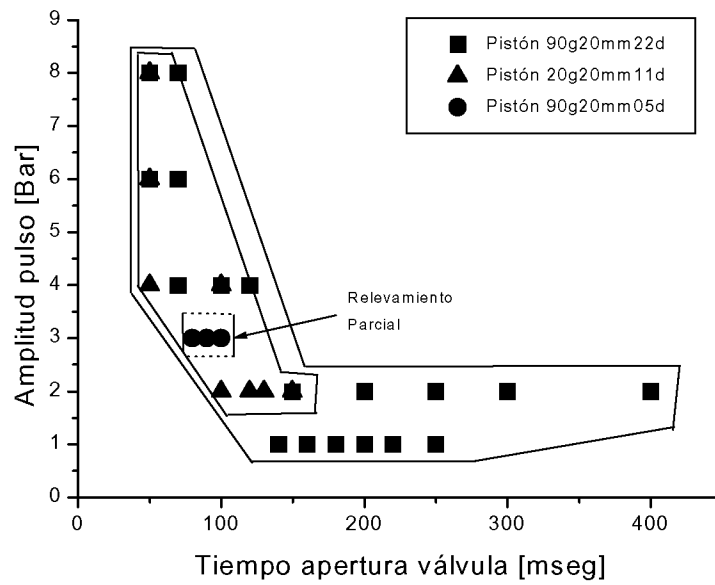


Figura 2: Mapas de comportamiento repetitivo exitoso durante ascenso

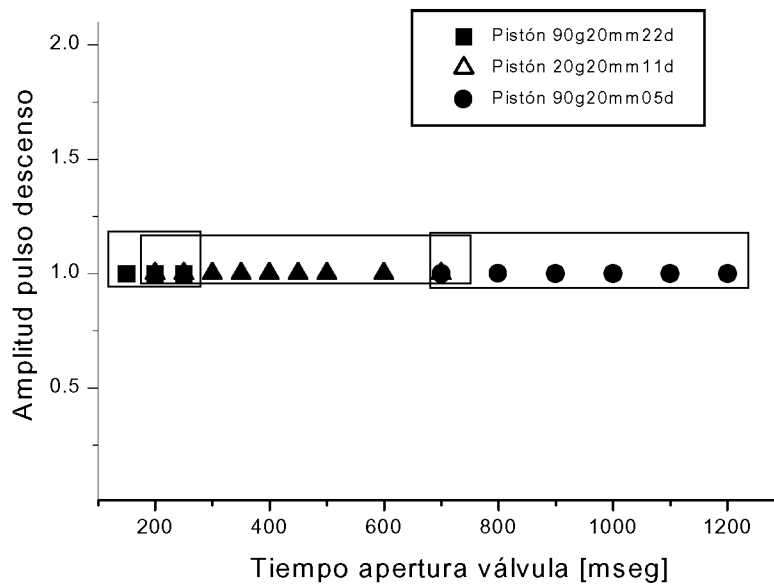


Figura 3: Mapas de comportamiento repetitivo exitoso durante descenso

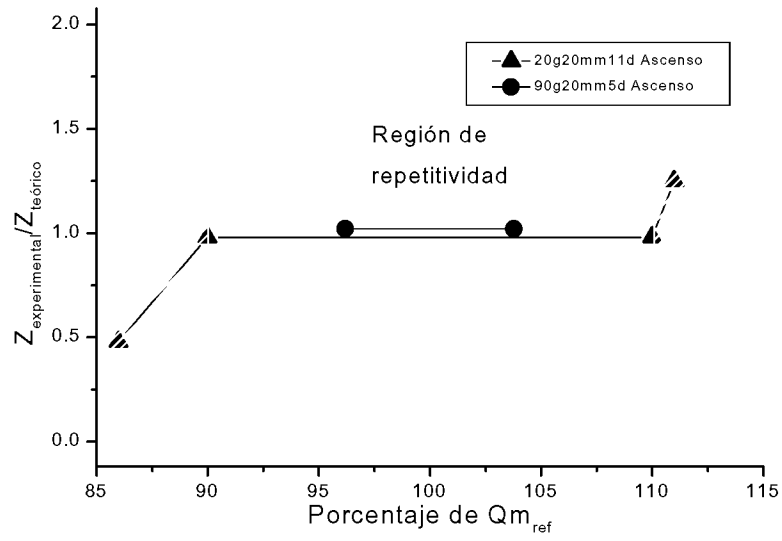


Figura 4: Comparación de respuesta pistones paso 20 mm con variación en el caudal – Ascenso

