

SIMULACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE PRESION Y VOLUMEN

DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

P.A. LANDEYRO
J.C. CARBALLIDO
J.F. DOS SANTOS
C. CORDERI
H.J. GAVARINI
J.O. ZANDONADI

Se agradece la colaboración de Laura Zarza en los cálculos
de pérdida de carga.

CONTENIDO

- 0.7.0 INTRODUCCION
- 0.8.0 ANALISIS DEL SISTEMA
- 0.9.0 ESQUEMAS DEL SISTEMA
- 1.0.0 ECUACIONES DEL PRESURIZADOR
- 2.0.0 ECUACIONES DEL DESGASIFICADOR-CONDENSADOR
- 3.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE CERO CALIENTE AL CIENTO POR CIENTO DE LA POTENCIA SEGUN CURVA DE DISEÑO, AMBAS BOMBAS DE ALIMENTACION FUNCIONANDO
- 4.0.0 IDEM 3.0.0, UNA BOMBA PARADA
- 5.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE CERO CALIENTE HASTA EL CIENTO POR CIENTO DE POTENCIA: DESDE 0% AL 80% DE LA POTENCIA, SEGUN CURVA DE DISEÑO; Y DESDE EL 80% AL 100% A 30 Mw/min.. UNA BOMBA PARADA
- 6.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE CERO CALIENTE HASTA EL 100% DE POTENCIA: DESDE 0% AL 25% DE LA POTENCIA, SEGUN CURVA DE DISEÑO; DESDE 25% AL 100% DE LA POTENCIA, A 30 Mw/min.. UNA BOMBA PARADA
- 7.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE CERO CALIENTE HASTA EL 100% DE POTENCIA: IDEM 6.0.0 . AMBAS BOMBAS FUNCIONANDO
- 8.0.0 CONCLUSIONES

0.7.0 INTRODUCCION

El sistema de Control de Presión y Volumen de la Central Nuclear Cordoba ha sufrido un cambio radical respecto a lo previsto en el contrato de adquisición de dicha Central. Este consiste en el reemplazo del componente que cumple la función de CONDENSADOR-DESGASIFICADOR.

Se pasó de un intercambiador de calor de mazo y tubos, a simplemente un recipiente de presión con una lluvia de D_2O fría. Las bombas cuya misión en el sistema anterior era enviar el líquido a desgasar, pasan a ser ahora las impulsoras del líquido para SPRAY.

Esta situación motivó el pedido realizado desde Canadá. Debido a este pedido efectuado por el Ing. J.C. Carballido, de realizar un exhaustivo análisis sobre las posibilidades funcionales del sistema de Control de Presión y Volumen de D_2O de la Central Nuclear Córdoba. La imposibilidad de realizar la tarea mediante un cálculo simple, la imposibilidad de hallar en la bibliografía un programa semejante al necesario, hizo clara la necesidad de realizar un modelo matemático que describiera lo más ajustadamente posible el comportamiento de dicho Sistema. Además, éste modelo será necesario en el futuro como parte integrante del modelo total de la Central.

A los efectos de la realización del Modelo se adoptó una solución de compromiso entre lo simplificado del programa (tiempo de duración) y la precisión (grado de aproximación a la realidad) optándose siempre por las simplificaciones que llevaran a planteos más conservativos, a los efectos de tener el máximo de seguridad para aceptar el Sistema. Como se desconoce la dilatación del Sistema Principal de Transporte de Calor durante los transitorios, analizados, se adopta como hipótesis que la misma es lineal con la potencia, esto implica la existencia de un caudal constante para cada curva de crecida de potencia.

0.8.0 ANALISIS

Se consideró a ambos componentes del sistema Presurizador, Condensador-desgasificador divididos en dos zonas: Una de fase líquido subenfriado, otra de fase vapor sobrecalentado.

También se consideró al Presurizador recibiendo desde el HEADER líquido o mezcla de líquido vapor, y que éste transmite por medio de una válvula lineal (apertura linealmente dependiente de la diferencia entre la presión en el Presurizador y un valor de referencia), su exceso de vapor al Condensador Desgasificador. En éste, apenas se sobrepasa un valor prefijado, se abren las válvulas de SPRY introduciéndose D_2O fría, que tiene por misión mantener la presión en este componente y por ende en el sistema. El SPRY está alimentado por dos bombas que aportan c/u el 50% del caudal. Dentro del análisis realizado se supusieron casos con ambas bombas funcionando ó con una sola de ellas funcionando.

Se supuso además que durante el desarrollo de los transientes, la línea de descarga del condensador-desgasificador al tanque de alivio permanecía cerrada.

Todas las variables termodinámicas correspondientes al D_2O fueron aproximadas por funciones parabólicas. En los casos de volumen específico de líquido saturado, volumen específico de vapor saturado, entalpía de líquido saturado, entalpía de vapor saturado, fueron usadas funciones de la presión, aproximando las curvas de equilibrio por diferentes tramos de parábola.

En el caso del volumen específico del líquido subenfriado se consideró correspondiendo a cada valor de presión una parábola, como función de la temperatura, y luego se realizó interpolación lineal entre los valores de presión.

A los efectos del cálculo de la presión en ambos componentes se utilizó la fórmula correspondiente a los gases reales, afectada por un factor de compresibilidad. Este factor fué aproximado por funciones parabólicas, cada una correspondiente a cada temperatura. Posteriormente se interpola el coeficiente de compresibilidad linealmente entre los distintos valores de la presión.

A los efectos del desarrollo del modelo se aplicaron a cada una de las zonas de ambos componentes las ecuaciones diferenciales de conservación de masa y de conservación de energía, y las ecuaciones de estado además de la ecuación de conservación de volumen para todo el componente.

En el caso de la línea presurizador al condensador-desgasificador se supuso una válvula lineal que podría funcionar en régimen subsónico o sónico, eligiendo el programa aquél de ambos que fuese menor.

Para la resolución de los sistemas de ecuaciones diferenciales se adoptó el método de Euler.

Se realizaron como hipótesis simplificativas, en el caso presurizador:

- a) Ambas zonas del componente están a la misma presión y ésta es uniforme.
- b) El vapor (en el caso de provenir del header) pasa instantáneamente a la zona de vapor.
- c) Se considera al líquido incompresible.
- d) Se desprecian las pérdidas de calor.
- e) No se tienen en cuenta los calefactores (debido al tipo de transiente considerado).
- f) Se supuso que no había condensación.

