

"ANÁLISIS DE TRANSITORIOS DE LA CENTRAL ATUCHA I"

J. Castaño - M. Schivo

\* \* \* \* \*

Se presenta en esta exposición un modelo de simulación para análisis de transitorios de centrales tipo PHWR, que permite el estudio del comportamiento dinámico de plantas como la CNA I y II, donde los circuitos primarios y moderador están vinculados entre sí, en diferentes situaciones operativas normales y accidentales que no involucren pérdida de refrigerante.

Este código denominado DYNETZ, fue desarrollado inicialmente en KWU, e implementado en la computadora IBM/370 de ENACE en su versión para la CNA 2, incorporándose en el mismo un sistema de RESTART, que posibilita el cálculo de transitorios largos, por partición del tiempo total de procesamiento en corridas parciales que inviertan tiempos razonables de CPU.

Dicho código fue posteriormente adaptado en ENACE para cálculo de transitorios en la CNA I, con el desarrollo de subrutinas específicas de los sistemas de control de la planta y la implementación del sistema de refrigeración intermedia, así como la posibilidad de calcular roturas en tubos de los generadores de vapor, tubería de vapor vivo y del sistema de agua de alimentación a los generadores de vapor.

Este programa realiza la simulación de los sistemas primario, moderador, de agua de alimentación (incluyendo sistema de condensado primario) a los generadores de vapor, de refrigeración intermedia y de suministro de vapor vivo a la turbina, incluyendo los grandes componentes, tales como los generadores de vapor, el recipiente de presión del reactor que incluye el tanque del moderador, plenum superior e inferior, downcomer, canales y núcleo del reactor, y los intercambiadores del moderador y de agua de río, así como también los lazos de regulación principales de la planta como muestra la fig. 1a.

El tratamiento del reactor se realiza mediante una cinética puntual con 6 grupos de neutrones retardados, y dos grupos de productos de fisión, utilizándose un método cuasi-estático de resolución de dichas ecuaciones cinéticas.

El modelo termohidráulico de la planta es un modelo homogéneo unidimensional, es decir sólo tiene en cuenta las distribuciones axiales de las variables de estado -de temperaturas, presiones, etc., salvo en el núcleo del reactor donde se considera una distribución radial a dos zonas.

Dicho modelo utiliza una nodalización como la representada en la fig. 1a que consta de una red de tuberías, siendo subdivididas éstas en una o más zonas axiales a los fines del planteo de las ecuaciones de balance de masa y energía.

Los primarios y secundarios de los intercambiadores, así como los canales de refrigeración del reactor y el tanque del moderador se representan por simples tuberías con zonas axiales.

Las bombas (de refrigeración principal, moderador y alimentación principal del secundario) se representan mediante un único volumen de control, representándose en el caso de las bombas del primario y moderador las relaciones caudal, altura de impulsión, velocidad y torque mediante las curvas características en los cuatro cuadrantes, y para las restantes bombas por medio de las curvas en el primer cuadrante.

Las velocidades de rotación de las bombas se obtienen de la resolución de las ecuaciones dinámicas del movimiento, mediante los balances de torques -hidráulicos, de fricción, electromagnéticos- actuantes sobre los rodetes.

El modelo trata separadamente los cuatro circuitos del moderador y los dos circuitos del primario, así como los 2 ramales de alimentación a los generadores de vapor en forma independiente, lo cual posibilita el análisis de transitorios no simétricos, p. ej. la salida de servicio de una de las bombas de refrigeración principal.

Con el fin de reducir los tiempos de procesamiento (CPU), sin perder al mismo tiempo exactitud en los resultados, se utilizan métodos de resolución numéricos e iterativos acoplados entre sí.

Dado que en el análisis de transitorios de operación producidos por perturbaciones sin pérdida de refrigerante, las ondas de presión en las tuberías son casi inexistentes, el cálculo de la distribución de caudales en la red es cuasi-estacionario, obteniéndose resultados aceptables.

El DYNETZ calcula las distribuciones de caudales y temperaturas en las tuberías y de presiones en los nodos de una red compleja de tuberías e intercambiadores de calor, mediante la resolución simultánea de las ecuaciones de balance de masa y entalpía en los nodos, y de energía y presión en las tuberías. A los fines de dicha resolución, se divide cada tubería en N zonas axiales, o volúmenes de control. El método de nodalización empleado es totalmente general y aplicable a cualquier red de configuración arbitraria una vez identificadas adecuadamente las ramas y los nodos de ésta. Esta configuración, así como el número de volúmenes en que se subdivide cada rama son definidos en los datos de entrada, pudiendo asociarse a cada rama o tubería no más de una bomba y/o válvula.

Este programa ha sido validado con protocolos de salida de operación de Atucha 1, mostrando una aceptable concordancia entre sus resultados y las variables reales de planta manteniéndose el error alrededor del 10% de la variación de las mismas.

A título de ejemplo se ha simulado un transitorio consistente en un corte rápido del reactor, y comparado sus resultados con los valores de los protocolos reales de planta correspondientes a los incidentes ocurridos los días 5.12.77 y 5.2.82.

Para este cálculo se han supuesto las siguientes hipótesis:

En  $t = 0$  se produce Corte rápido del reactor.

Esta perturbación desencadena las siguientes acciones:

- cierre rápido de la turbina (TUSA)
- apertura del bypass del moderador: (RL11/12S07 y RL 11/12S08)
- cierre de los intercambiadores del moderador (RL 11/12S02 cierran hasta quedar abiertos 60%) una vez que el bypass esté abierto.
- bloqueo de las válvulas de regulación de nivel de plena potencia de los generadores de vapor (RL11/12 S30 y RL11/12 S05) pasándose a la regulación de baja potencia (RL11/12 S06).
- se considera que al cabo de 100" (1.66 min) de iniciado el transitorio, abren las válvulas de regulación de presión (RA04 S002 y RA03 S003) en el tanque de agua de alimentación (RL11 B01), cerrándose a los 155" (2.58 min). Esta condición de contorno surge del "informe de incidentes y/o accidentes operativos" correspondiente al incidente ocurrido el 5.2.82 a las 13 horas.

En los gráficos 3-1 a 3-6 se comparan los resultados de la simulación con la evolución de las principales variables de planta, que sucedieron al corte rápido del reactor correspondiente a los incidentes de los días 5.12.77 y 5.12.82.

