

E.A. Biblioteca	
PUBLICACIONES	
Nº 3	AÑO 1980

08.80.02

CNEA-NT 6/80

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

DINAMICA DEL SISTEMA DE CONTROL DE ZONAS LIQUIDAS

Preparó: Jorge CASTAÑO

Revisó: José Raúl LORENZETTI

GERENCIA DE INGENIERIA
DIRECCION DE CENTRALES NUCLEARES
Buenos Aires-Argentina

1980

DINAMICA DEL SISTEMA DE CONTROL DE ZONAS LIQUIDAS

Ing. CASTAÑO

La figura 1A muestra el modelo físico del sistema. La válvula V_0 está ajustada para proporcionar un caudal de agua de 60 lb/min. (50% de W_{MAX}) en condiciones de régimen estacionario.

El nivel de la zona líquida es controlado por la válvula V_I , la que recibe la señal de mando desde la computadora (D.D.C). Para analizar el comportamiento dinámico del sistema se superpusieron escalones del $\pm 10\%$ y $\pm 100\%$ a la posición normal de la válvula V_I , que en régimen estacionario corresponde al 50% de W_{MAX} .

Las válvulas V_F y V_B que alimentan y drenan helio al y desde el balance header respectivamente, son controladas en función de la diferencia DP_{HDT} , entre el balance header y el delay tank.

La apertura de las válvulas es controlada por un regulador P-I, el que responde a la siguiente ecuación:

$$X = EP = \int (1 - XF) \cdot EP_{ID} + XF \cdot RKI \cdot \int EP_{ID} \cdot dt$$

$$\text{donde} \quad \begin{cases} EP_{MAX}: & \text{ganancia inversa} \\ RKI & : \text{rate-reset} \\ DP_{BHDT} = & PHDT - PHH \end{cases}$$

$$\text{donde} \quad EP_{ID} = \frac{1}{EP_{MAX}} (PSETZ - DP_{BHDT})$$

La secuencia de operación de las válvulas es la siguiente:

cuando: $EP_{ID} > 0$ se abre la válvula V_F y mantiene cerrada V_B
 $EP_{ID} < 0$ se abre la válvula V_B y mantiene cerrada V_F

La función del regulador es la de tender a mantener constante en 0.5 W_{MAX} el caudal de agua de salida de los compartimentos de zonas, regulando para ello la diferencia DP_{BHDT} .

Se comenzó ensayando el modelo según valores recomendados en el informe CENI-64 de AECL, siendo los parámetros los siguientes:

RK1 = 0.1 r.p.m.
 EPMAX = 2000 psi
 XF = 0.1
 PDT0 = 14.5 psi (presión inicial en el delay tank)
 WWMAX = 120 lb/min WWZIO = 0.5 WWMAX = 60 lb/min

y la función de entrada, un escalón negativo del 10% de WWZIO superpuesto sobre WWZIO durante el intervalo comprendido entre 0.1 y 3.5 min.

La figura 1-B muestra la evolución en el tiempo del caudal de agua a la salida de las zonas, WWZO y del nivel de zonas ZLEV, y la figura 1 - C la variación de la diferencia de presiones entre el balance header y el delay tank, DPBHDT, que es la magnitud regulada.

Los cambios producidos en DPBHDT durante el transiente se reflejan en variaciones correspondientes en WWZO, como indica la figura 1-B

Estas variaciones de WWZO hacen que el nivel se comporte en forma diferente a la que resultaría si WWZO se mantuviera constante.

La línea punteada, indica la variación esperada del nivel, en el caso en que WWZO fuera constante e igual al 50%.

Después de 3.5 min. de iniciado el transiente la válvula VI vuelve a su posición inicial, pero ahora WWZO es menor que al comienzo del transiente, por lo que el nivel en vez de permanecer constante, como indica la línea punteada, aumenta.

Las figuras 1B y 1C muestran que en un tiempo superior a 5 ó 6 min. tanto DPBHDT como WWZO, alcanzan el estado estacionario de 65 psi y 60 lb/min. respectivamente, pero con un nivel de zonas muy diferente al esperado.

Esto significa que con los valores de los parámetros adoptados, el valor estacionario del nivel depende del comportamiento anterior del sistema.

Obsérvese además que la línea de variación del nivel durante la excitación de entrada entre 0.1 y 3.5 min. se aparta de la recta teórica (línea punteada), debido al transiente en WWZO.

La inestabilidad de DPBHDT es mayor, cuando el compresor actúa durante el transiente, siendo el caso más desfavorable aquel en que el nivel aumenta con el compresor conectado.

Con el objeto de tener una base orientativa para la elección de los parámetros del regulador, se analizó el proceso a lazo abierto, para tener una idea de las constantes de tiempo involucradas en el mismo.

Para ello se interrumpió el lazo de control, tomando como entrada al proceso, el caudal de helio al balance header WHBHI ó WHBHO y como variable de salida la diferencia de presiones DPBHDT.

Se estudió la respuesta del proceso a una función impulsiva en el caudal de entrada al balance header, WHBH aplicada en $t = 0$ de ancho 0-3 min. y amplitud 1.5 lb/min, para los casos en que WHBH = WHFEED y WHBH = WHBLED.

Se estudiaron además, los mismos casos anteriores, pero con el compresor actuando durante el transiente, haciendo para ello la presión inicial en el delay tank PDTO = 5 psi.

El compresor esta comandado de forma que cuando la presión en el delay tank excede 35,5 psi, se pone en funcionamiento, desconectándose cuando dicha presión descienda por debajo de 14.5 psi.

Dado que la característica de las válvulas es alineal, no fué posible encarar una compensación aplicando la técnica para los sistemas lineales.

Se observó que en los casos en que el compresor no actuó durante el transiente, el proceso puede aproximarse mediante un sistema de primer orden, con constante de tiempo comprendida entre 1 y 1.5 min.

La respuesta impulsiva del proceso, con compresor actuando y WHBLED como entrada muestra un comportamiento que se asemeja a un sistema de segundo orden, con elevada relación y amortiguamiento.

La respuesta a la misma excitación, pero en WHFEED, con compresor conectado, muestra dos tramos entre 0.3 y 2 min. y por arriba de 2 min., en cada uno de los cuales el sistema se aproxima a uno de primer orden pero con diferentes constantes de tiempo, las cuales son de 0.5 min. para el primer tramo y 1.5 min. para el segundo.

Como las constantes de tiempo inherentes al proceso están comprendidas entre 1 y 1.5 min., aplicando el criterio de que la constante de tiempo de la acción integral sea 10 veces menor se estableció un valor de $RK1 = 7.5$ r.p.m.

El valor de la ganancia inversa se fijó en 1000 psi y la proporción de acción integral en $XF = 0.1$

Además de la adopción de estos parámetros, se introdujo una ligera modificación en el sistema, que consistió en tomar como magnitud regulada, no ya la diferencia de presiones entre el B.H. y el D.T., sino entre este último y la parte inferior del compartimento de zonas.

De esta manera, se logra una mayor constancia de la diferencia de presiones a través de la válvula V_0 , de posición fija, que es la que determina el caudal de salida de las zonas WWZO.

Este caudal debería mantenerse idealmente en el 50%. Las líneas punteadas de la figura 1, muestran la modificación introducida.

De esta forma, la variable controlada DPBHDT es ahora:

$$DPBHDT = PHDT - PHBH + \rho_{H_2O} \cdot HZT \cdot ZLEVEL$$

donde: ρ_{H_2O} : densidad del agua
 HZT : altura del compartimento de zonas
 $ZLEVEL$: nivel relativo
 $PHDT$: presión en el D.T.
 $PHBH$: presión en el B.H.

Con esta modificación se logró una notable mejora en la constancia de WWZO, el que presenta pequeños over shoot y under-shoots que se amortiguan rápidamente.

Con los nuevos juegos de parámetros y las modificaciones efectuadas se efectuaron simulaciones del proceso a lazo cerrado a excitaciones escalón de diferentes signos y amplitudes y con di-

ferentes presiones iniciales en el delay tank (14.5 psi y 35. psi respectivamente).

La figura 2 A muestra la evolución en el tiempo del nivel de zonas, ZLEVEL y caudal de salida de agua de zonas WWZO, cuando la apertura de la válvula de entrada de agua a las zonas (VI), y por lo tanto WWZI disminuye en el 10% de su valor inicial (50% WWMAX) durante el intervalo comprendido entre 0.1 y 3.5 min. siendo la presión inicial en el D.T. PDTO = 14.5 psi.

La línea punteada indica la variación teórica de nivel, que se esperaría si el caudal de salida WWZO permaneciera constante.

El máximo apartamiento entre las curvas real y teórica de nivel no excede el 5%.

El caudal de salida WWZO presenta un pequeño undershoot del 6% a los 1.75 min. aproximadamente, de iniciado el transiente, luego del cual alcanza el valor de régimen de 60 lb/min. al cabo de 5 min.

La figura 2B representa el transiente de las presiones en el balance header, en el delay tank y de la diferencia de presiones entre la parte inferior del compartimento de zonas y el D.T. , DPBHDT.

En la figura 3 A se muestran las variaciones de nivel y caudal de salida de zonas, al aplicar un escalón de + 10% en la apertura de la válvula de entrada al compartimento de zonas, durante el intervalo comprendido entre 0.1 y 3.5 min., con una PDTO = 14.5 psi.

La evolución teórica de nivel con WWZO constante se indica mediante la línea punteada y la real con línea llena, no excediendo la máxima diferencia entre ambas del 3%.

El caudal de salida WWZO muestra un over shoot del 2% al cabo de 0.5 min. tendiendo al valor estacionario de 60 lb/min. en aproximadamente 5 min. con un error del 1%.

El transiente de las presiones en el balance header PHBH y en el delay tank PHDT y la diferencia de presiones a través de la válvula VO , DPBHDT, se representa en la figura 3-B.

Posteriormente, se llevaron a cabo los mismos ensayos an-

teriores, pero con una presión inicial en el D.T. de 35 psi, de manera de asegurar la puesta en marcha del compresor durante el transiente.