En el caso del condensador-desgasificador:

- a) Presión uniforme en todo el componente.
- b) La única condensación que se produce en la fase vapor es la producida por el SPRAY.
- c) Se considera al líquido incompresible.
- d) Se considera al líquido subenfriado.
- e) Se desprecian las pérdidas de calor.
- f) No se tienen en cuenta los calefactores.

0.9.0 ESQUEMAS DEL SISTEMA

0.9.1 Sistema original

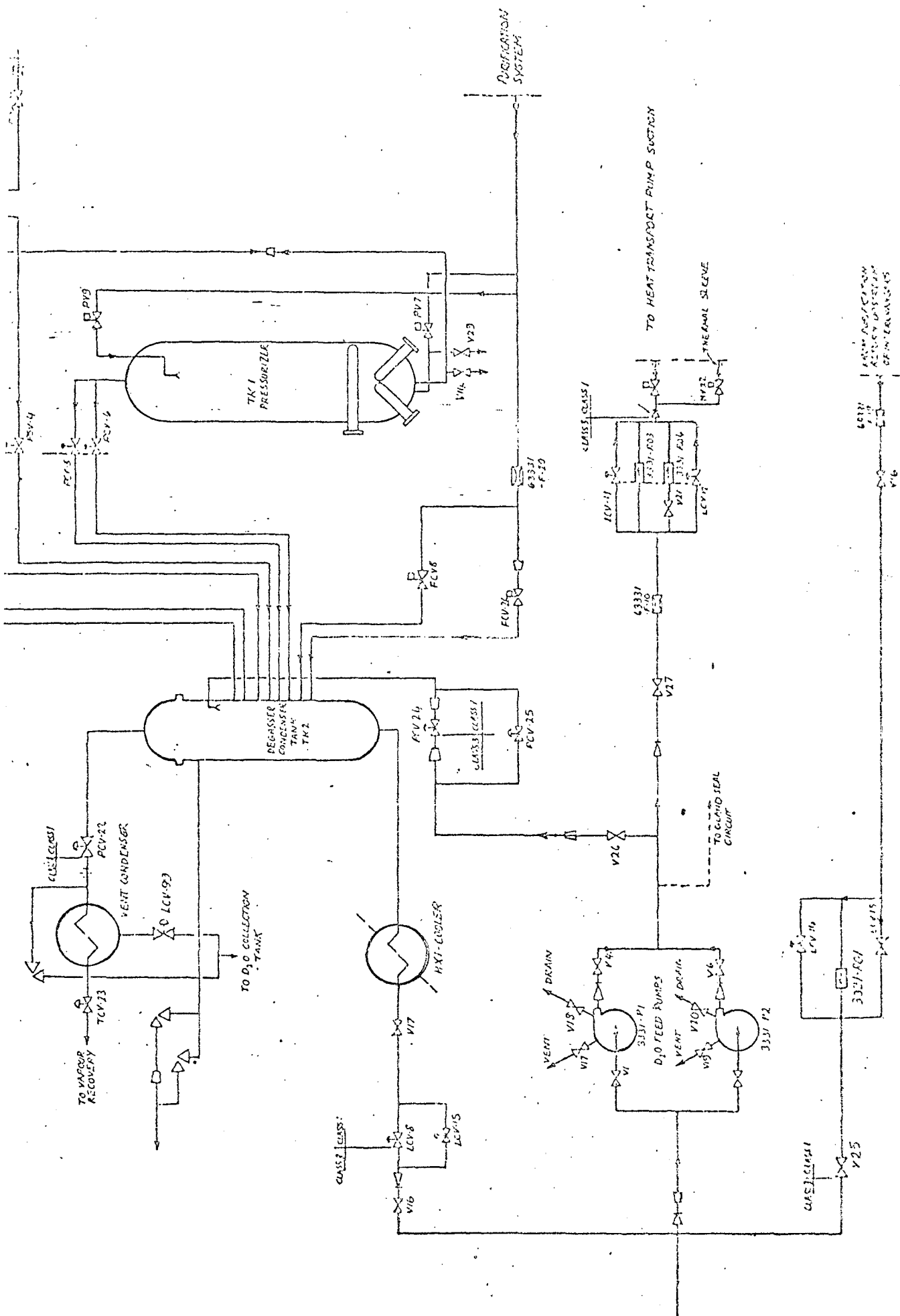
La figura N°1 representa el Sistema de Control de Presion y Volumen, tal como lo describe el Contrato de Compra de la Central Nuclear Embalse. Puede observarse en él, el condensador de tubos y mazo.

0.9.2 Sistema propuesto

En la figura N°2, se representa el Sistema propuesto por A.E.C.L., donde se elimina el Sistema de tubos y mazo en el condensador. La condensación en este caso se efectua por medio del spray.

FIGURA N° 1

FIGURE 1. D₂O FEED AND BLEED AND PRESSURE CONTROL SYSTEM



Lista de variables utilizadas en el presurizador por orden de utilización

$H = (m)$ Diferencia de altura entre el header y el presurizador.

$V_1 = (m^3/kg)$ Volumen específico de la mezcla en el header.

$K_1 = (N/m^2)$ Resistencia hidráulica de la línea header-presurizador.

$g = (m/seg^2)$ Aceleración de la gravedad.

$\dot{M}_2 = (kg/seg)$ Variación de la masa de la zona líquida en el tiempo.

$W_1 = (kg/seg)$ Caudal proveniente del header.

$W_3 = (kg/seg)$ Caudal de evaporación.

$W_4 = (kg/seg)$ Caudal de condensación.

$U_2 = (Joule/kg)$ Energía interna de la mezcla en la zona 2 fases.

$M_2 = (kg)$ Masa de líquido.

$I_1 = (Joule/kg)$ Entalpía de la mezcla en el header.

$I_3 = (Joule/kg)$ Entalpía del vapor saturado en el presurizador.

$P_2 = (N/m^2)$ Presión en el presurizador.

$V_2 = (m^3/kg)$ Volumen específico de la mezcla en la zona 2 fases.

$\dot{V}_2 = (m^3/kg / seg)$ Derivada temporal de V_2 .

$I_4 = (Joule/kg)$ Entalpía del líquido saturado en el presurizador.

$Q_5 = (Watt)$ Calor aportado por los calefactores del presurizador por unidad de tiempo.

$Q_6 = (Watt)$ Pérdidas en el presurizador por unidad de tiempo. (zona líq.).

$\dot{M}_7 = (kg/seg)$ Variación de la masa de vapor en el tiempo.

$W_7 = (kg/seg)$ Caudal de vapor del presurizador al condensador.

$U_7 = (Joule/kg)$ Energía interna del vapor.

$M_7 = (kg)$ Masa de vapor.

$I_7 = (Joule/kg)$ Entalpía del vapor.