La fig. 3-1 muestra la evolución de las presiones en los generadores de vapor.

Una vez producido el corte del reactor, inmediatamente se produce el cierre rápido de turbina. La interrupción en la línea de vapor vivo provoca un aumento de la presión, en los primeros instantes, la cual es controlada mediante las válvulas de la estación de bypass de turbina.

Estas últimas cierran posteriormente al cabo de aproximadamente 1 min, estabilizándose la presión en aprox. 41 bar.

En el intervalo entre 100" y 150", se produce una caída marcada de la presión, consecuencia de la apertura de las válvulas de descarga de vapor vivo al tanque de agua de alimentación. Estas válvulas son comandadas por el sistema de regulación de presión en dicho tanque, que ordena su apertura cuando esta variable cae por debajo del valor de referencia. Esto ocurre luego del corte de turbina como consecuencia de: a) la inte-

- discrepancia en el cálculo de la caída de nivel en el presurizador (3.4), o sea la contracción por enfriamiento experimentada por el D20.
- incerteza en el estado inicial o de partida del presurizador.

El gráfico 3.6 muestra la evolución del nivel en los generadores de vapor. El aumento inicial de presión de vapor vivo provoca una disminución de fracción de vacío en el riser, lo cual a su vez produce una caída inicial del nivel en el "downcomer" (nivel medido). El valor mínimo del nivel es calculado en DYNETZ con bastante exactitud, aunque ligeramente desfasado en el tiempo.

De allí en más la evolución del nivel está fuertemente influenciada por la regulación del mismo. En la evolución de nivel observada en el protocolo del incidente del 5.12.77, se aprecia un fuerte aumento del mismo a partir de los 2 min. Este comportamiento puede atribuirse a la falta de estanqueidad de las válvulas en la línea de agua de alimentación de los G.V., que no fue tenida en cuenta en el cálculo.

Como conclusión podemos decir que el grado de exactitud en la simulación de estos transitorios es satisfactorio, manteniéndose el error en general menor que el  $\pm 10\%$  de la variación de las variables de estado de la planta, siendo el error en algunas variables un poco mayor debido a la incertidumbre de algunos datos, como ser parámetros de regulación, características hidráulicas de válvulas, etc.

Queda demostrado que el código DYNETZ es un código apto para la simulación de transitorios de la CNA 1 y por lo tanto de CNA 2 también en condiciones normales de operación y de emergencia que no involucran pérdida de refrigerante en el sistema primario-moderador.

rrupción de la extracción A3 de la turbina y la consiguiente disminución de la temperatura del agua de condensado que ingresa al tanque; b) ser mayor el caudal saliente (de alimentación a los G.V.) que el entrante al tanque (de condensado). Esto último se debe a que para mantener regulado el nivel de los G.V., se requiere un mayor inventario de agua a medida que la potencia transmitida disminuya ( $28 \text{ m}^3$  a 100% a  $43 \text{ m}^3$  a 0%).

Se observa que los valores de presión calculados resultan ligeramente superiores a los medidos en planta (protocolos de servicio).

Esta diferencia de cálculo provoca que el enfriamiento calculado del primario sea menor que el real en la planta. Esto puede apreciarse en el gráfico 3.2., donde se comparan las mediciones de temperatura del refrigerante y moderador.

En la fig. 3.3 se ilustra la evolución de las temperaturas calculadas por el DYNETZ, sin la demora introducida por el sensor (del orden de 40").

La fig. 3.4 representa la evolución del nivel de agua en el presurizador, el cual muestra una rápida caída. Esta última es consecuencia del enfriamiento de la masa total del sistema primario+moderador, lo cual produce la contracción volumétrica de la misma, que debe ser compensada con agua proveniente del presurizador. Las diferencias observadas entre los valores de protocolo y los calculados durante los primeros 5' pueden atribuirse a la ligera discrepancia en la evolución de las temperaturas. A partir de aquí las diferencias se atribuyen fundamentalmente al sistema de regulación de nivel, habiéndose supuesto en el cálculo que funciona una sola bomba TA de 22 tn/h y que la máxima capacidad de la estación reductora es de 44 tn/h.

El caudal saliente del presurizador, produce la expansión del colchón de vapor del mismo, lo cual provoca una caída en la presión del refrigerante como se muestra en la figura 3.5, hasta 107 bar.

Se observa que en el valor real de planta la caída es ligeramente mayor, pudiendo ser motivo de esta diferencia:

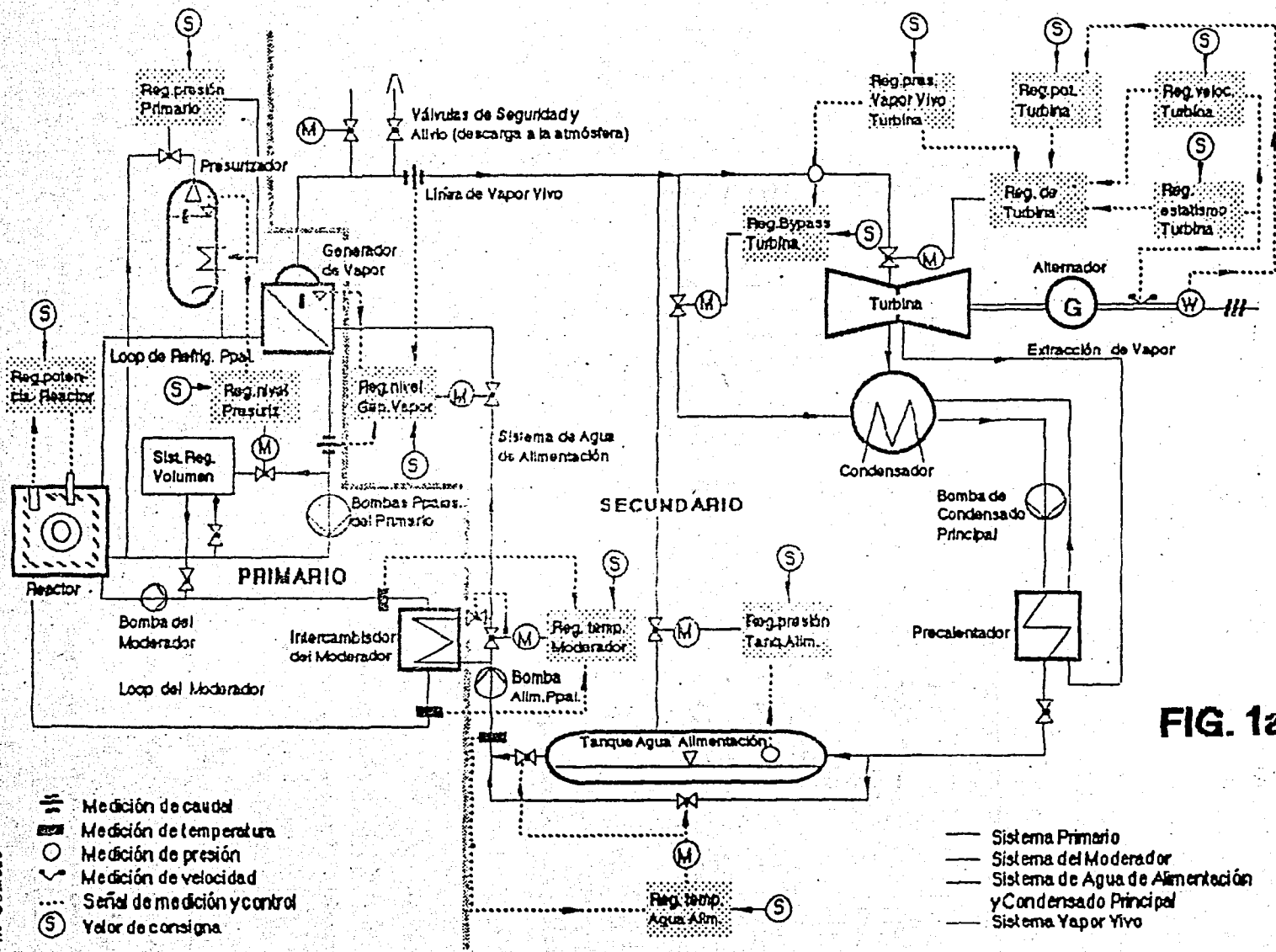
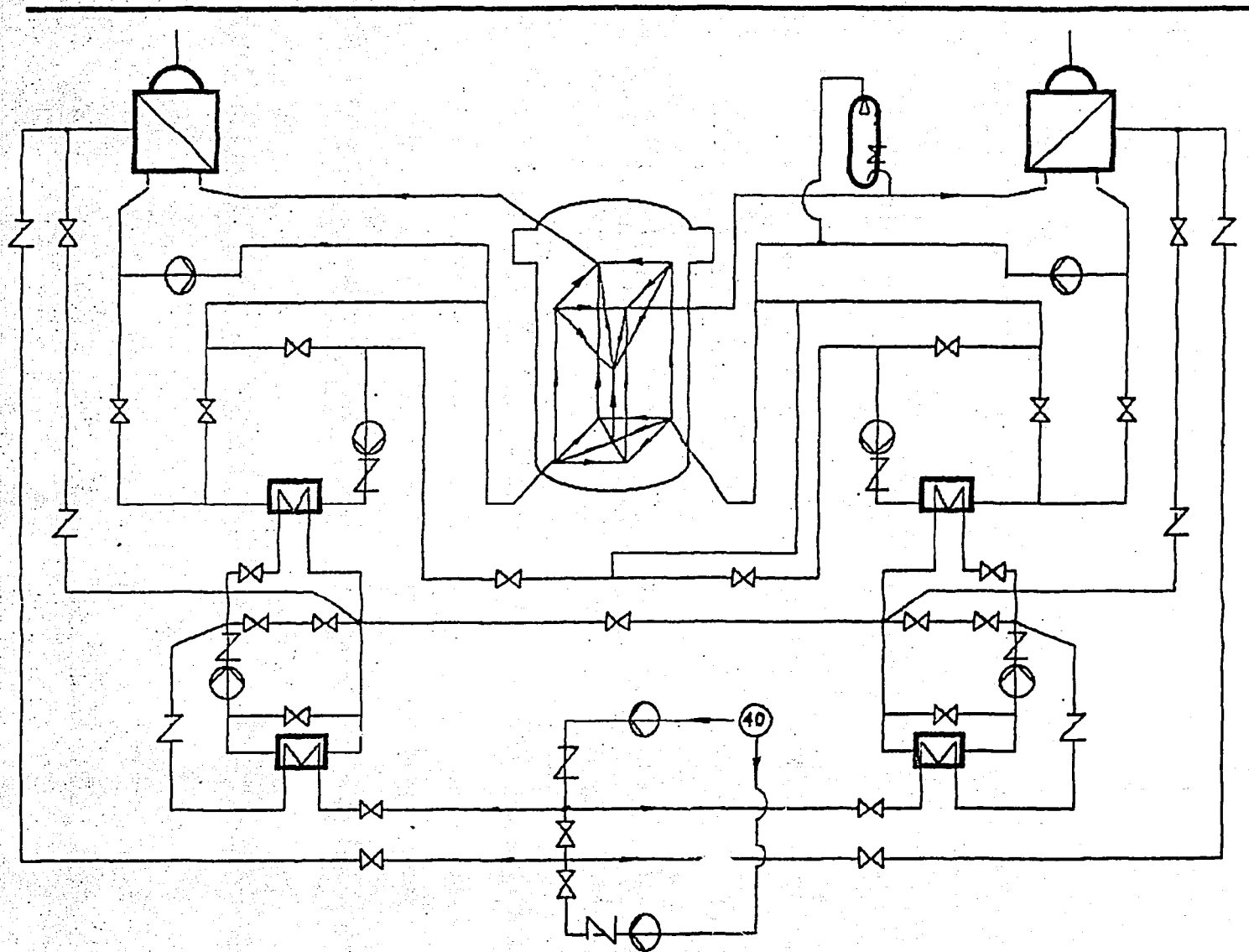