La figura 4 A muestra la variación en el nivel de las zonas y en el caudal de salida WWZO, al aplicar un escalón negativo de - 10% en la apertura de la válvula de control VI, entre 0.1 y 3.5 min.

La línea punteada es la variación teórica del nivel, si WWZO, permanece constante en el 50%. La variación real de nivel presenta un apartamiento máximo del 4% respecto a la curva teórica.

El compresor comienza a funcionar a los 0.25 min. y se desconecta a los 2.0 min., momento en el cuál se produce un overshoot del 1.5% en el caudal de salida WWZO.

La figura 4 B muestra que las presiones en el delay tank y en el balance header tienen entre 0 y 2.5 min. un decrecimiento pronunciado, para luego tender hacia sus valores estacionarios.

En tanto la diferencia DPBHDT de presiones a través de la válvula Vo tiene un ligero overshoot del 4% al cabo de 3 min., alcanzando rápidamente el valor estacionario de 65 psi.

Como vemos, con las modificaciones efectuadas y los parámetros elegidos, la respuesta del nivel de zonas a una excitación escalón en la posición de la válvula de entrada de agua (VI) al compartimento responde muy aproximadamente a la respuesta teórica.

La razón de ello es que el caudal de salida del compartimento de zonas no varía en más del 2.5% respecto al valor estacionario $WWZO = 0.5 WWMAX$, debido a la acción del regulador que mantiene la diferencia de presiones a través de la válvula Vo en un valor prácticamente igual al de referencia (65 psi) con un apartamiento que no excede del 4%.

La figura 5 A representa las variaciones de nivel y caudal de salida cuando la válvula VI, experimenta una apertura instantánea de + 10% de su posición estacionaria, siendo $PDT0 = 35$ psi.

Como antes, la línea punteada representa la curva teórica de nivel. La figura 5 B muestra las variaciones de las presiones en el D.T., el B.H. y la diferencia DPBHDT, la que determina

el caudal WWZO.

Como se observa la mayor inestabilidad en el comportamiento de WWZO se produce cuando el compresor funciona durante parte del transiente, y el nivel de zonas crece.

El funcionamiento del compresor en este caso tiene lugar entre 0.25 y 2.25 min. , intervalo en que WWZO experimenta un overshoot del orden del 2.5 %.

APENDICE 11.- DESIGNACION DE LAS VARIABLES DEL MODELO

VARIABLE	UNIDAD	SIMBOLO	CODIGO
Caudal de helio de entrada al balance header	lb/min	WH(BHZ)i	WHBHZI
Caudal de helio de salida al balance header	lb/min	WH(BHZ)o	WHBHZO
Caudal de helio de entrada al delay tank	lb/min	WH(DT)i	WHDTI
Caudal de helio de salida al delay tank	lb/min	WH(DT)o	WHDTO
Caudal de entrada de helio al storage tank	lb/min	WH(ST)i	WHSTI
Caudal de salida de helio al storage tank	lb/min	WH(ST)o	WHSTO
Caudal de helio de burbujeo	lb/min	WHBUB	WHBUB
Caudal del compresor de helio	lb/min	WHC	WHCOMP
Caudal de entrada de agua al compartimento de zonas	lb/min	WWZi	WWZI
Caudal de salida de agua al compartimento de zonas	lb/min	WWZO	WWZO
Caudal de entrada de agua al delay tank	lb/min	WW(DT)i	WWDTI
Caudal de salida de agua al delay tank	lb/min	WW(DT)o	WWDTO
Masa de helio en el balance header y compartimento	lb	MH(BHZ)	RMHBHZ
Masa de helio en el delay tank	lb	MH(DT)	RMHDT
Masa de helio en el storage tank	lb	MH(ST)	RMHST

VARIABLE	UNIDAD	SIMBOLO	CODIGO
Presión de helio en el balance header y compartimiento de zonas	psf	$P_{H(BHZ)}$	PHBHZ
Presión de helio en el delay tank	psf	$P_{H(DT)}$	PHDT
Presión de helio en el storage tank	psf	$P_{H(ST)}$	PHST
Diferencia de presiones entre balance header y parte inferior del compartimento de zonas	psf	ΔP_D	DIFFP
	psi		DPHBHDT
Volúmen de agua en compartimento de zonas	ft ³	V_{WZ}	VWZ
Volúmen de helio en compartimento de zonas	ft ³	V_{HZ}	VHZ
Volúmen total del compartimento de zonas	ft ³	V_{ZT}	VZT
Volúmen de helio en el balance header y las 14 zonas	ft ³	V_{HBHZ}	VHBHZ
Volúmen de helio en el balance header	ft ³	V_{BH}	VBH
Volúmen de helio en el delay tank	ft ³	$V_{H(DT)}$	VHDT
Volúmen de agua en el delay tank	ft ³	$V_{W(DT)}$	VWDT
Volúmen total del delay tank	ft ³	$V_{T(DT)}$	VDTT
Volúmen de helio en el storage tank	ft ³	$V_{H(ST)}$	VHST
Nivel relativo de agua en los compartimentos de zonas		N_Z	VLEVZ
Nivel relativo de agua en el delay tank		N_{DT}	VLEVDT

VARIABLE	UNIDAD	SIMBOLO	CODIGO
Densidad del agua	lb/ft ³	ρ_w	RHOW
Temperatura de los recintos (D.T.,B.H.,ST. y Z)	OR	T	TEMP
Altura de los compartimen- tos de las zonas	ft	H _{ZT}	HZT
Caudal de helio a través de la válvula VF	lb/min	W _{HF}	WHFEED
Caudal de helio a través de la válvula VB	lb/min	W _{HB}	WHBLED
Constante de la válvulas de control de helio	$\frac{lb}{min.(psf)^{\frac{1}{2}}}$	C _V	CV
Error de la diferencia de presiones	psf	E _p	EPZ
Salida del regulador	-	E _R	EPX
Ganancia del regulador	1/ psf	K _P	$\frac{1}{EPMAX}$
Constante de integración	min	T _I	$\frac{1}{RKI}$
Proporción de accion in- tegral	-	X _F	XF
Apertura relativa de la válvula VF	-	X	BLIFF
Apertura relativa de la válvula VB	-	X	BLIFF

APENDICE 2ECUACIONES UTILIZADAS EN EL MODELO DE COMPORTAMIENTO DINAMICO DE ZONAS LIQUIDAS

Las ecuaciones empleadas para la simulación del comportamiento dinámico del sistema de control de zonas líquidas son las que se detallan a continuación con referencia a la figura 1. (La nomenclatura utilizada se indica en el apéndice 1)

1.- Compartimentos de zonas líquidas y balance-header.

La ecuación de balance de masas de agua en el recinto de zonas líquidas es:

$$\dot{M}_{WZ} = W_{WZi} - W_{WZO}$$

siendo: $W_{WZO} = C_W \cdot \sqrt{\Delta P_D}$

donde C_W = Constante de la válvula Vo

ΔP_D = Diferencia de presiones a través de la válvula Vo, que se calcula como:

$$\Delta P_D = P_{HZ} - P_{HDT} + \rho_W \cdot H_{ZT} \cdot N_Z$$

donde:

$P_{HZ} = P_{HBH}$ pues se supone nula la pérdida de carga en el conducto que une el balance header con el compartimento de zonas.

H_{ZT} : Altura del compartimento de zonas

ρ_W : Densidad del agua

N_Z : Nivel relativo de agua en el compartimento

$$N_Z = \frac{V_{WZ}}{V_{ZT}}$$

donde:

V_{ZT} = Volúmen total del compartimento

$V_{WZ} = \frac{M_{WZ}}{\rho_W}$ es el volúmen de agua en el compartimento.

$V_{HZ} = V_{ZT} - V_{WZ}$: es el volúmen de helio en el compartimento.

El volúmen de helio total en el balance-header y las 14 zonas es:

$$V_{HBHZ} = 14 \cdot V_{HZ} + V_{BH}$$

El balance de masas de helio en el conjunto balance-header más los 14 compartimentos se calcula como:

$$\dot{M}_{H(BHZ)} = 14 \cdot W_{HBHB} + W_{H(BHZ)i} - W_{H(BHZ)o}$$

donde:

$\dot{M}_{H(BHZ)}$: rate de variación de la masa de helio en el B.H. más las 14 zonas.

W_{HBUB} : caudal de burbujeo de helio. (dato de entrada)

$W_{H(BHZ)i}$: caudal de entrada de helio al conjunto B.H. más las 14 zonas.

$W_{H(BHZ)o}$: caudal de salida de helio al conjunto B.H. más las 14. zonas.

La presión común en el balance-header y los compartimentos de zonas es:

$$P_{H(BH)} = P_{H(Z)} = \frac{R.T. \cdot M_{H(BHZ)}}{V_{H(BHZ)}}$$

donde:

$M_{H(BHZ)}$: masa de helio en el balance-header y las 14. zonas.

R : Constante de los gases para la unidad de masa. (calculada en el apéndice 1)

T : Temperatura del helio en el B.H. y zonas líquidas. (dato de entrada)

Los caudales $W_{H(BHZ)i}$ y $W_{H(BHZ)o}$ son alimentados y extraídos del B.H. a través de las válvulas V_F y V_B , accionadas por el regulador de presión. Sus valores se calculan mediante las expresiones que se dan en el punto 4.

2.- DELAY-TANK (D.T.)

La ecuación de balance de masa de agua en el D.T. se plantea como:

$$\dot{M}_{W(DT)} = W_{W(DT)i} - W_{W(DT)o}$$

donde:

$\dot{M}_{W(DT)}$: rate de cambio de la masa de agua en el D.T.

$W_{W(DT)i}$: caudal de entrada de agua al D.T., que se calcula como:

$$W_{W(DT)i} = 14 \cdot W_{W(Z)i}$$

pués los conductos de salida de los 14 compartimentos se unen en un solo conducto antes de ingresar al D.T.

$W_{W(DT)o}$ = caudal de salida de agua al D.T. que es igual a:

$$W_{W(DT)o} = 14 \times W_{W(Z)i}$$

ya que la salida del D.T. después de pasar por la bomba se ramifica en 14 conductos, en cada uno de los cuales está insertada la válvula de control de zonas de la zona correspondiente.