Q_8 = (Watt) Pérdidas zona vapor.

V_7 = (m^3/kg) Volumen específico del vapor.

$\dot{V}_7$ = (m^3/kg / seg) Derivada temporal de V_7 .

Z = Coeficiente de compresibilidad.

T_7 = ($^{\circ}C$) Temperatura del vapor.

T_2 = ($^{\circ}C$) Temperatura del líquido.

V = (m^3) Volumen total del presurizador.

$\dot{V}$ = (m^3 / seg) Derivada temporal de V .

Q_1 = (m^3 / seg) Caudal volumétrico en el header.

V_1' = (m^3/kg) Volúmen específico del líquido en el header.

X_1 = Título de vapor en el header.

V_1'' = (m^3/kg) Volúmen específico del vapor saturado en el header.

I_1' = (Joule/kg) Entalpía del líquido en el header.

I_1'' = (Joule/kg) Entalpía del vapor en el header.

C_p = (Joule/kg $^{\circ}C$) Calor específico del vapor a presión constante.

M_{02} M_{07} = (kg) Masas iniciales en el presurizador del líquido y vapor, respectivamente.

G_1 = (kg / seg / $\sqrt{N/m^2}$) Conductancia hidráulica línea presurizador-condensador.

A = (m^2) Area de pasaje de la válvula colocada en la línea presurizador-condensador desgasificador.

γ = C_p / C_v

Lista de variables utilizadas en el condensador desgasificador por orden de utilización

- $\dot{M}_{10}$ = (kg / seg) Variación de la masa de líquido en el tiempo.
 W_{10} = (kg / seg) Caudal derivado al tanque de almacenamiento.
 W_{11} = (kg / seg) Caudal de condensado total con Spray.
 W_{12} = (kg / seg) Caudal de condensado espontáneo.
 W = (kg / seg) Caudal de línea de alivio.
 M_{10} = (kg) Masa de líquido.
 U_{10} = (Joule / kg) Energía interna del líquido.
 I_{11} = (Joule / kg) Entalpía del líquido condensado.
 I_{10} = (Joule / kg) Entalpía del líquido.
 P_{10} = (N / m²) Presión en el condensador.
 V_{10} = (m³ / kg) Volumen específico del líquido.
 $\dot{V}_{10}$ = (m³ / kg / seg) Derivada temporal de V_{10} .
 Q_{13} = (Watt) Calor aportado por el calefactor.
 $\dot{M}_{14}$ = (kg / seg) Variación de la masa de vapor en el tiempo.
 W_{13} = (kg / seg) Caudal de Spray.
 U_{14} = (Joule / kg) Energía interna del vapor.
 M_{14} = (kg) Masa de vapor.
 V_{14} = (m³ / kg / seg) Derivada temporal de V_{14} .
 $\dot{V}_{14}$ = (m³ / kg) Volumen específico del vapor.
 T_{14} = (C°) Temperatura del vapor.
 R = (Joule / kg C°) Constante de los gases por unidad de masa.
 T_{10} = (C°) Temperatura del líquido.

$V' = (m^3)$ Volumen del còndensador.

$\dot{V}' = (m^3 / \text{seg})$ Derivada temporal de V' .

$n =$ Rendimiento del Spray.

$I_{13} = (\text{Joule} / \text{kg})$ Entalpía del Spray.

$I_{14} = (\text{Joule} / \text{kg})$ Entalpía del vapor.

$M_{11} \ M_{17} = (\text{kg})$ Masas iniciales.

Modelo del sistema de control de presión de la Central Nuclear Córdoba

1.0.0. Presurizador

1.1.0. Zona líquida

1.1.1. Ecuación de conservación de masas

$$\dot{M}_2 = W_1 - W_3 + W_4$$

1.1.2. Ecuación de conservación de energía

$$\frac{d(U_2 \cdot M_2)}{dt} = W_1 \cdot I_1 - W_3 \cdot I_3 - P_2 \cdot \dot{M}_2 \cdot V_2 - P_2 \cdot M_2 \cdot \dot{V}_2 + W_4 \cdot I_4 + Q_5 - Q_6$$

1.2.0. Zona de vapor

1.2.1. Ecuación de conservación de masas

$$\dot{M}_7 = W_3 - W_7 - W_4$$

1.2.2. Ecuación de conservación de energía

$$\frac{d(U_7 \cdot M_7)}{dt} = W_3 \cdot I_3 - W_7 \cdot I_7 - W_4 \cdot I_4 - Q_8 - P_2 \cdot M_7 \cdot \dot{V}_7 - P_2 \cdot \dot{M}_7 \cdot V_7$$

1.2.3. Ecuación de estado en la zona de vapor

$$P_7 = Z(P_7, T_7) \cdot \frac{R \cdot (T_7 + 273,15)}{V_7}$$

1.3.0. Ecuación de estado en la zona líquida

$$V_2 = V_2(P_7, T_2)$$

1.4.0. Conservación de volumen

$$V = M_2 \cdot V_2 + M_7 \cdot V_7 = \text{cte.}$$

$$1.4.1. \dot{V} = \dot{M}_2 \cdot V_2 + M_2 \cdot \dot{V}_2 + \dot{M}_7 \cdot V_7 + M_7 \cdot \dot{V}_7 = 0$$

1.5.0. Parámetros en el header

1.5.1. Caudal en el header

$$\dot{W}_1 = \frac{Q_1}{V_1' (1 - X_1) + V_1'' \cdot X_1}$$

1.5.2. Presión en el header

$$P_1 = P_2 + \frac{gH}{V_1} + K_1 \cdot W_1^2$$

1.5.3. Entalpía en el header

$$I_1 = I_1' \cdot (1 - X_1) + I_1'' \cdot X_1$$

1.5.4. Volumen específico en el conducto header-presurizador

$$V_1 = V_1' \cdot (1 - X_1) + X_1 \cdot V_1''$$

1.5.5. Cálculo del caudal de entrada al presurizador

$$W_1 = \sqrt{\frac{P_1 - P_2 - \frac{gH}{V_1}}{K_1}}$$

1.6.0. Volumen específico del vapor

$$V_7 = \frac{V - M_2 \cdot V_2}{M_7}$$

1.7.0. Ecuaciones simplificadas

1.7.1. Se establecen las siguientes hipótesis:

a) El caudal de condensación vale cero (0), o sea que:

$$W_4 = 0$$

b) Las pérdidas hacia el medio externo son nulas, tal que:

$$Q_6 = 0$$

$$Q_8 = 0$$

c) El calor aportado por los calefactores es nulo:

$$Q_5 = 0$$

d) El caudal de evaporación vale:

$$W_3 = X_1 \cdot W$$

Considerando que pasa instantaneamente de la entrada a la fase vapor, y que el caudal de evaporación de la fase líquida vale cero (0).