FIG. 1a

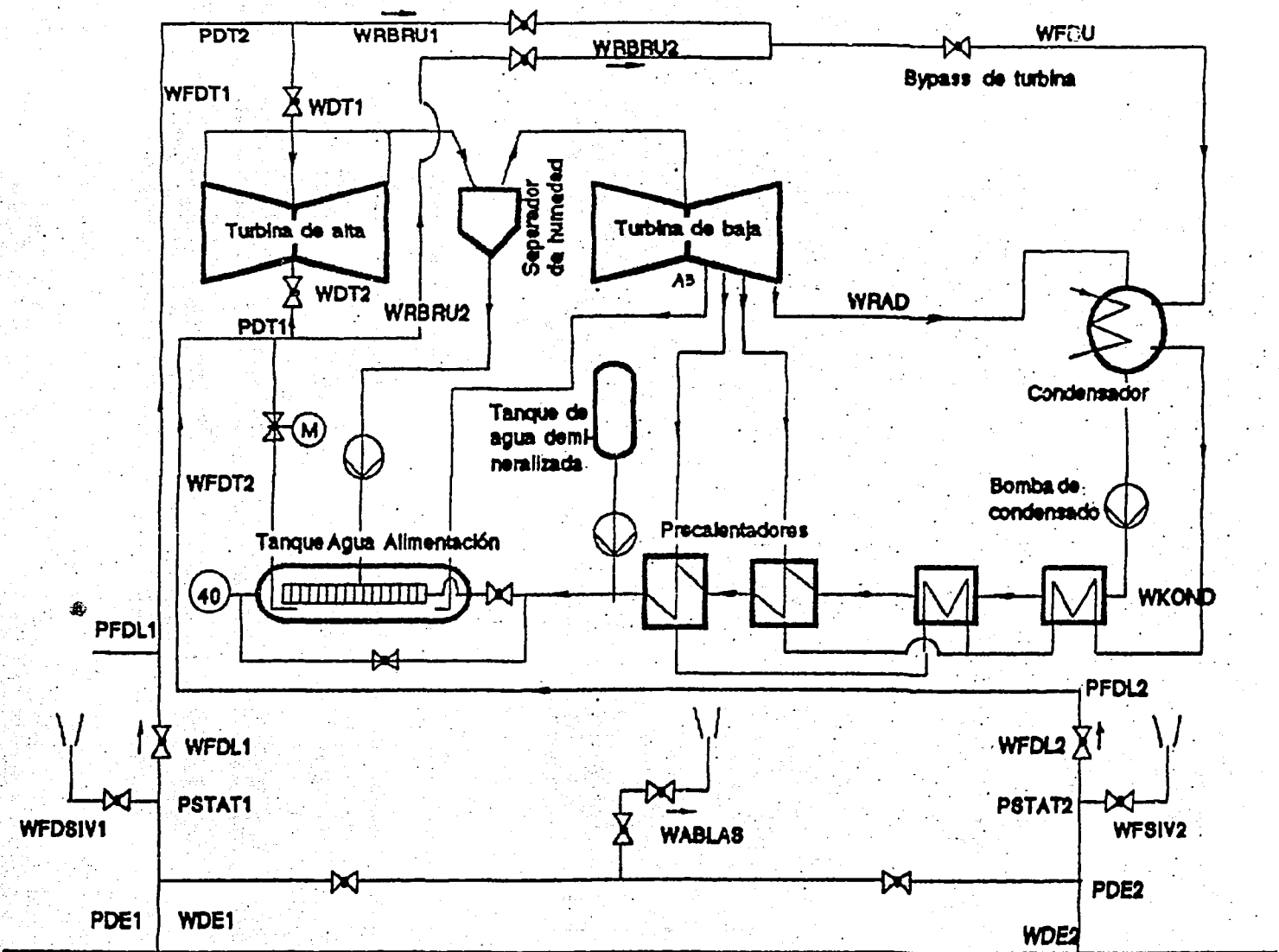
# ESQUEMA GENERAL DE LAS REGULACIONES

003/TN-aatr/  
esq.regu.