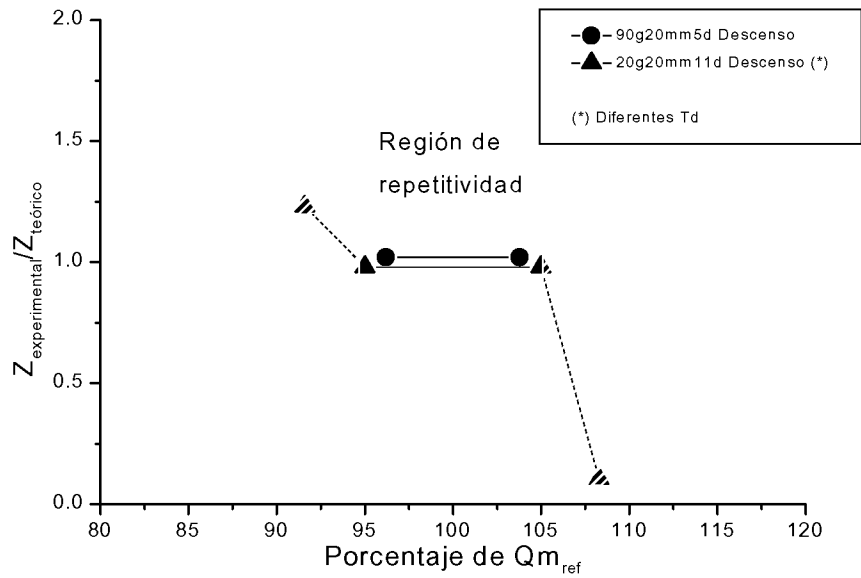


Figura 5: Comparación de respuesta pistones paso 20 mm con variación en el caudal - Descenso