La presión de helio en el delay tank es por lo tanto:

$$P_{H(DT)} = \frac{R \cdot T \cdot M_{H(DT)}}{V_{H(DT)}}$$

donde:

$V_{H(DT)}$: volúmen de helio en el delay tank

R y T : tienen el significado ya mencionado

$M_{H(DT)}$: es la masa de helio en el D.T.

$\dot{M}_{H(DT)}$ surge del balance de masa de helio en el D.T.:

La ecuación de balance es:

$$\dot{M}_{H(DT)} = W_{H(DT)}^i - W_{H(DT)}^o$$

siendo:

$\dot{M}_{H(DT)}$: rate de cambio de la masa de helio en el D.T.

$W_{H(DT)}^i$: caudal de entrada de helio al D.T.

$W_{H(DT)}^o$: caudal de salida de helio al D.T.

El caudal de entrada de helio al delay tank es provisto por la valvula V_B , la cuál abre y es actuada por el regulador de presión cuando la diferencia ΔP_D es mayor que cero. En esas condiciones puede escribirse:

$$W_{H(DT)}^i = W_{H(BH)}^o = W_{HB}$$

donde:

W_{HB} ; es el caudal a través de la válvula V_B (BLEED VALVE), y es función de la apertura relativa x_B determinada por la función de control del regulador, como se verá luego.

El caudal de salida de helio, al D.T. tiene un valor distinto de cero solamente cuando el compresor funciona. En tal caso se cumple:

$$W_{H(DT)}^o = W_{HC}$$

donde:

W_{HC} : es el caudal de helio a través del compresor, y es función

de este y de sus condiciones de operación (dato de entrada al programa).

El compresor comienza a funcionar cuando la presión en el D.T. excede 35 psi y deja de actuar cuando dicha presión desciende por debajo de 14.5 psi.

Es decir que la secuencia de operación del compresor es:

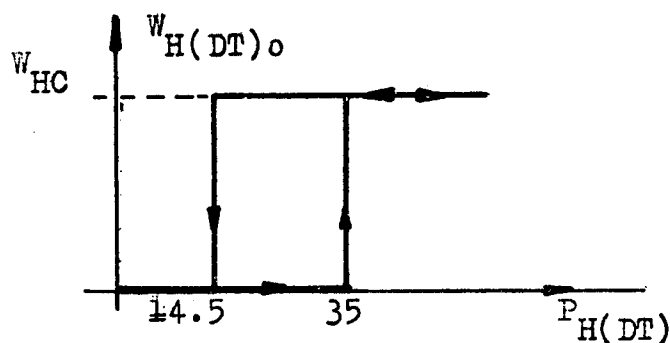
$$W_{H(DT)}^o = 0. \quad \text{para } P_{H(DT)} < 35 \text{ psi}$$

$$W_{H(DT)}^o = W_{HC} \quad " \quad P_{H(DT)} > 35 \text{ psi}$$

$$W_{H(DT)}^o = W_{HC} \quad " \quad 14.5 < P_{H(DT)} \leq 35 \text{ psi}$$

$$W_{H(DT)}^o = 0. \quad " \quad P_{H(DT)} \leq 14.5$$

El siguiente diagrama ilustra la secuencia de conexión y desconexión del compresor:



El volumen de helio $V_{H(DT)}$ se calcula como :

$$V_{H(DT)} = V_{(DT)T} - V_{W(DT)}$$

siendo:

$V_{(DT)T}$: el volumen total del D.T.

$V_{W(DT)}$: el volumen de agua en el D.T.

Este volúmen se calcula en función de la masa de agua en el D.T.:

$$V_{W(DT)} = \frac{M_{W(DT)}}{\rho_{W(DT)}}$$

El nivel relativo de agua en el D.T. es:

$$N_{DT} = \frac{V_{W(DT)}}{V_{(DT)T}}$$

3.- STORAGE-TANK.(S.T.)

El rate de variación de la masa de helio es:

$$\dot{M}_{H(ST)} = W_{H(ST)i} - W_{H(ST)o}$$

donde:

$W_{H(ST)i}$: caudal de entrada de helio al S.T. que es igual a $W_{H(DT)o}$

$W_{H(ST)o}$; caudal de salida de helio del S.T.

Estos caudales se calculan como:

$$W_{H(ST)i} = W_{H(DT)o}$$

$$W_{H(ST)o} = 14. W_{HBUB} + W_{HF}$$

donde:

W_{HF} : es el caudal de helio a través de la válvula de control V_F actuada por el regulador de presión.

La válvula V_F es abierta en función del signo de la diferencia ΔP_D .

Cuando $\Delta P_D < 0$, la válvula V_F es operada, manteniéndose V_B cerrada.

La presión del helio en el storage tank se obtiene como:

$$P_{H(ST)} = \frac{R.T.MH(ST)}{VH(ST)}$$

4.- REGULADOR DE PRESION.-

La regulación de la diferencia de presiones entre el balance header y el delay tank es realizada mediante las válvulas V_F y V_B .

Ambas válvulas determinan los caudales de entrada y salida al balance header de acuerdo al siguiente esquema:

Cuando $\Delta P_D < 0$:

$$W_{H(BHZ)}^i = 14. W_{HBUB} + W_{HF}$$

$$W_{H(BHZ)}^o = W_{HB} = 0$$

Cuando $\Delta P_D > 0$:

$$W_{HF} = 0$$

$$W_{H(BHZ)}^i = 14. W_{HBUB}$$

$$W_{H(BHZ)}^o = W_{HB}$$

Los caudales W_{HF} y W_{HB} son función de la apertura relativa x de las válvulas, determinada por el regulador de presión, y las diferencias de presiones.

Existen dos expresiones diferentes para el cálculo del caudal de acuerdo a si el flujo es ó no crítico.

La condición de flujo crítico, se produce en el caso del helio, para una relación de presiones que satisface la siguiente desigualdad:

$$\frac{P_2}{P_1} \leq 0.488$$



siendo P_1 la presión corriente arriba y P_2 la presión corriente abajo del estrangulamiento.

En el caso de flujo no crítico las expresiones del caudal son las siguientes:

$$y \quad W_{HB} = 963. \text{ CV. } \sqrt{\frac{P_{H(BHZ)} - P_{H(DT)}}{G.T.}}$$

$$W_{HF} = 963. \text{ CV. } \sqrt{\frac{P_{H(ST)} - P_{H(BHZ)}}{G.T.}}$$

Para flujo crítico las expresiones se transforman en:

$$W_{HB} = 963. \text{ F. CV. } P_{H(BHZ)} \sqrt{\frac{1}{G.T.}}$$

$$W_{HF} = 963. F. CV. P_{H(ST)} \sqrt{\frac{1}{G.T}}$$

siendo:

G: la gravedad específica del helio respecto al aire.

T: La temperatura en grados Rankine (OR)

F: Factor de corrección para flujo crítico

F: 0.87

CV: es la constante de la válvula, función de la apertura relativa del vástago, x .

La expresión utilizada para evaluar CV depende de la magnitud de x , según el informe CENI 64:

Para:

$$\begin{array}{ll} x < 0.05 & CV = 0.6 \left(\frac{x}{0.15} - 1 \right) \\ 0.05 < x < 0.15 & CV = 0.05 \times \left(\frac{1}{2} \right) \\ x < 0.15 & CV = 0.05 \times 2 \left(\frac{x}{0.15} - 1 \right) \\ x = 0.15 & CV = 0.05 \end{array}$$

El valor de la apertura relativa de las válvulas es determinada por el regulador de presión, quién tiene una función de control P-I:

Las ecuaciones que definen la operación del regulador son las siguientes:

$$E_P = P_{REF} - \Delta P_D$$

donde:

$$\Delta P_D = P_{H(BHZ)} - P_{H(DT)} + N_Z \cdot H_{ZT} \cdot \rho_w$$

siendo:

H_{ZT} : altura del compartimento de zonas

N_Z : nivel relativo de zonas- (definido en 1)

El último término de esta expresión resulta de la modificación introducida al modelo inicial.

En el sistema original:

$$\Delta P_D = P_{H(BHZ)} - P_{H(DT)}$$

sin tener en cuenta el peso de la columna líquida de la zona.

El algoritmo de control del regulador es:

$$E_R = K_p \left[(1 - X_F) \cdot E_P + X_F \frac{1}{\tau_I} \cdot \int E_P dt \right]$$

donde:

K_p : la ganancia del regulador

τ_I : la constante de tiempo de integración

X_F : la proporción de control integral

La apertura relativa x es el valor absoluto de E_R :

$$x = |E_R|$$

CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos en la simulación del modelo representado esquemáticamente en la figura 1, muestran que con los valores de los parámetros indicados a continuación.

$$\begin{aligned} RK1 &= 0.1 \\ EP_{MAX} &= 2000 \text{ psf} \\ XF &= 0.5 \end{aligned}$$

el comportamiento del nivel de zonas líquidas, cuando la válvula VI de control es excitada por una función escalón, no sigue una variación lineal, como sería en el caso en que el caudal de salida se mantuviera en el 50% de WW_{MAX} , como lo muestra la figura 1-B.

La razón de ello es que durante el transiente de presiones el caudal que es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presiones entre el balance header y el delay tank, experimenta un undershoot antes de alcanzar nuevamente el valor estacionario (fig.1 C).

El valor final del nivel es por lo tanto, no sólo función de la apertura de la válvula de control VI, sino que depende de la magnitud del transiente del caudal de salida WW_{ZO} , sucediendo todo como si se produjera un drift en el valor de polarización de dicha válvula.

Con los siguientes valores de los parámetros del regulador de presión:

$$\begin{aligned} RK1 &= 7,5 \text{ rpm} \\ EP_{MAX} &= 1000 \text{ psf} \\ XF &= 0.1 \end{aligned}$$

y tomando como variable controlada la diferencia de presiones entre la parte inferior del compartimento de zonas y el delay tank, en vez de hacerlo entre el balance header y el delay tank, se observó una gran aproximación con el comportamiento ideal.