**FIGURA Nº 1 b - NODALIZACION USADA EN EL CODIGO DYNETZ PARA LA CNA I** 003/TN-211v33





**FIGURA Nº 1c - NODALIZACION USADA EN EL CODIGO DYNETZ PARA LA CNA I**

003/TN-aalnf34

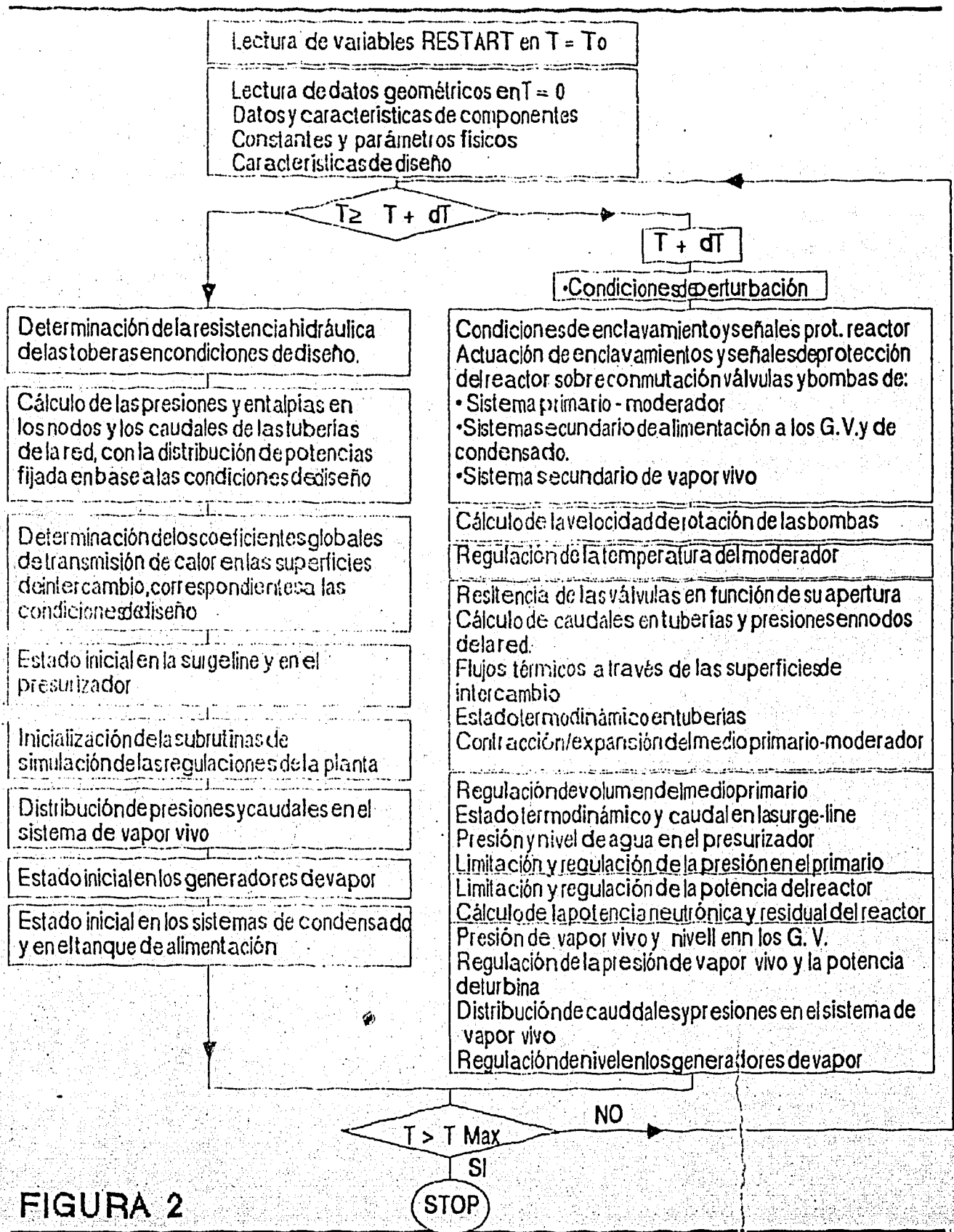


FIGURA 2