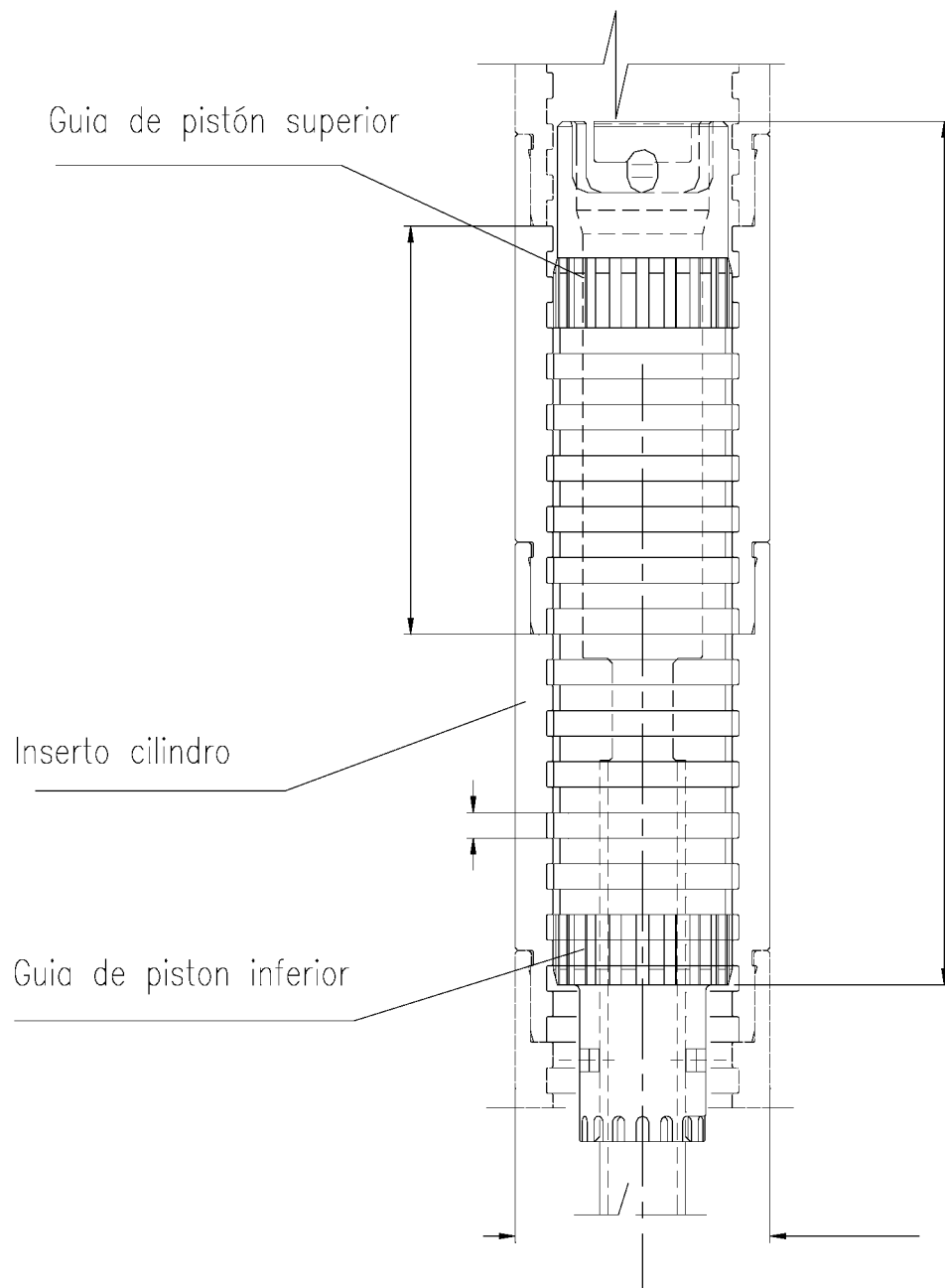


Figura 6: Detalle de cilindro y guiado de pistón

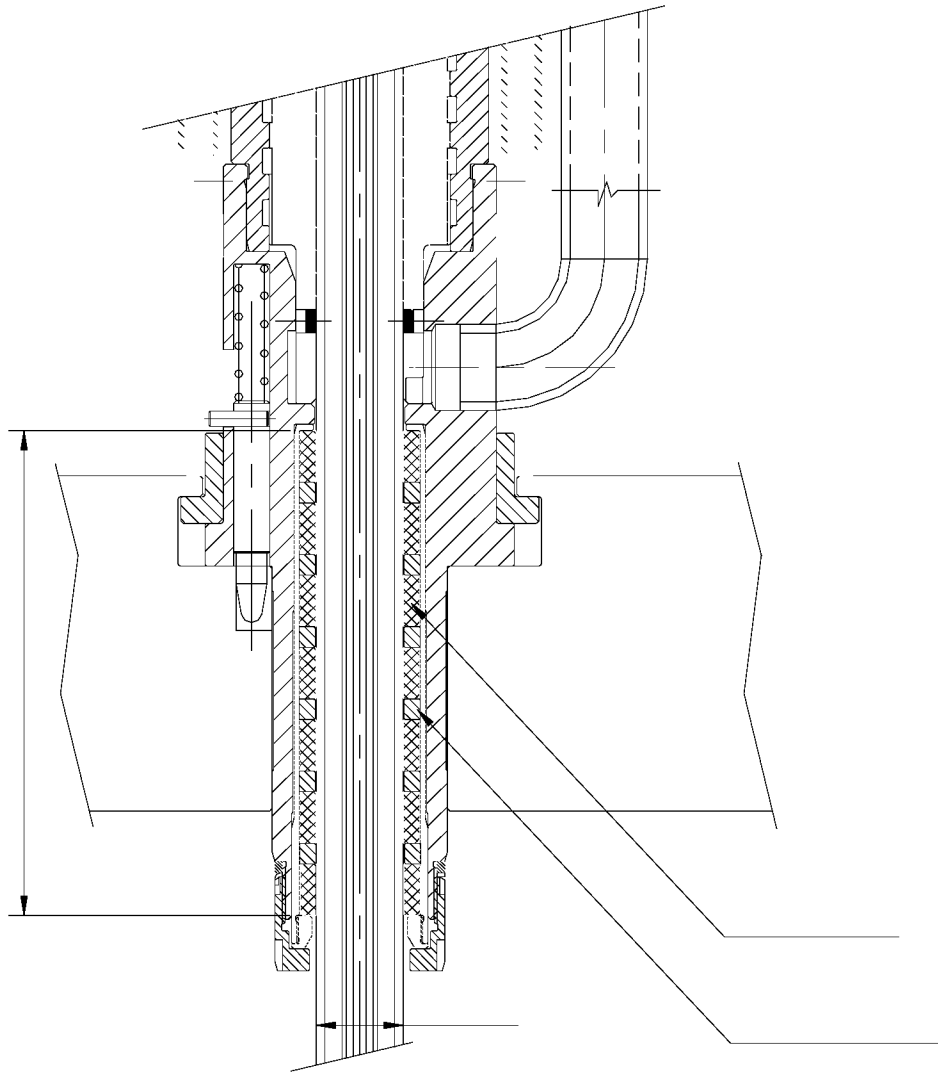