Con esta modificación, el Δp a través de la válvula Vo se independiza del peso de la columna líquida del compartimento de zonas

La respuesta del sistema aún escalón en la posición de la válvula de control V_I , para diferentes magnitudes y signos de dicho escalón y distintas condiciones iniciales en el delay tank (PDT0), se muestran en las figuras 2 a 7.

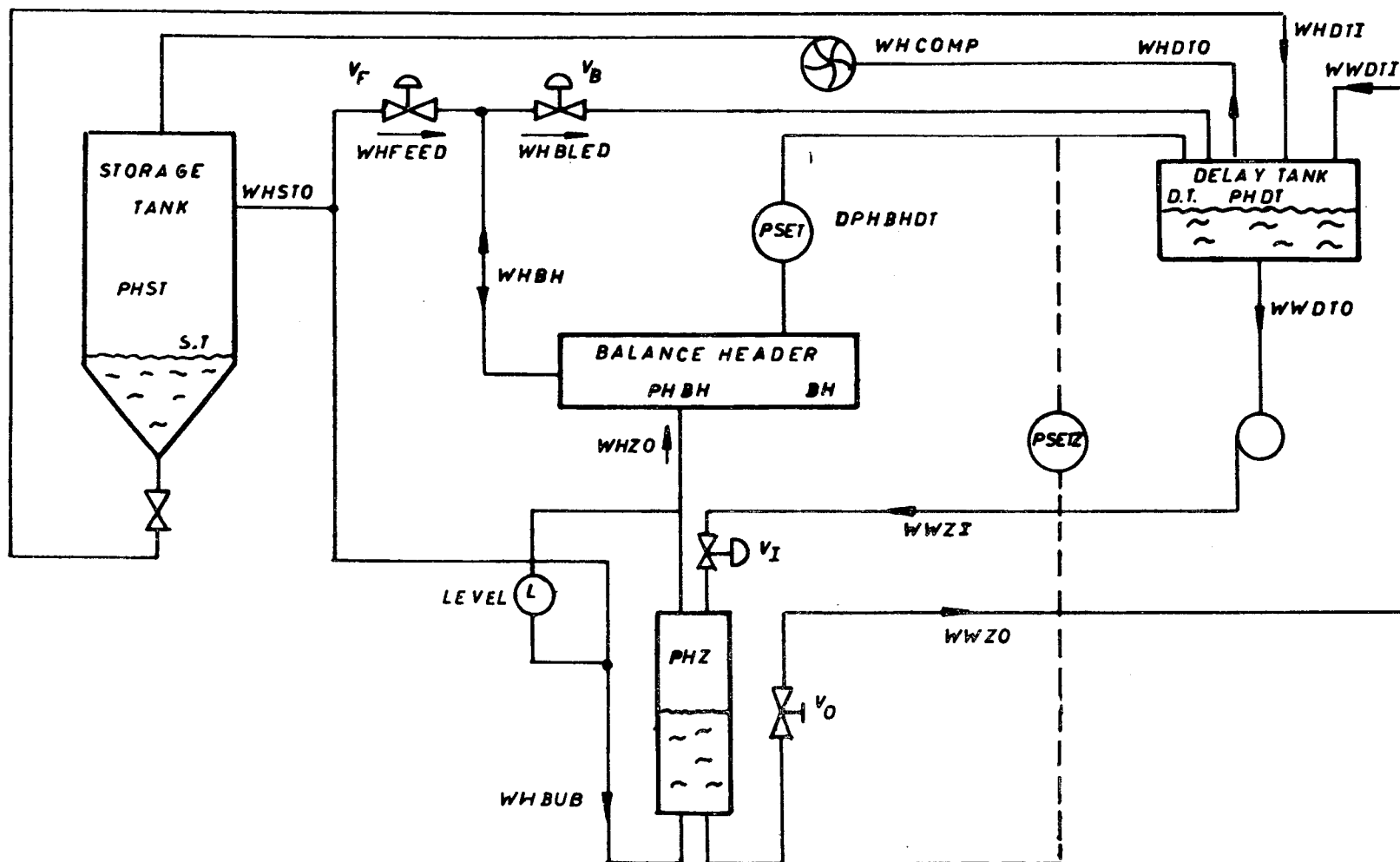
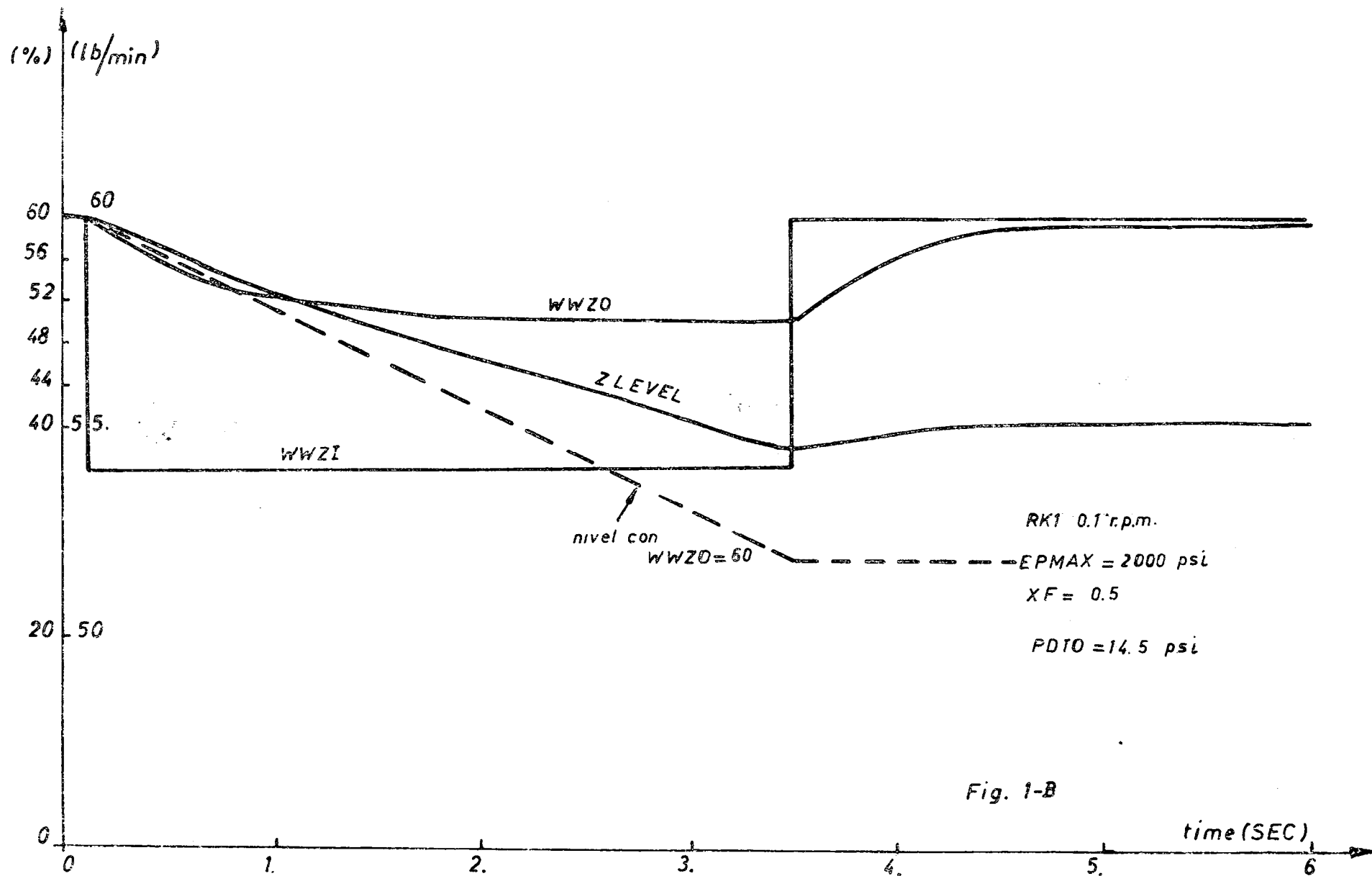