e) El volumen específico del líquido varía muy lentamente:

$$V_2 \quad \text{cte.}$$

$$\dot{V}_2 = 0$$

f) El líquido y el vapor están a la misma presión:

$$P_2 = P_7$$

1.7.2. Ecuación de conservación de masas zona líquida

$$\dot{M}_2 = W_1 \cdot (1 - X_1)$$

1.7.3. Ecuación de conservación de energía zona líquida

Utilizando la ecuación anterior y reemplazando en 1.1.2. tenemos:

$$\frac{d(U_2 \cdot M_2)}{dt} = W_1 \cdot (1 - X_1) \cdot I_1' - P_2 \cdot \dot{M}_2 \cdot V_2$$

1.7.4. Ecuación de conservación de masas zona vapor

$$\dot{M}_7 = X_1 \cdot W_1 - W_7$$

1.7.5. Ecuación de conservación de energía zona vapor

Utilizando 1.7.2. y reemplazando en 1.2.2. queda:

$$\frac{d(U_7 \cdot M_7)}{dt} = W_1 \cdot X_1 \cdot I_1' - W_7 \cdot I_7 - P_2 (\dot{M}_7 \cdot \dot{V}_7 + \dot{M}_7 \cdot V_7)$$

1.7.6. Operando en la ecuación 1.7.3. tenemos:

$$\dot{M}_2 \cdot U_2 + M_2 \cdot \dot{U}_2 = (1 - X_1) \cdot W_1 \cdot I_1' - P_2 \cdot \dot{M}_2 \cdot V_2$$

Despejamos $\dot{U}_2$ de la anterior:

$$\dot{U}_2 = \frac{(1 - X_1) \cdot W_1 \cdot I_1' - P_2 \cdot \dot{M}_2 \cdot V_2 - \dot{M}_2 \cdot U_2}{M_2}$$

Reemplazando $\dot{M}_2$ por 1.7.2. queda:

$$\dot{U}_2 = \frac{(1 - X_1) W_1 \cdot I_1' - P_2 (1 - X_1) W_1 \cdot \dot{U}_2 - (1 - X_1) W_1 \cdot U_2}{M_2}$$

1.7.7. Como M_2 es función del tiempo, se expresa por:

$$M_2 = M_{02} + \int_0^t W_1 \cdot (1 - X_1) \cdot dt$$

1.7.8. La entalpía del líquido queda determinada por:

$$I_2 = U_2 + P_2 \cdot V_2$$

1.7.9. La temperatura del líquido es igual a:

$$T_2 = T_2 \cdot (P_2, I_2)$$

Con esta ecuación se puede resolver la 1.3.0.

1.7.10. Operando con la ecuación 1.7.5. tenemos:

$$\dot{U}_7 \cdot M_7 + U_7 \cdot \dot{M}_7 = X_1 \cdot W_1 \cdot I_1' - W_7 \cdot I_7 - P_2 \cdot (M_7 \cdot \dot{V}_7 + \dot{M}_7 \cdot V_7)$$

Reemplazando, aplicando 1.4.1.:

$$\dot{U}_7 \cdot M_7 + U_7 \cdot \dot{M}_7 = X_1 \cdot W_1 \cdot I_1' - W_7 \cdot I_7 + P_2 \cdot (M_2 \cdot \dot{V}_2 + \dot{M}_2 \cdot V_2)$$

Reemplazando M_2 por 1.7.2., usando 1.7.1. e) y despejando tenemos:

$$\dot{U}_7 = \frac{X_1 \cdot W_1 \cdot I_1' - W_7 \cdot I_7 + P_2 \cdot V_2 \cdot (1 - X) \cdot W_1 - U_7 \cdot \dot{M}_7}{M_7}$$

Reemplazando M_7 por 1.7.4. queda:

$$\dot{U}_7 = \frac{X_1 \cdot W_1 \cdot I_1' - W_7 \cdot I_7 + P_2 \cdot V_2 \cdot (1 - X) \cdot W_1 - U_7 (X_1 \cdot W_1 - W_7)}{M_7}$$

1.7.11. Como M_7 es función del tiempo, la expresamos:

$$M_7 = M_{07} + \int_0^t (X_1 \cdot W_1 - W_7) dt$$

1.7.12. La entalpía de vapor es igual:

$$I_7 = U_7 + P_7 \cdot V_7$$

1.7.13. La temperatura de vapor queda expresada por:

$$T_7(t + \Delta t) = \frac{I_7(t + \Delta t) - I_7(t)}{C_p(P_7, T_7)} + T_7(t)$$

1.7.14. Ecuación de pasaje de vapor hacia el condensador

a) Flujo sub-zónico

$$W_7 = G_1 \sqrt{P_2 - P_{10}}$$

b) Flujo super-zónico

$$W_7 = A \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot (T_7 + 273,15)}{V_7}}$$

Con los valores de las temperaturas T_2 y T_7 y las ecuaciones 1.3.0. y 1.6.0. se soluciona la ecuación de estado en la zona de vapor, obteniéndose así la presión en el presurizador.

2.0.0. Condensador-Desgasificador

2.1.0. Zona líquida

2.1.1. Conservación de masa

$$\dot{M}_{10} = W_{11} - W_{10} + (1 - X_1) W + W_{12}$$

2.1.2. Conservación de energía

$$\frac{d(M_{10} \cdot U_{10})}{dt} = W_{11} \cdot I_{11} - W_{10} \cdot I_{10} + (1 - X_1) \cdot W \cdot I_1 + W_{12} \cdot I_{11} - P_{10} \cdot V_{10} \cdot \dot{M}_{10} - P_{10} \cdot M_{10} \cdot \dot{V}_{10} + Q_{13}$$

2.1.3. Ecuación de estado

$$V_{10} = V_{10}(P_{10}, T_{10})$$

2.2.0. Zona de vapor2.2.1. Conservación de masa

$$\dot{M}_{14} = W_7 - (W_{11} - W_{13}) - W_{12} + W \cdot X_1$$

2.2.2. Conservación de energía

$$\frac{d(U_{14} \cdot M_{14})}{dt} = W_7 \cdot I_7 - (W_{11} - W_{13}) \cdot I_{11} - W_{12} \cdot I_{11} + W \cdot X_1 \cdot I_1' - P_{10} \cdot \dot{M}_{14} \cdot V_{14} - P_{10} \cdot M_{14} \cdot \dot{V}_{14}$$