Figura 7: Sello flotante

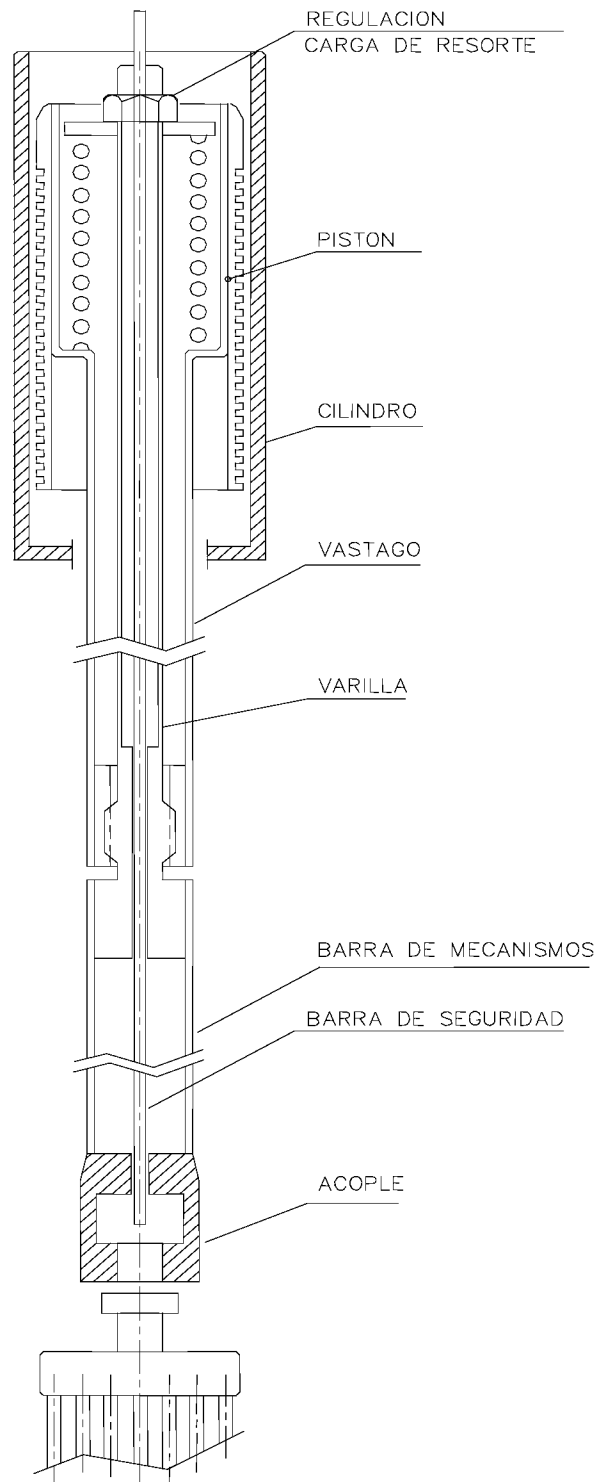


Figura 8: Sistema de montaje/desmontaje de la barra de mecanismo