Fig. 1 A



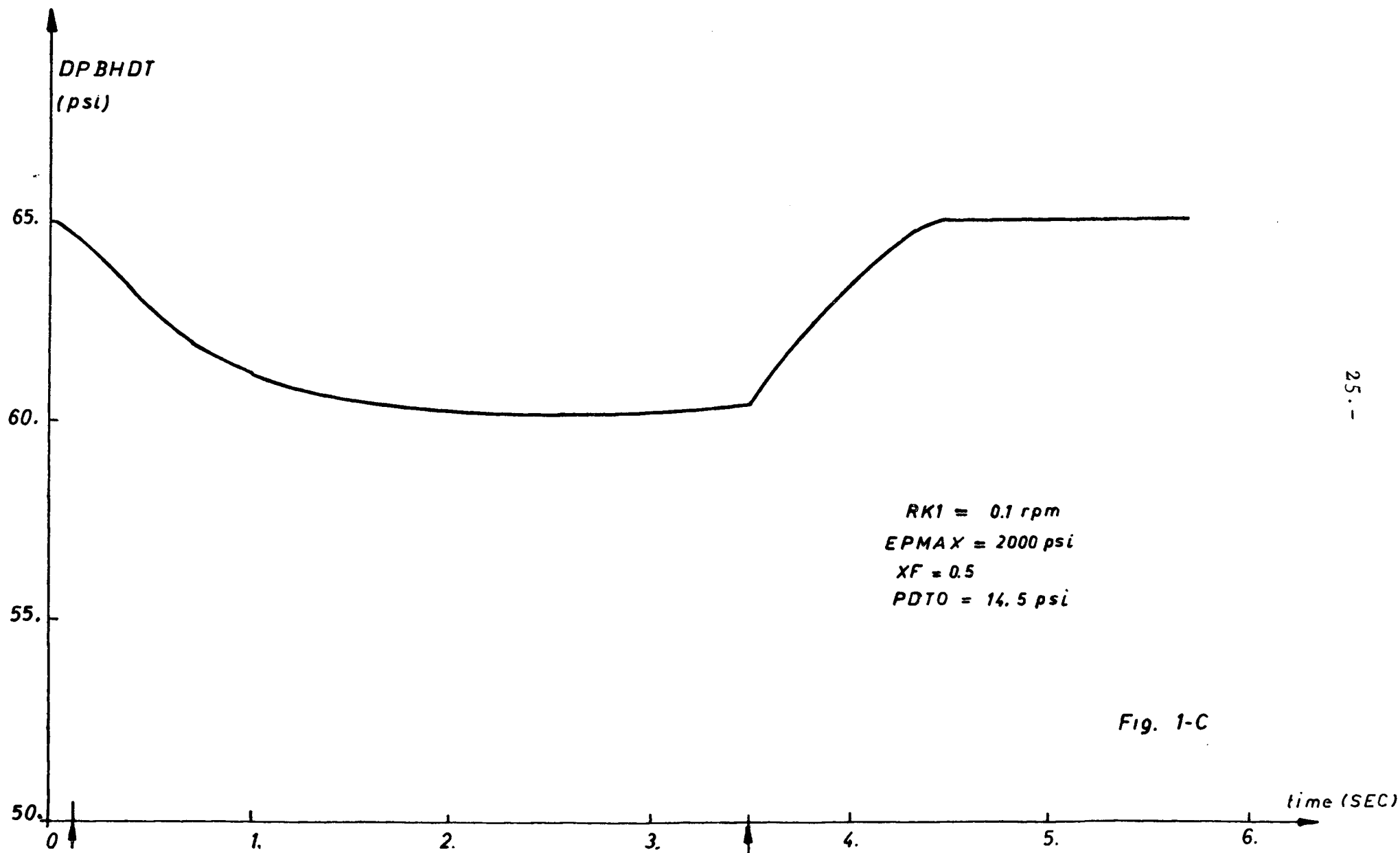


Fig. 1-C

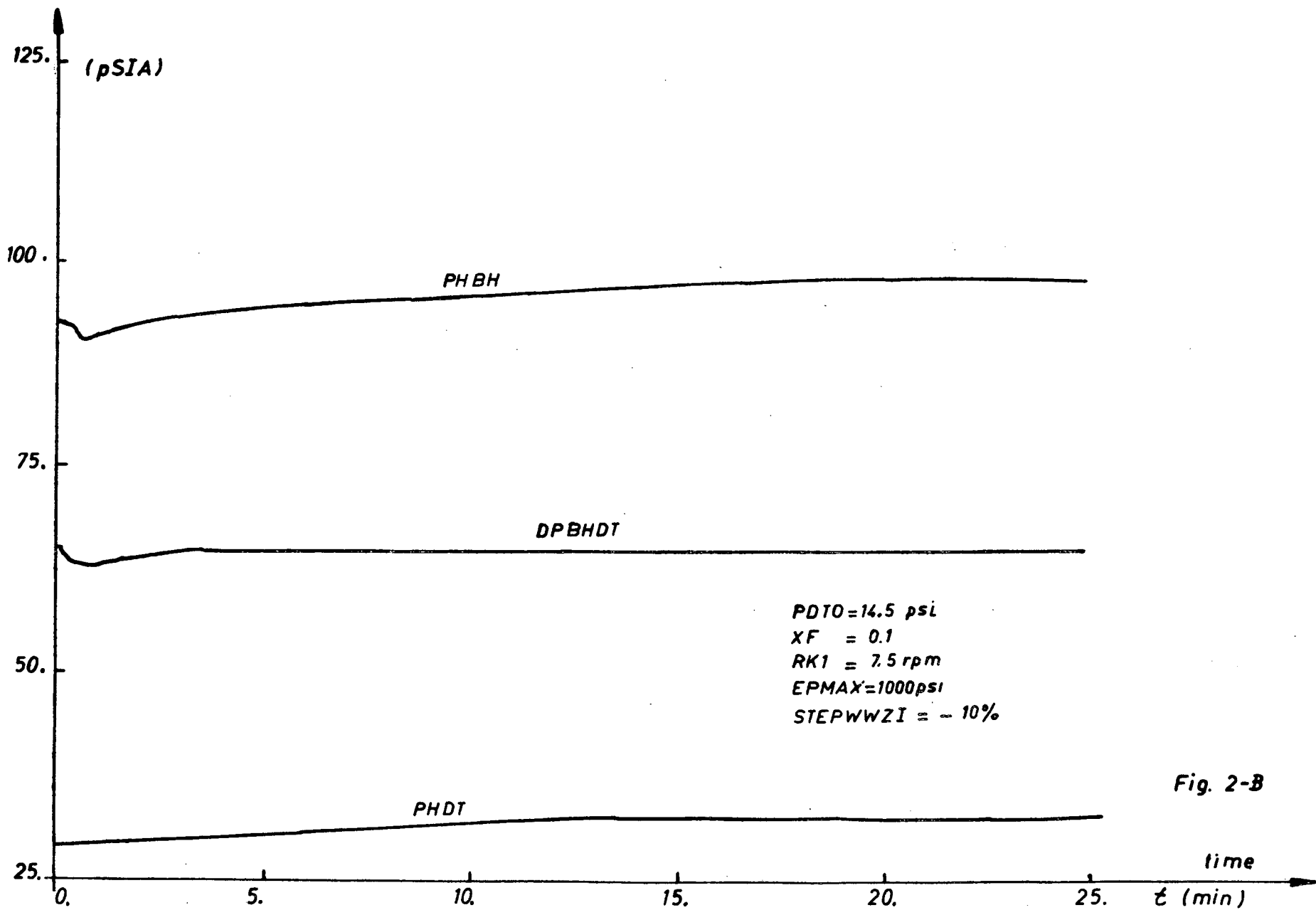


Fig. 2-B