2.2.3. Ecuación de estado en la zona de vapor

$$P_{10} = \frac{Z(P_{10}, T_{14}) \cdot R \cdot (T_{14} + 273,15)}{V_{14}}$$

2.3.0. Ecuación de conservación de volumen

$$V' = V_{14} \cdot M_{14} + V_{10} \cdot M_{10} = \text{cte}$$

$$2.3.1. \dot{V}' = V_{14} \cdot \dot{M}_{14} + \dot{V}_{14} \cdot M_{14} + V_{10} \cdot \dot{M}_{10} + \dot{V}_{10} \cdot M_{10} = 0$$

2.4.0. Ecuaciones simplificadas2.4.1. Hipótesis

a) El caudal de condensación espontáneo vale cero (0):

$$W_{12} = 0$$

b) El calor aportado por el calefactor es nulo:

$$Q_{13} = 0$$

c) El volumen específico del líquido permanece aproximadamente constante, tal que:

$$V_{10} = \text{cte}$$

$$\dot{V}_{10} = 0$$

d) El líquido y el vapor permanecen a la misma presión -P₁₀-

e) El caudal hacia el tanque de almacenamiento es nulo:

$$W_{10} = 0$$

f) El rendimiento del Spray, se define como:

$$n = \frac{W_{11} - W_{13}}{W_{13}} = \frac{I_{11} - I_{13}}{I_{14} - I_{11}}$$

Pues:

$$(W_{11} - W_{13}) \cdot (I_{14} - I_{11}) = W_{13} \cdot (I_{11} - I_{13})$$

2.4.2. Ecuación de conservación de masas en la zona líquida

De acuerdo a las hipótesis, la ecuación 2.1.1. queda:

$$\dot{M}_{10} = (1 + n) \cdot W_{13} + (1 - X_1) \cdot W$$

2.4.3. Integración de la 2.4.2.

$$M_{10} = M_{11} + \int_0^t [(1 + n) \cdot W_{13} + (1 - X_1) \cdot W] \cdot dt$$

2.4.4. Ecuación de conservación de energía en la zona líquida

Operando con la ecuación 2.1.2. y de acuerdo a 2.4.1. tenemos:

$$\frac{d(M_{10} \cdot U_{10})}{dt} = (1 + n) \cdot W_{13} \cdot I_{11} + (1 - X_1) \cdot W \cdot I_1 - P_{10} \cdot \dot{M}_{10} \cdot V_{10} - P_{10} \cdot M_{10} \cdot \dot{V}_{10}$$

Desarrollando la anterior e introduciendo la ecuación 2.4.2. y la hipótesis 2.4.1. c), tenemos:

$$\dot{M}_{10} \cdot U_{10} + M_{10} \cdot \dot{U}_{10} = (1 + n) \cdot W_{13} \cdot I_{11} + (1 + X_1) \cdot W \cdot I_1 - P_{10} \cdot [(1 + n) \cdot W_{13} + (1 - X_1) \cdot W] \cdot V_{10}$$

2.4.5. De la anterior despejamos $\dot{U}_{10}$ o sea la variación de energía interna del líquido en el tiempo

$$\dot{U}_{10} = \frac{(1 + n) \cdot I_{11} \cdot W_{13} + (1 - X_1) \cdot W \cdot I_1 - (U_{10} + P_{10} \cdot V_{10}) [(1 + n) \cdot W_{13} + (1 - X_1) \cdot W]}{M_{10}}$$

2.4.6. Integrando la ecuación 2.4.5. se obtiene U_{10} , que permite calcular la entalpía del líquido I_{10} , de donde:

$$I_{10} = U_{10} + P_{10} \cdot V_{10}$$

2.4.7. Se obtiene la temperatura de líquido de:

$$T_{10} = T_{10} \cdot (I_{10}, P_{10})$$

2.4.8. Ecuación de conservación de masas en la zona de vapor

Reemplazando en la ecuación 2.2.1. tenemos:

$$\dot{M}_{14} = W_7 - n \cdot W_{13} + W \cdot X_1$$

2.4.9. Integración de la ecuación de masas

$$M_{14} = M_{17} + \int_0^t (W_7 - n \cdot W_{13} + W \cdot X_1) \cdot dt$$

2.4.10. Ecuación de conservación de energía en la zona de vapor

Reemplazando en la ecuación 2.2.2. por las hipótesis de 2.4.1., tenemos que:

$$\frac{d(M_{14} \cdot U_{14})}{dt} = W_7 \cdot I_7 - n \cdot W_{13} \cdot I_{11} + W \cdot X_1 \cdot I_1' - P_{10} \cdot (\dot{M}_{14} \cdot V_{14} + M_{14} \cdot \dot{V}_{14})$$

Desarrollando la anterior y reemplazando $\dot{M}_{14}$ por 2.4.8. y utilizando la ecuación 2.3.0. tenemos:

$$\dot{M}_{14} \cdot U_{14} + M_{14} \cdot \dot{U}_{14} = W_7 \cdot I_7 - n \cdot W_{13} \cdot I_{11} + W \cdot X_1 \cdot I_1' + P_{10} \cdot (V_{10} \cdot \dot{M}_{10} + \dot{V}_{10} \cdot M_{10})$$

$$(W_7 - n \cdot W_{13} + W \cdot X_1) \cdot U_{14} + M_{14} \cdot \dot{U}_{14} = W_7 \cdot I_7 - n \cdot W_{13} \cdot I_{11} + W \cdot X_1 \cdot I_1' + P_{10} \cdot (V_{10} \cdot \dot{M}_{10} + \dot{V}_{10} \cdot M_{10})$$

2.4.11. De la anterior despejamos $\dot{U}_{14}$:

$$\dot{U}_{14} = \frac{W_7 \cdot (I_7 - U_{14}) - n \cdot W_{13} \cdot (I_{11} - U_{14}) + W \cdot X_1 \cdot (I_1' - U_{14}) + P_{10} \cdot V_{10} \cdot \left[\frac{M_{14}}{(1+n) \cdot W_{13} + (1-X_1) \cdot W} \right]}{M_{14}}$$

///.

2.4.12. Entalpía de vapor

$$I_{14} = U_{14} + P_{10} \cdot V_{14}$$

2.4.13. Temperatura de vapor

$$T_{14} (t + \Delta t) = \frac{I_{14} (t + \Delta t) - I_{14}(t)}{C_p (P_{10}, T_{14})} + T_{14} (t)$$

2.4.14. Volumen específico de vapor

$$V_{14} = \frac{V' - V_{10} \cdot M_{10}}{M_{14}}$$

2.4.15. Presión en el condensador

Con las ecuaciones 2.4.13. y 2.4.14. se resuelve la ecuación 2.2.3., obteniéndose la "Presión en el condensador".