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180 °C

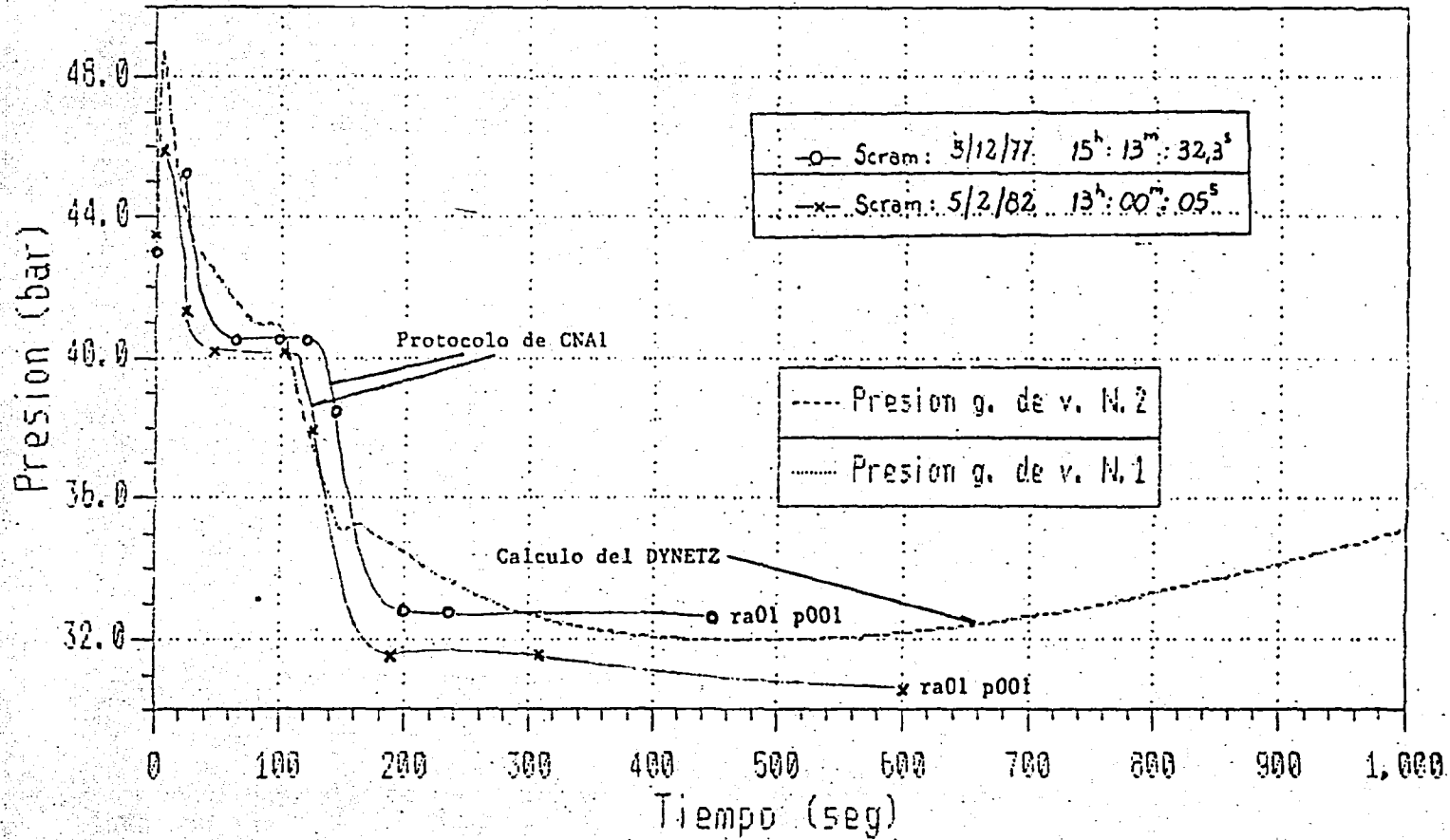


FIG. 3.1

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180 °C

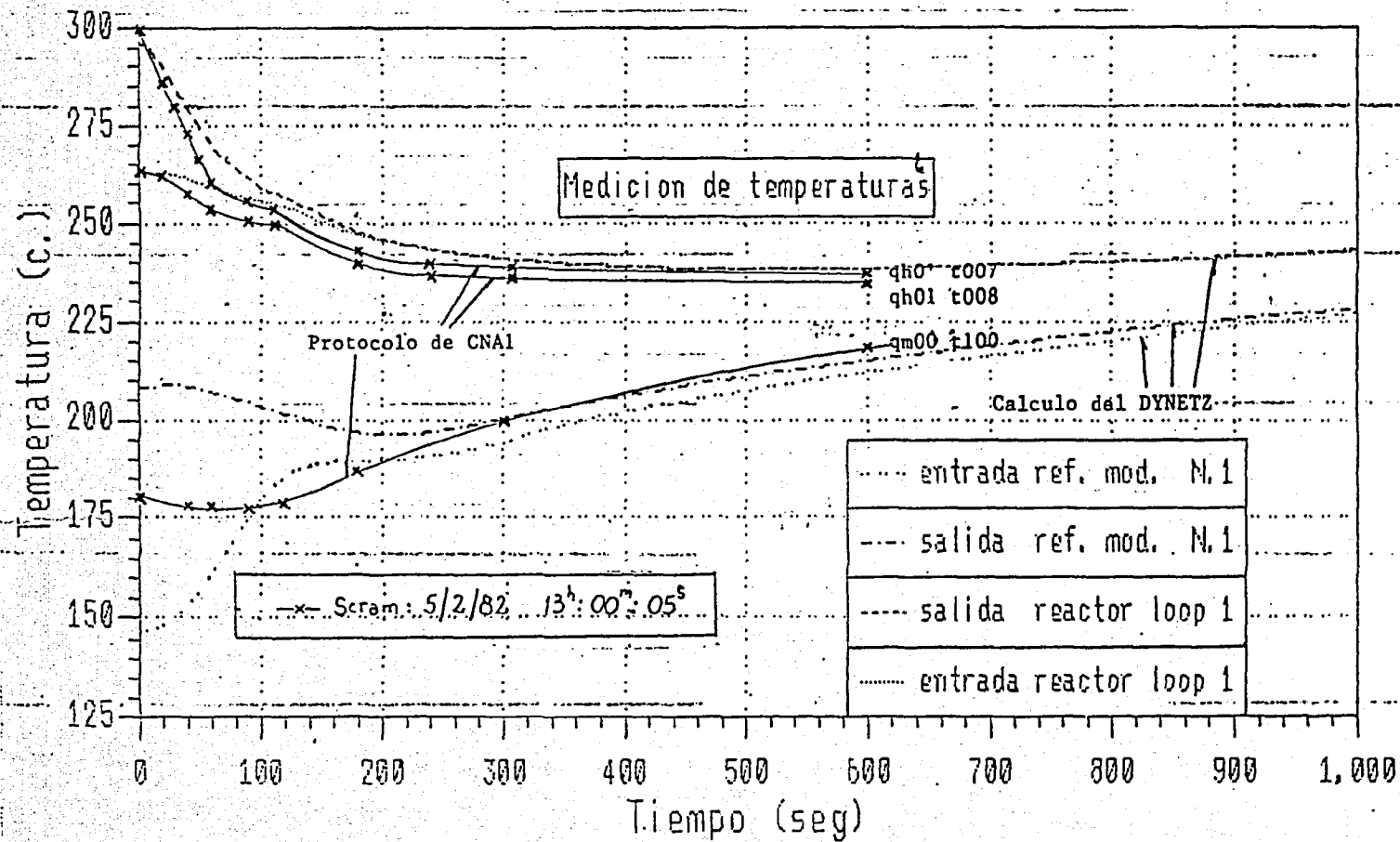


FIG. 3.2