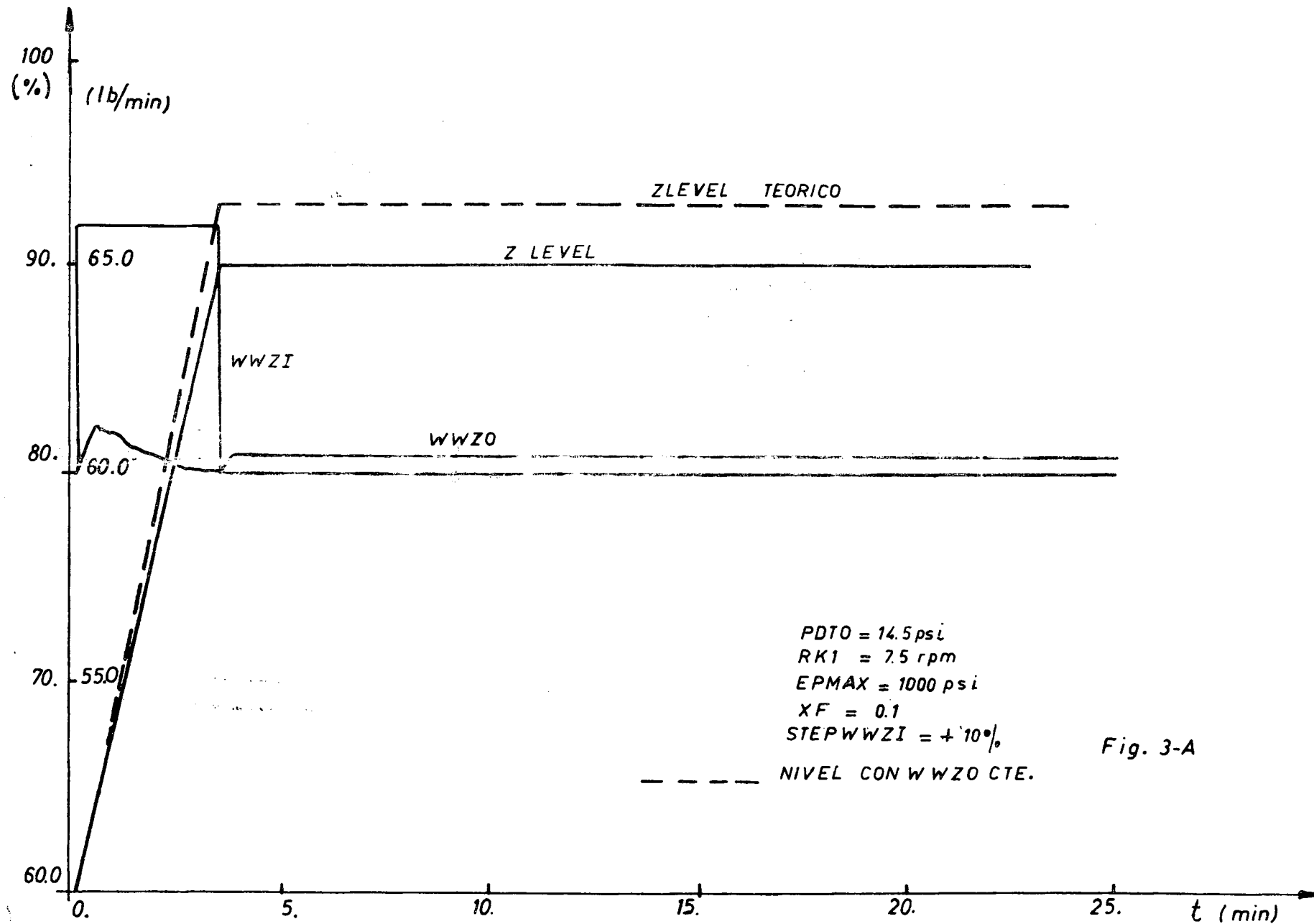


Fig. 3-A

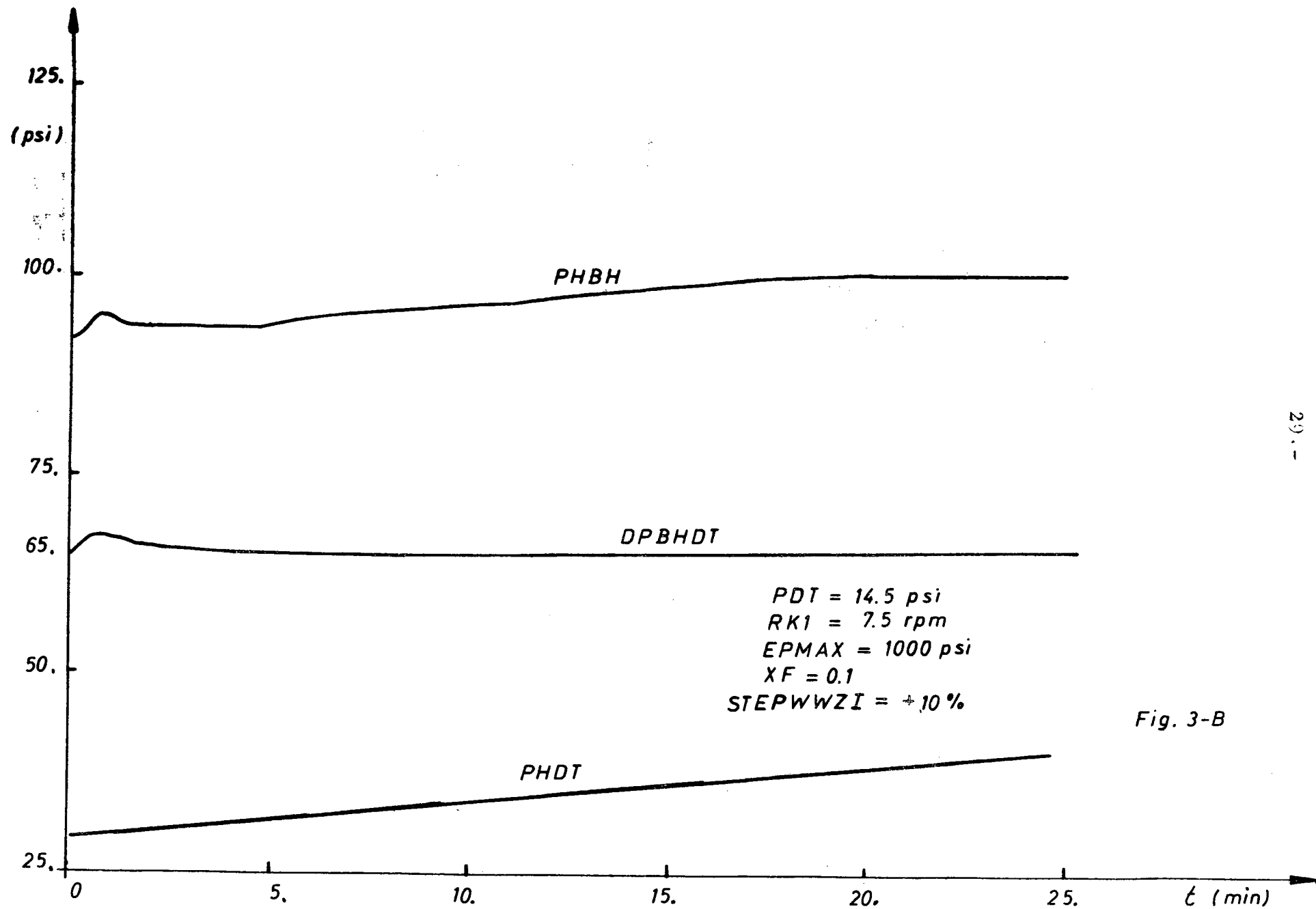


Fig. 3-B

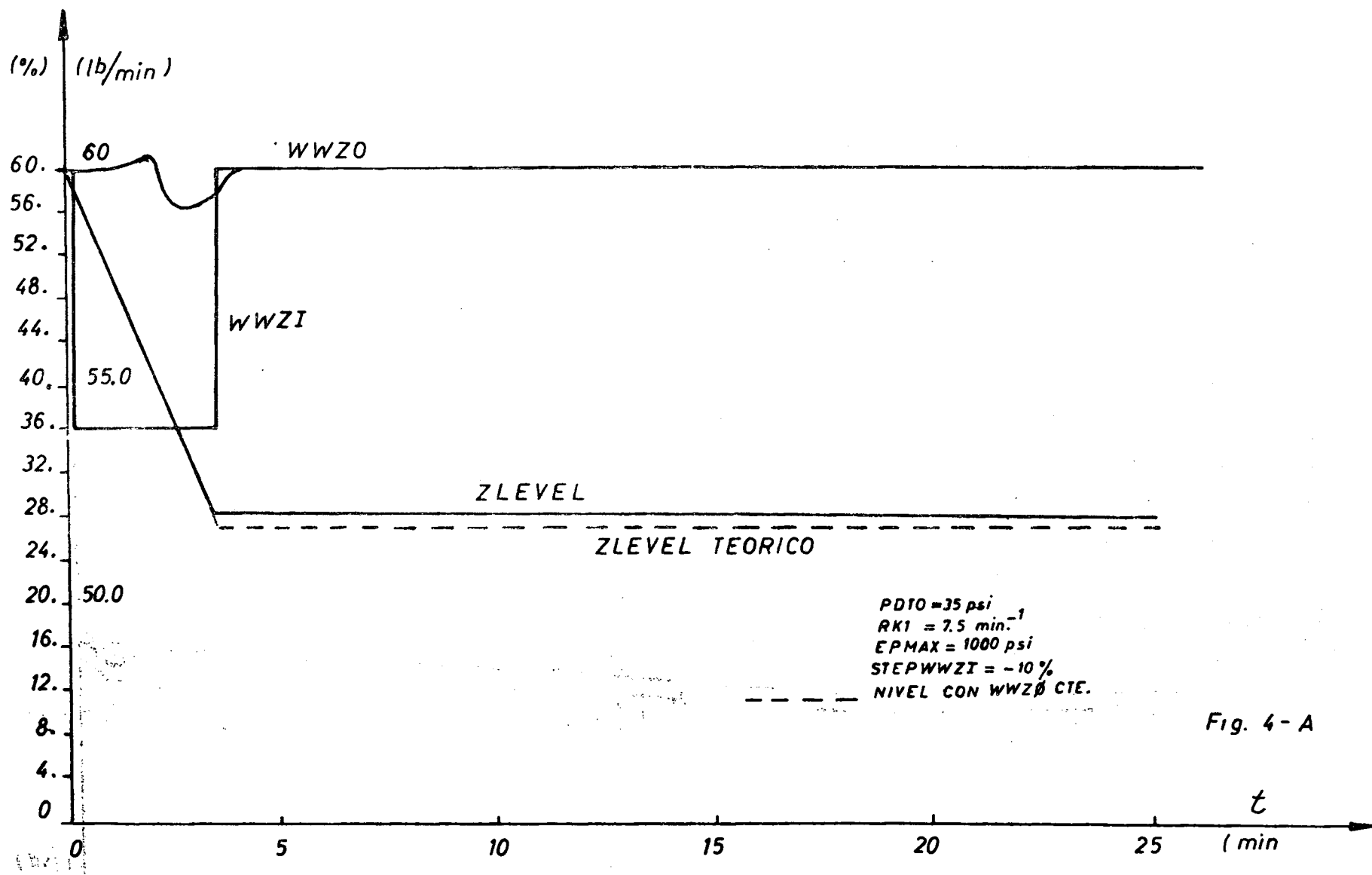


Fig. 4 - A