3.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE 0% CALIENTE HASTA EL 100% DE POTENCIA

3.1.0 Condiciones iniciales

3.1.1 Reactor

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 254,17 °C

Potencia inicial: 6 Mw

Variación de la potencia

Desde el 0% al 25% de la potencia: 4%log./seg.

Desde el 25% al 80% de la potencia: 1% lineal/seg.

Desde el 80% al 100% de la potencia: 0,15%lineal/seg.

3.1.2 Presurizador

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 311,2 °C

Volumen inicial: 2,9 m³

Volumen del líquido acumulado: Desde el 0% al 25%

de la potencia: 2,7m³

Desde el 25% al 80%

de la potencia: 6,06m³

Desde el 80% al 100%

de la pot.: 16,8 m³

3.1.3 Condensador-Desgasificador

Presión inicial: 6,68 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 184,1 °C

Volumen inicial: 2,0 m³

3.1.4 Bombas de alimentación

Bombas funcionando: 2

Caudal de Spray: 13,867 lts./seg.

4.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE EL 0% CARGANTE HASTA EL 100% DE LA POTENCIA

4.1.0 Condiciones iniciales

4.1.1 Reactor

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 254,17 °C

Potencia inicial: 6 Mw

Variacion de la potencia:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 4%log/seg.

Desde el 25% al 80% de la potencia: 1% lineal/seg.

Desde el 80% al 100% de la pot.: 0,15% lineal/seg.

4.1.2 Presurizador

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 311,2 °C

Volumen inicial: 2,9 m³

Volumen de líquido acumulado:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 2,7m³

Desde el 25% al 80% de la potencia: 6,06 m³

Desde el 80% al 100% de la potencia: 16,8 m³

4.1.3 Condensador-Desgasificador

Presión inicial: 6,68 Kgr/cm²

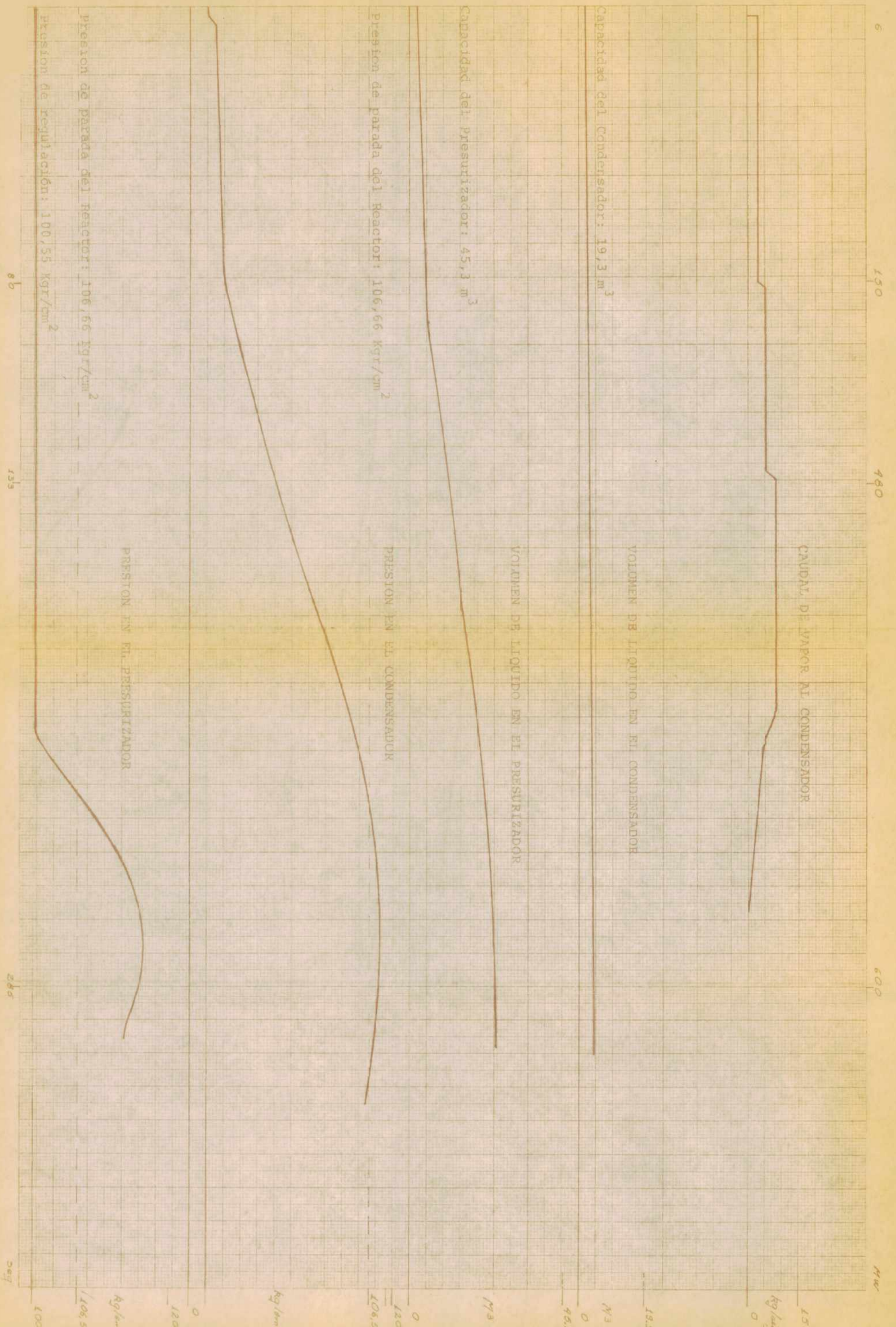
Temperatura inicial: 184,1 °C

Volumen inicial: 2,0 m³

4.1.4 Bombas de alimentacion

Bombas funcionando: 1

Caudal de Spray: 4,774 lts./seg.



5.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE EL 0% CALIENTE HASTA EL 100% DE POTENCIA

5.1.0 Condiciones iniciales

5.1.1 Reactor

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 254,17 °C

Potencia inicial: 6 Mw

Variacion de la potencia:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 4%log/seg.

Desde el 25% al 80% de la potencia: 1%lineal/seg.

Desde el 80% al 100% de la pot.: 0.083% lin./seg.