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180°C

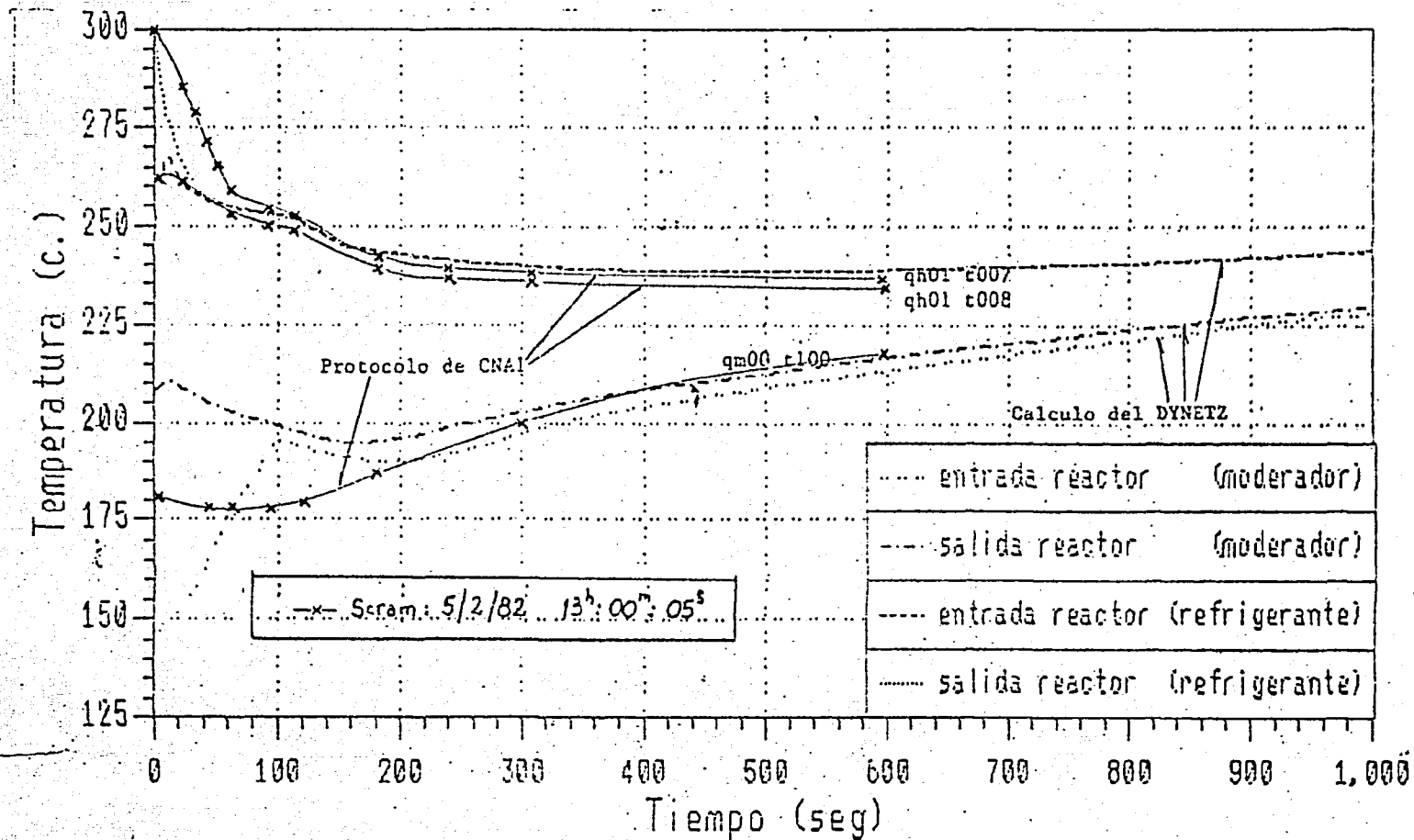


FIG. 3.3

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180 °C

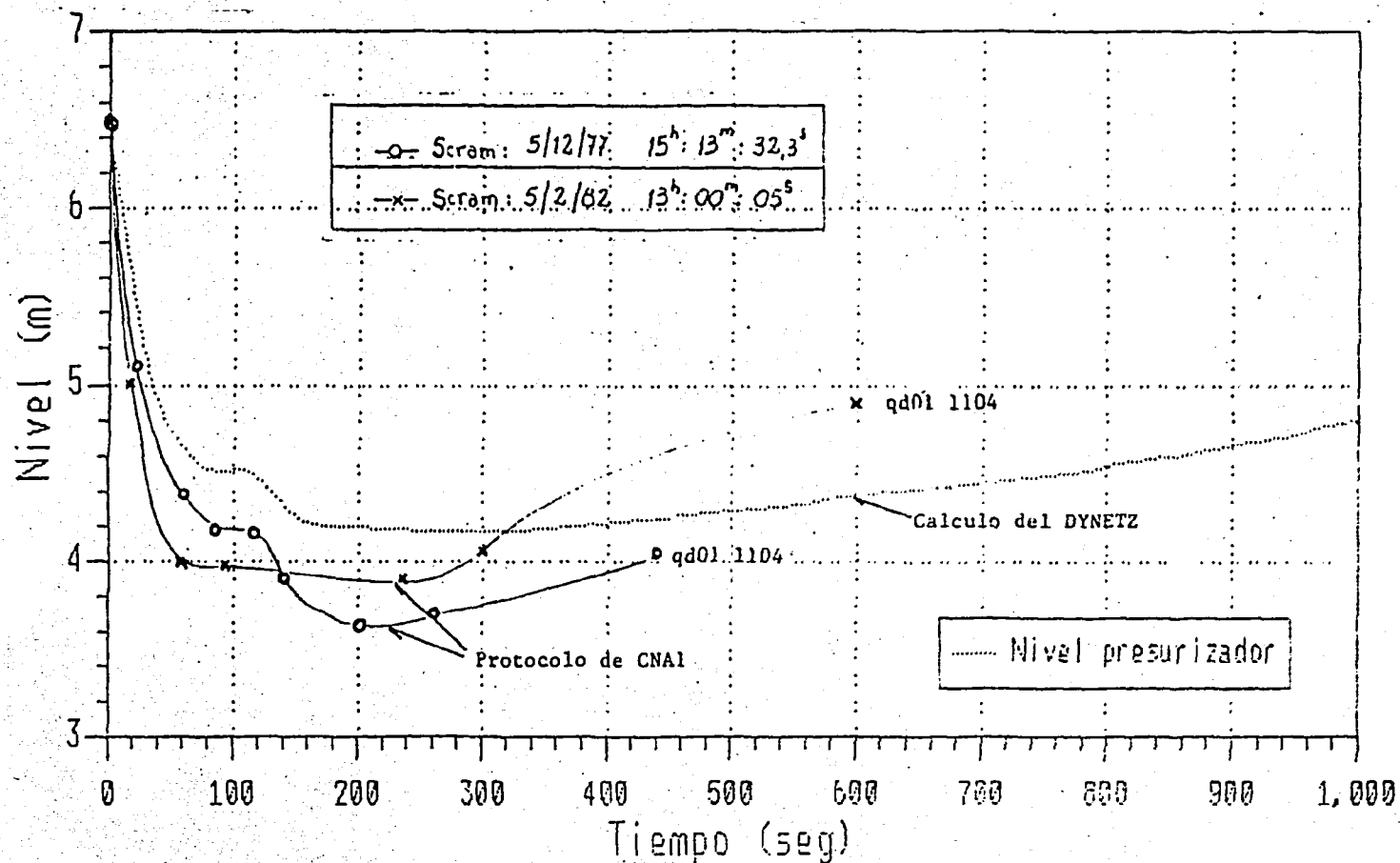


FIG. 3.4