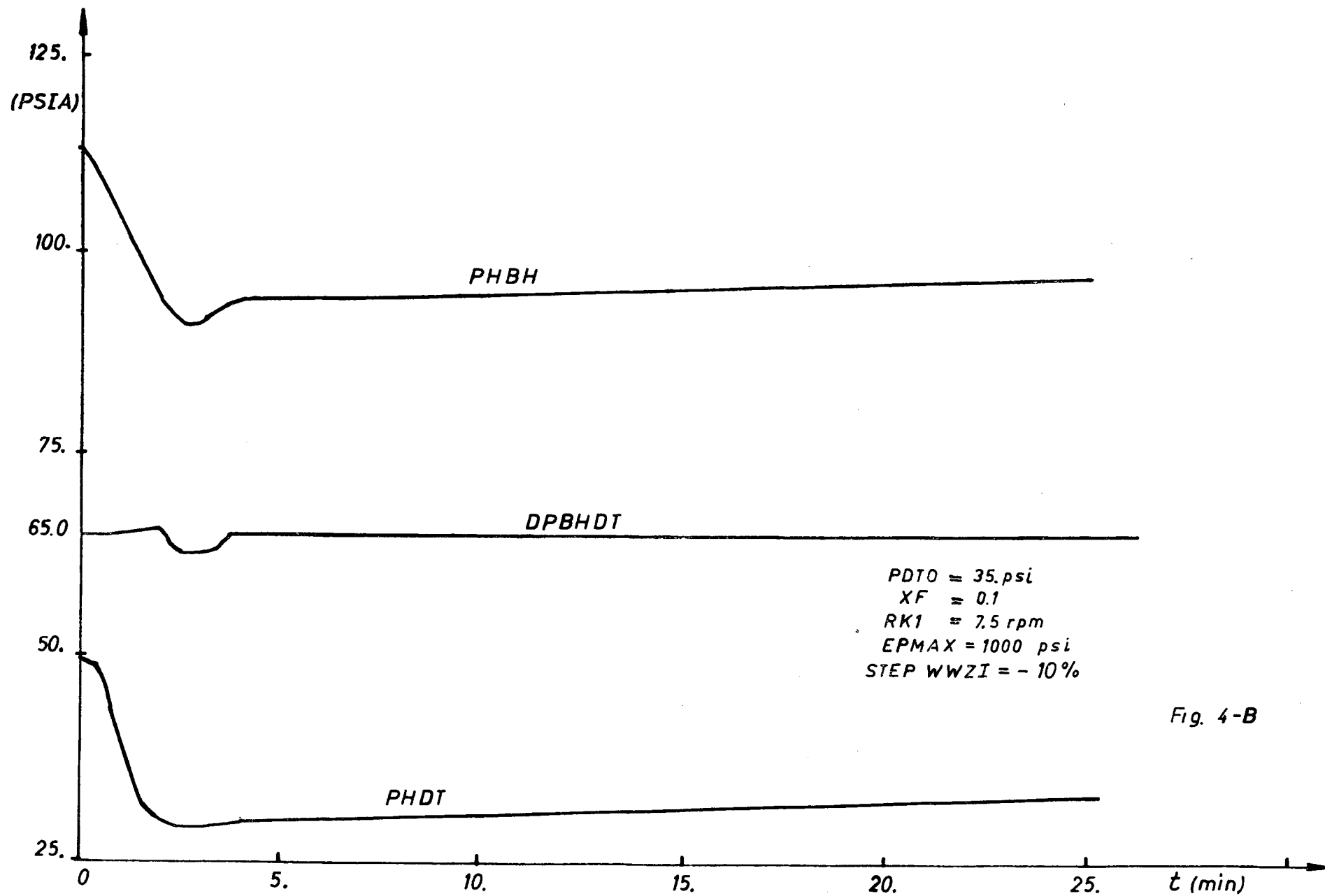


Fig. 4-B

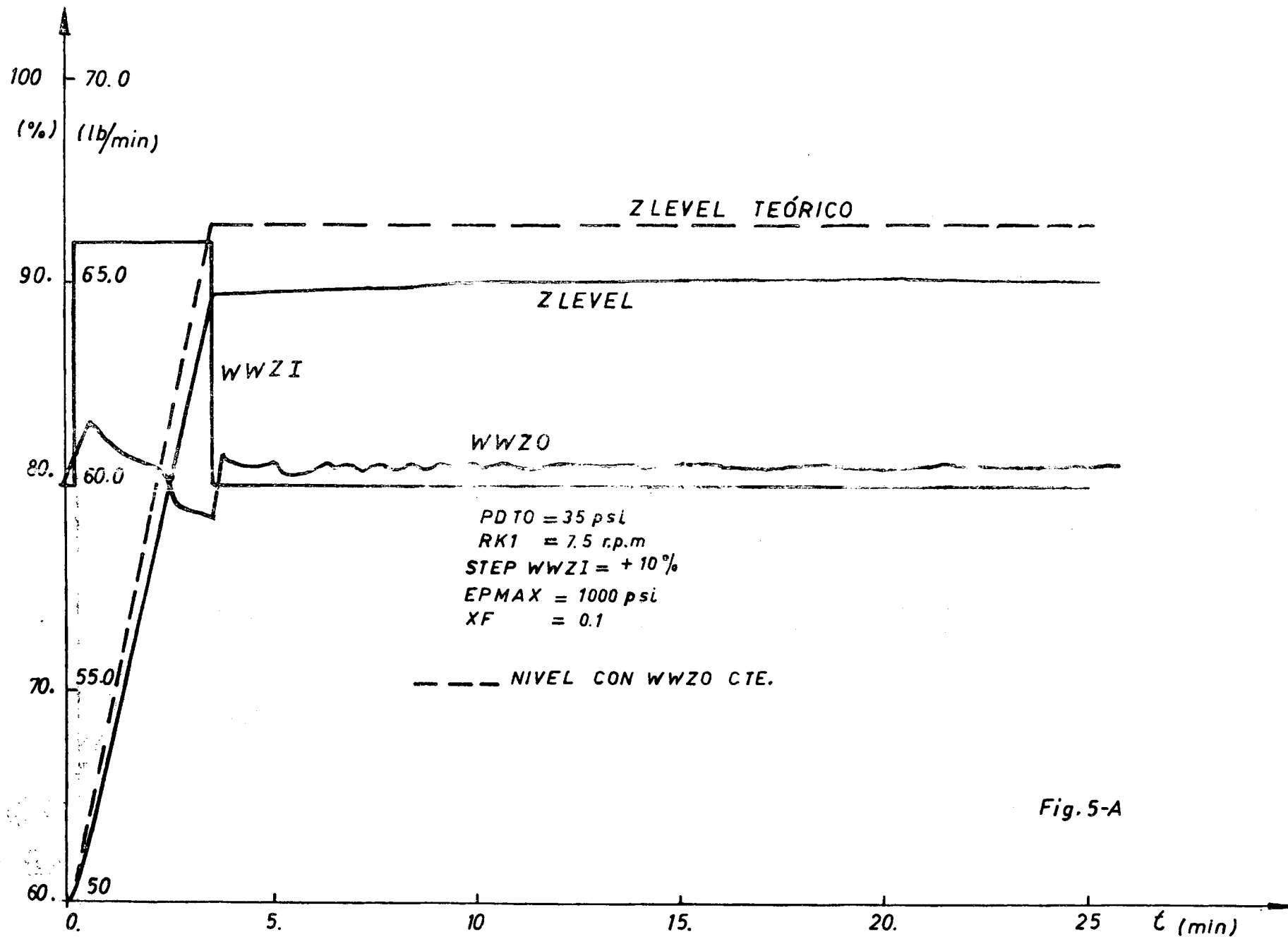
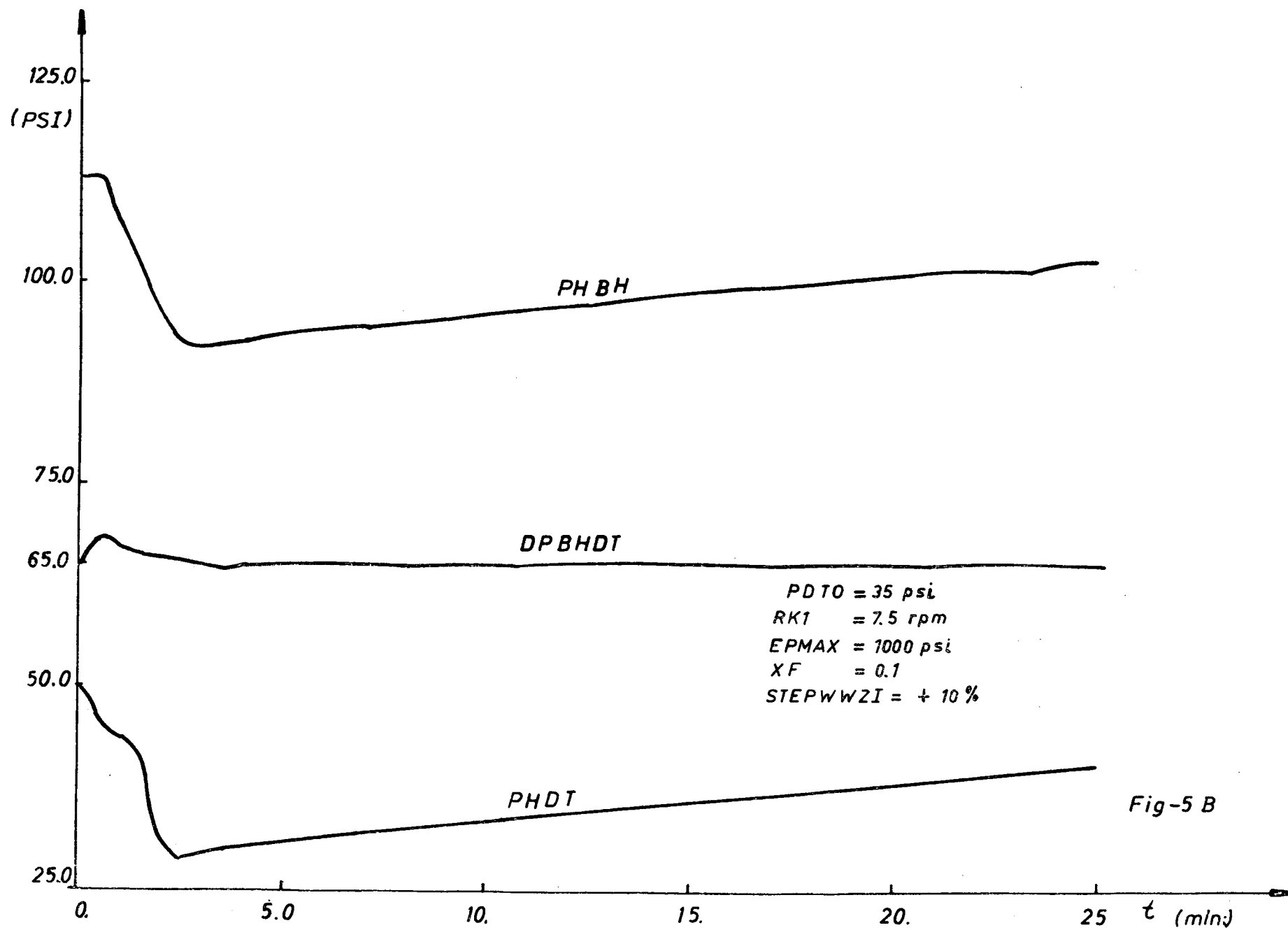