5.1.2 PRESURIZADOR

Presión inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 311,2 °C

Volumen inicial: 2,9 m³

Volumen del líquido acumulado

Desde el 0% al 25% de la potencia: 2,7 m³

Desde el 25% al 80% de la potencia: 6,06 m³

Desde el 80% al 100% de la pot.: 16,8 m³

5.1.3 Condensador-Desgasificador

Presión inicial: 6,68 Kgr/cm²

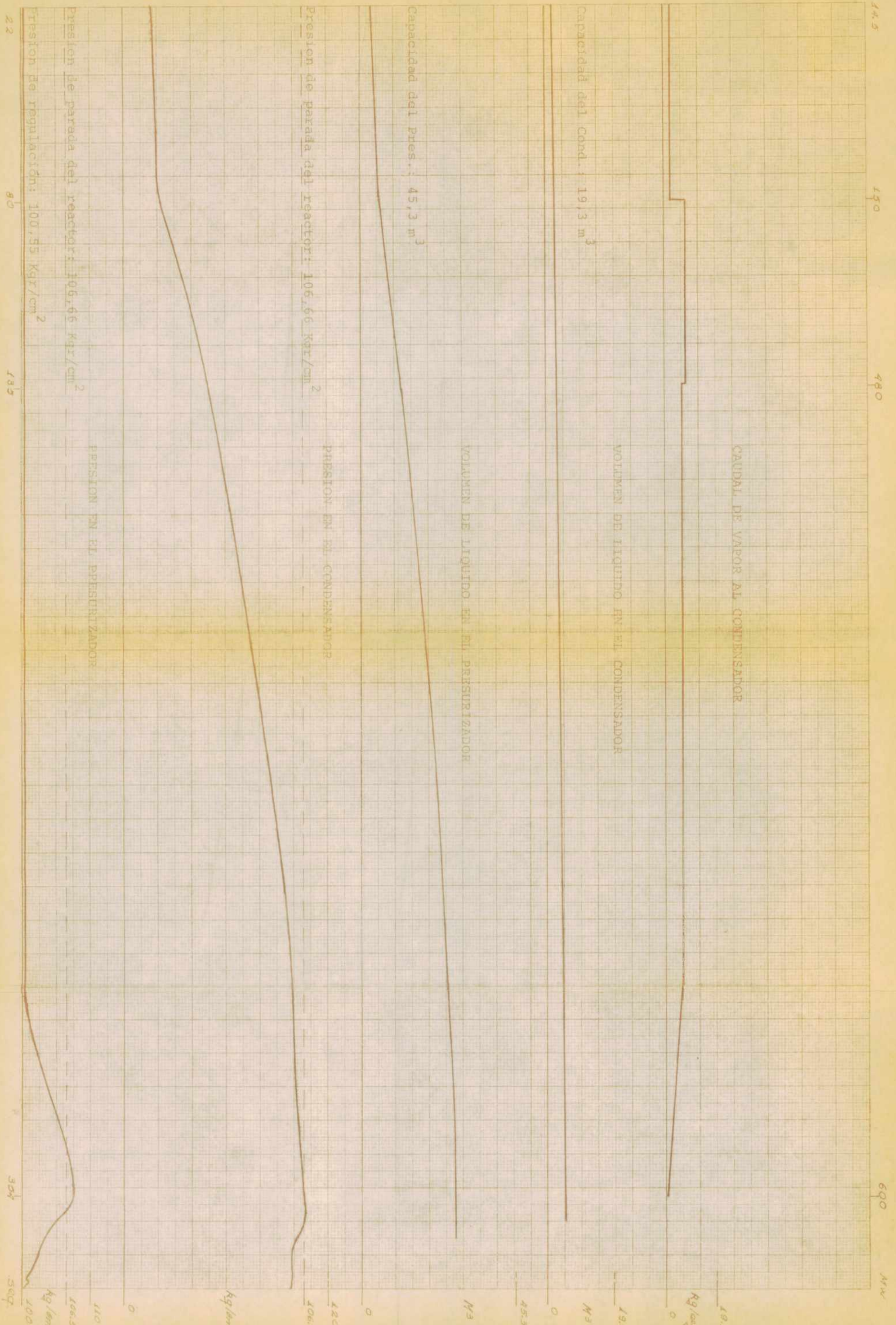
Temperatura inicial: 184,1 °C

Volumen inicial: 2,0 m³

5.1.4 Bombas de alimentación

Bombas de alimentación funcionando: 1

Caudal de Spray: 4,774 lts./seg.



6.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE EL 0% CALIENTE HASTA EL 100% DE LA POTENCIA

6.1.0 Condiciones iniciales

6.1.1 Reactor

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 254,17 °C

Potencia inicial: 6 Mw

Variación de la potencia:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 4% log/seg.

Desde el 25% al 100% de la pot.: 0,083%lin./seg.

6.1.2 Presurizador

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 311,2 °C

Volumen inicial: 2,9 m³

Volumen de líquido acumulado:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 2,7 m³