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180 °C

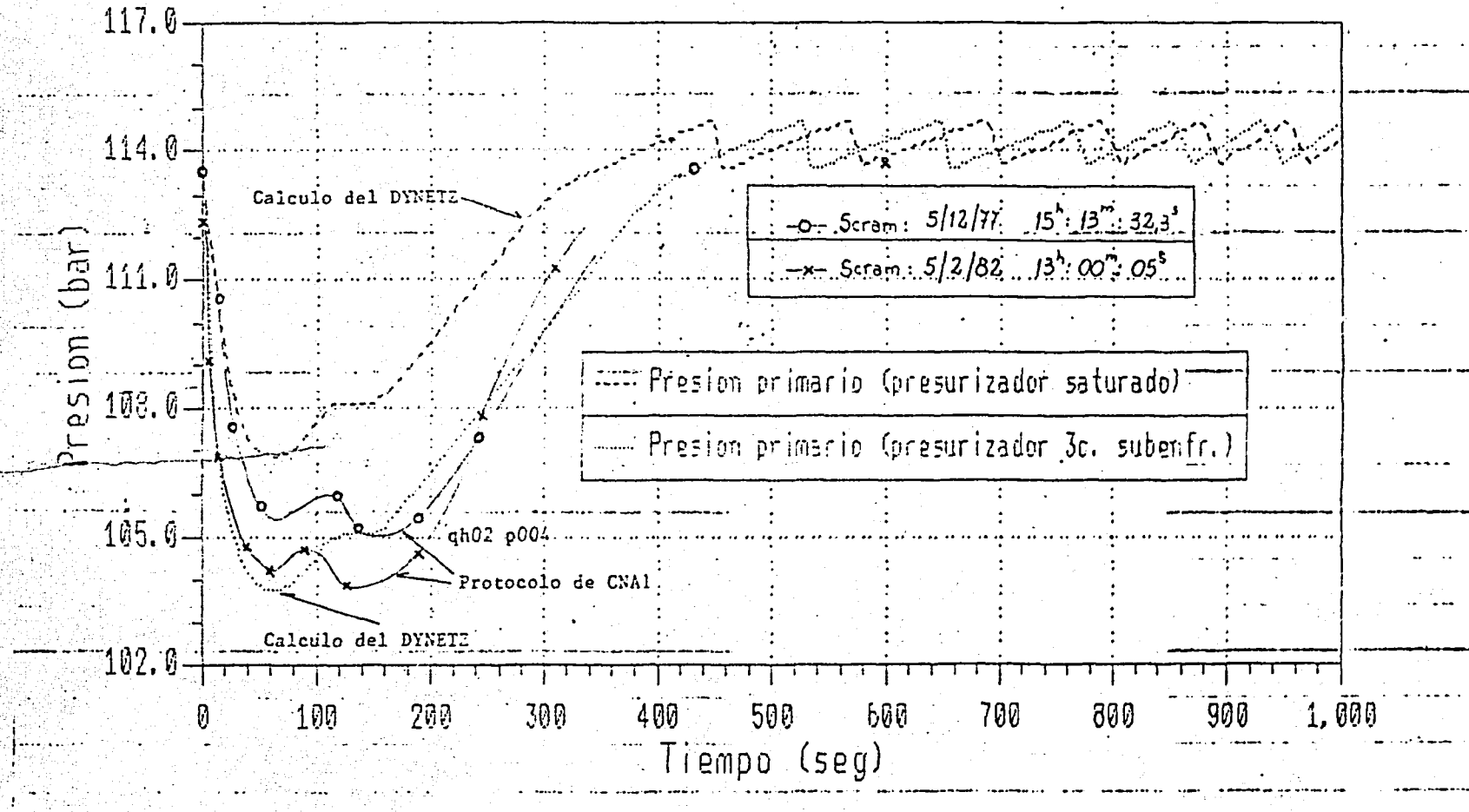


FIG. 3.5

# CORTE RAPIDO DEL REACTOR - TMM NORMAL 180°C

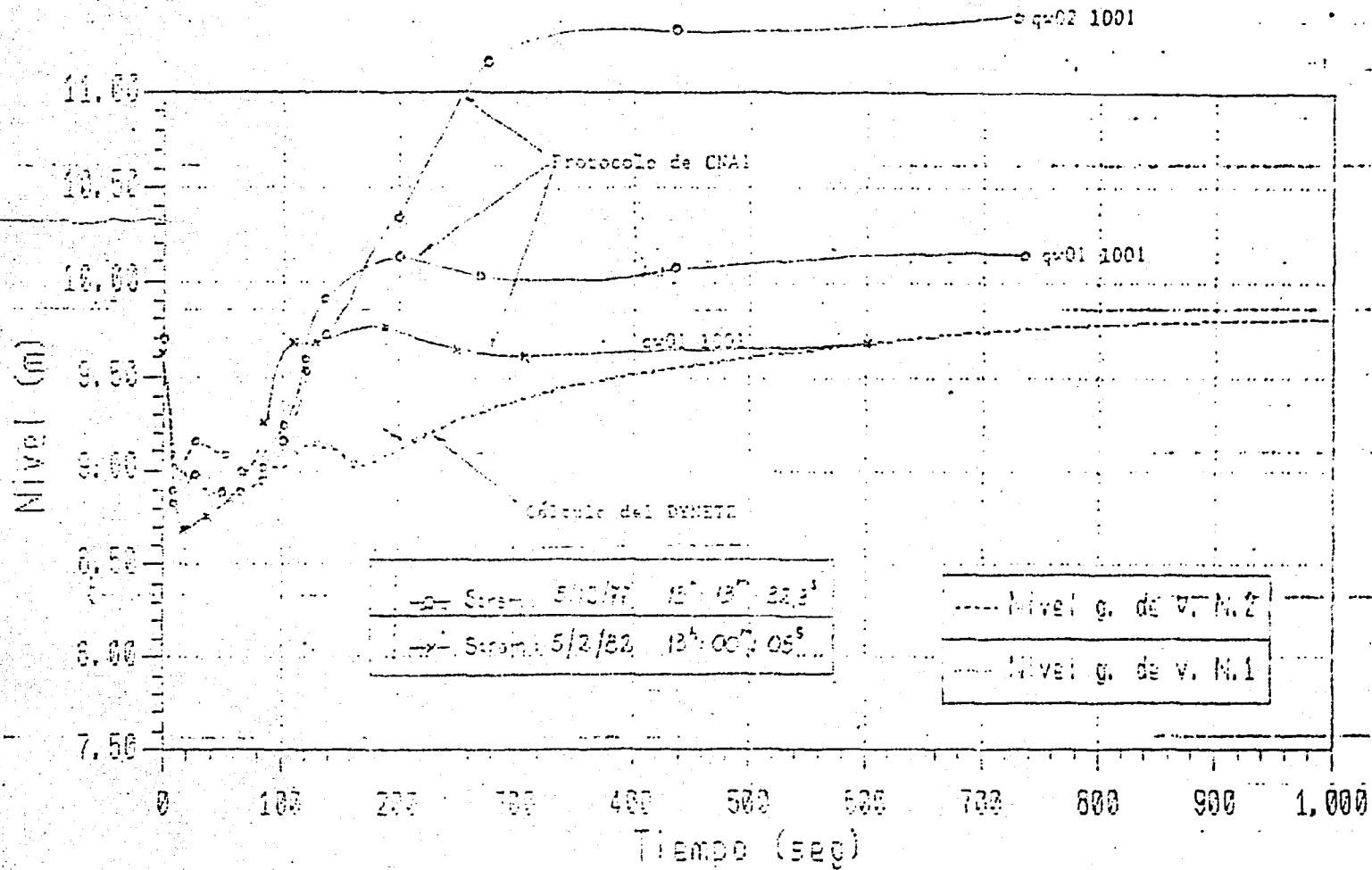


FIG. 3.6

MODELO DE CALCULO DYNETZ

0017#Vdynetz