Fig. 5-A



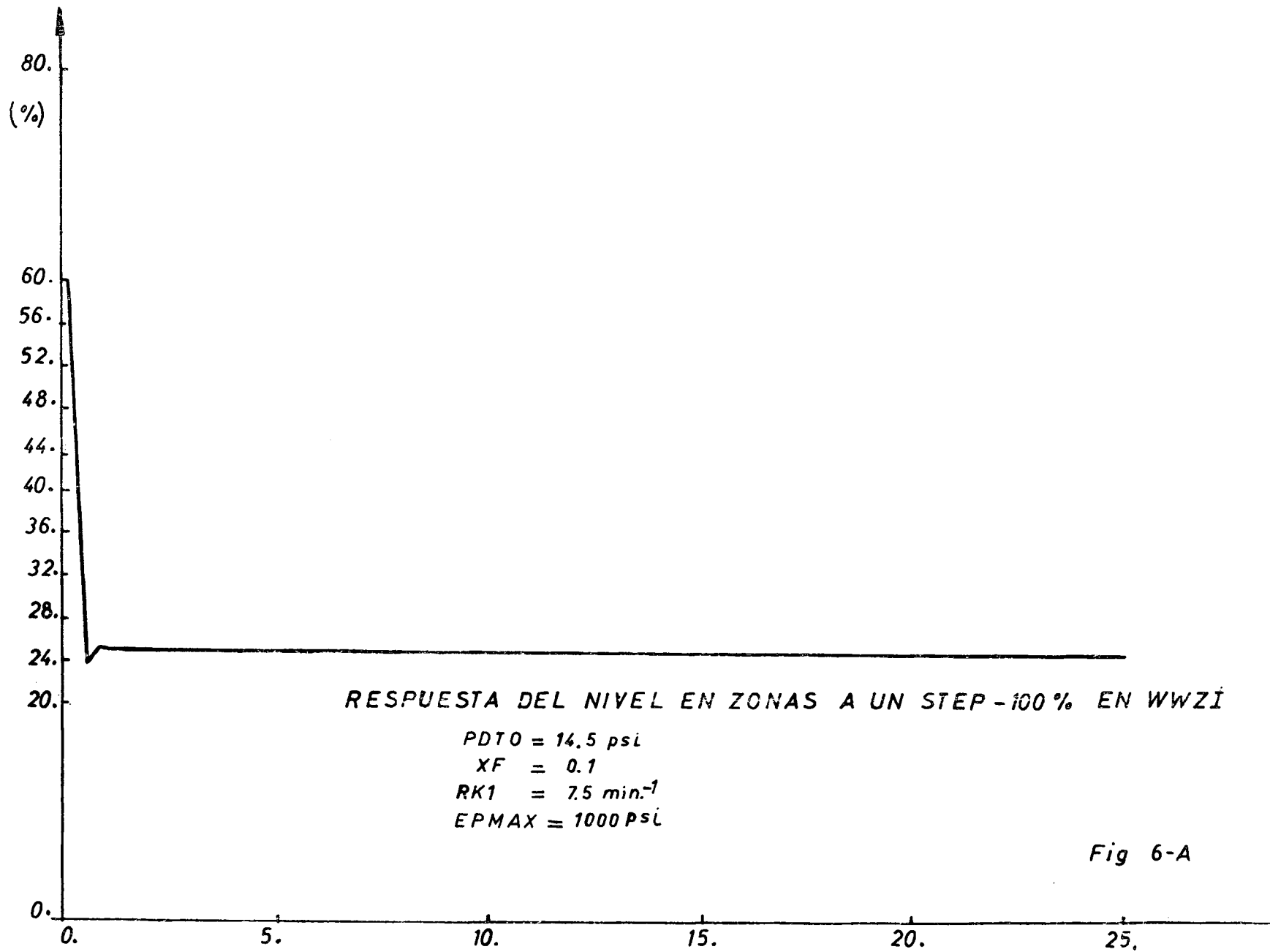


Fig 6-A

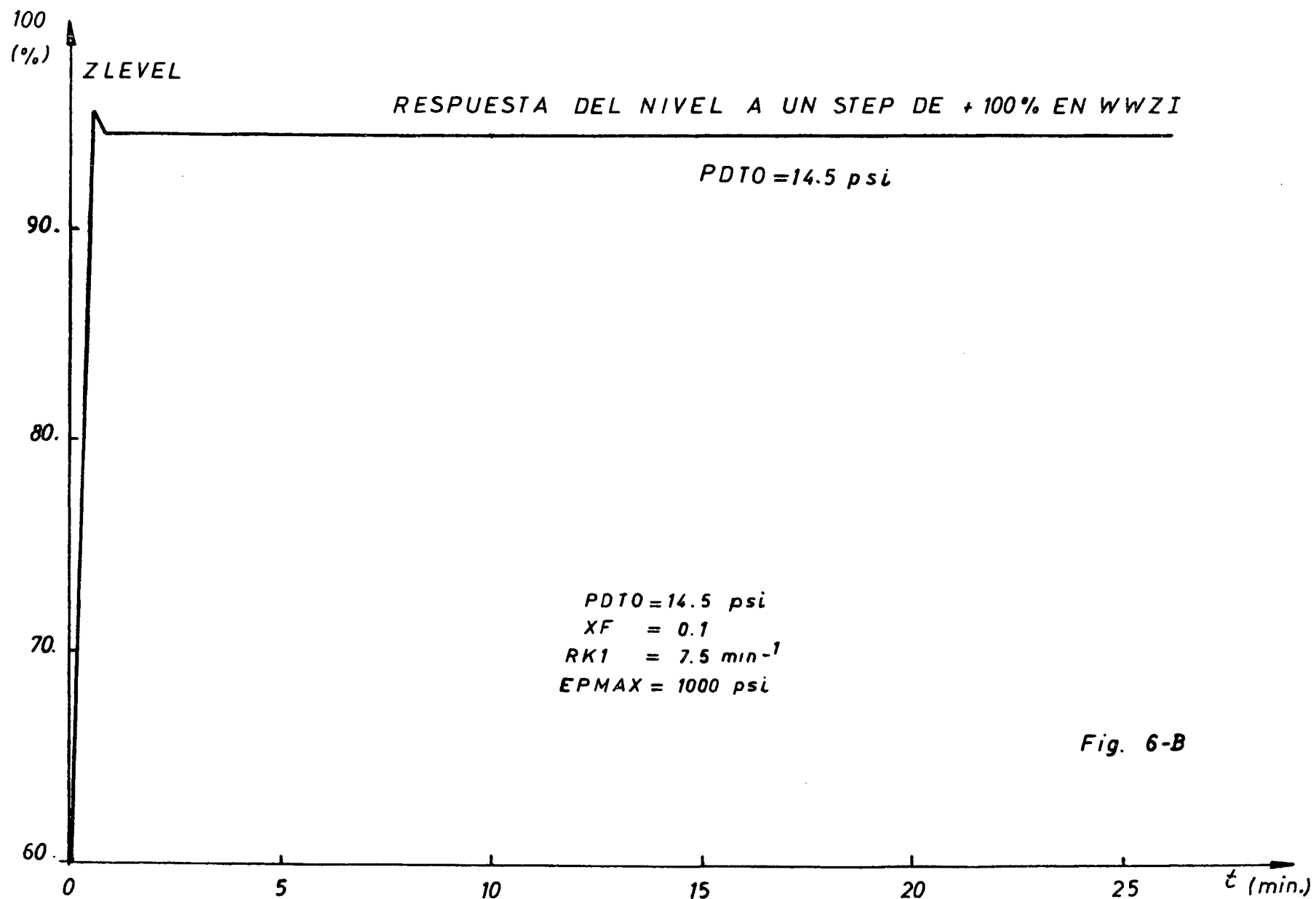


Fig. 6-B

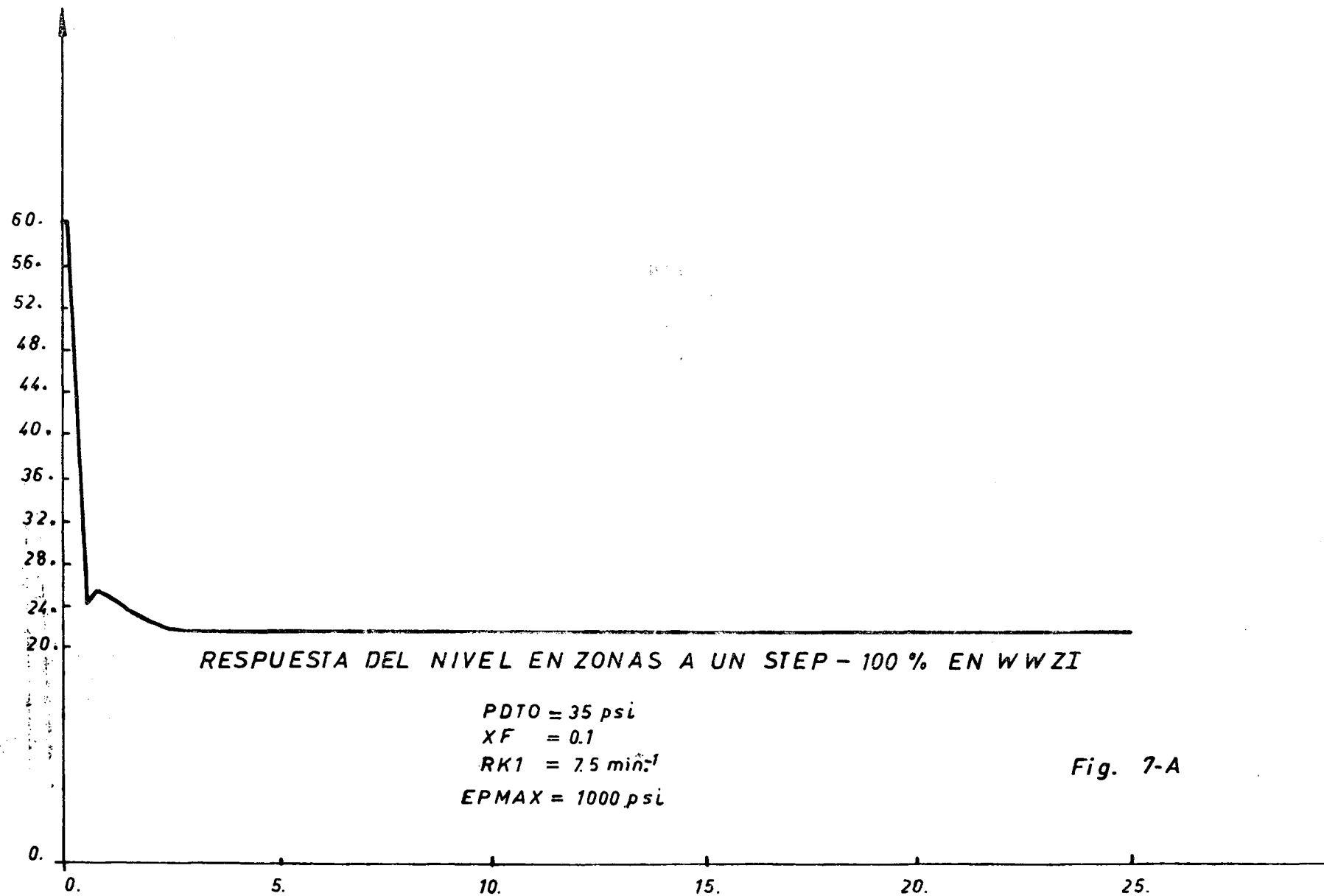


Fig. 7-A