Desde el 25% al 80% de la potencia: 6,06 m³

Desde el 80% al 100% de la pot.: 16,8 m³

6.1.3 Condensador-Desgasificador

Presion inicial: 6,68 Kgr/cm²

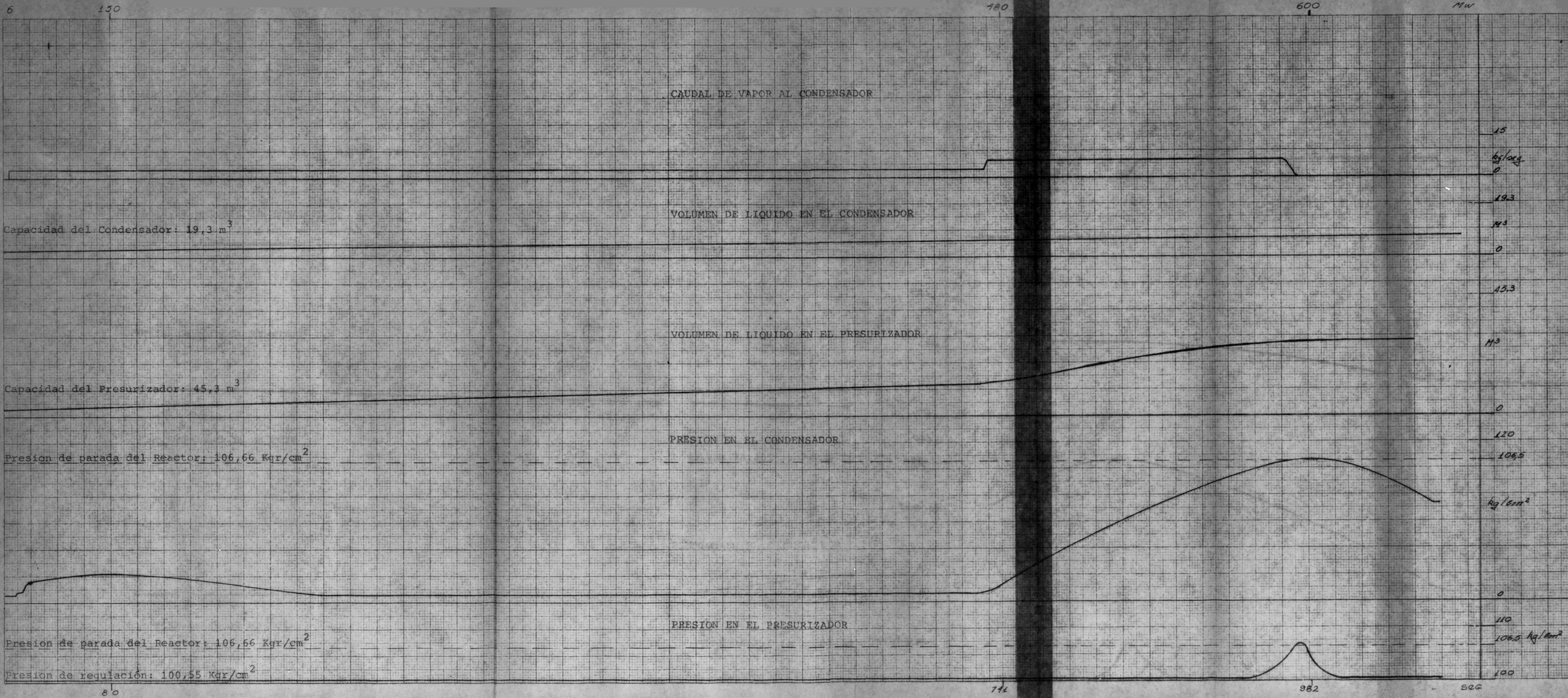
Temperatura inicial: 184,1 °C

Volumen inicial: 2,0 m³

6.1.4 Bombas de alimentación

Bombas funcionando: 1

Caudal de Spray: 4,774 lts./seg.



7.0.0 EVOLUCION DEL SISTEMA DESDE EL 0% CALIENTE HASTA EL 100% DE LA POTENCIA

7.1.0 Condiciones iniciales

7.1.1 Reactor

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 254,17 °C

Potencia inicial: 6 Mw

Variacion de la potencia:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 4%log/seg.

Desde el 25% al 100% de la pot.: 0,083% lin./seg.

7.1.2 Presurizador

Presion inicial: 100,57 Kgr/cm²

Temperatura inicial: 311,2 °C

Volumen inicial: 2,9 m³

Volumen de líquido acumulado:

Desde el 0% al 25% de la potencia: 2,7 m³

Desde el 25% al 80% de la potencia: 6,06 m³

Desde el 80% al 100% de la pot.: 16,8 m³

7.1.3 Condensador-Desgasificador

Presión inicial: 6,68 Kgr/cm²

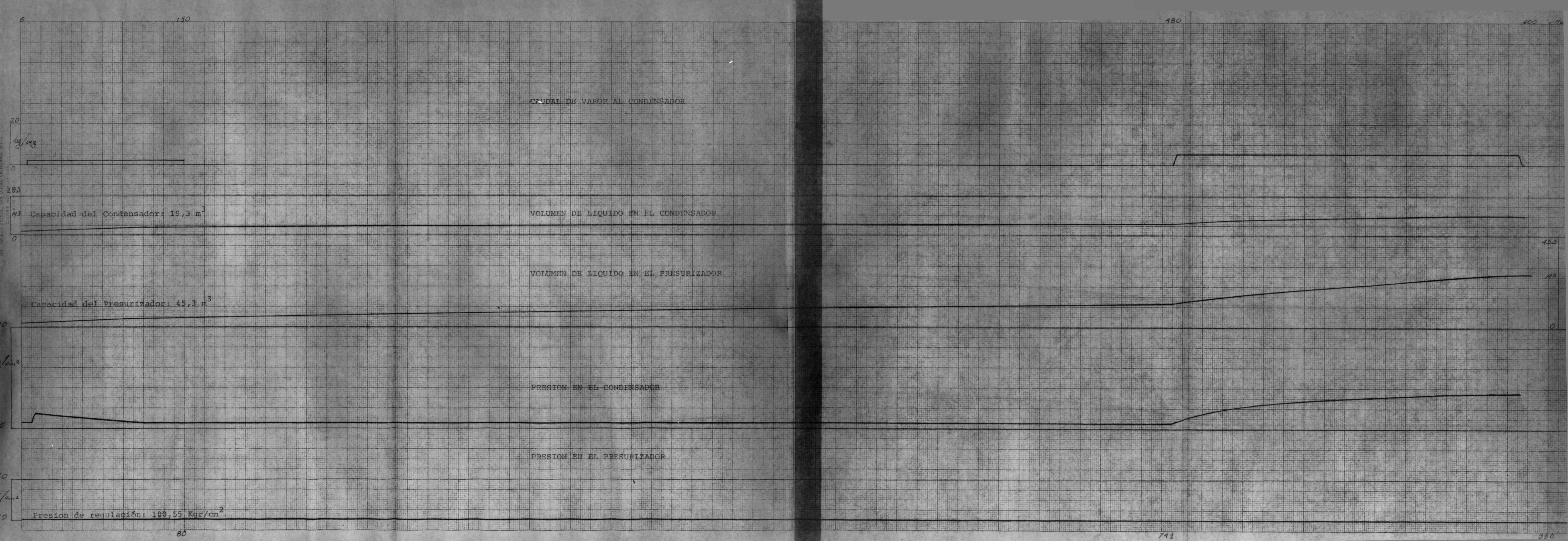
Temperatura inicial: 184,1 °C

Volumen inicial: 2,0 m³

7.1.4 Bombas de alimentación

Bombas funcionando: 2

Caudal de Spray: 13,867 lts./seg.



8.0.0 CONCLUSIONES

De los gráficos puede verse que:

a) En el caso de subir a la velocidad máxima prevista contractualmente (30 Mw/min.), si el sistema funciona normalmente, es decir, ambas bombas funcionando, no aparece ninguna dificultad en el sistema. En el caso anormal de detención de una de las bombas, el sistema no puede funcionar.

b) En el caso de subir la potencia de acuerdo a la curva de diseño, el sistema evoluciona sin inconvenientes siempre que funcionen ambas bombas.

c) Debiera negociarse la posibilidad de adoptar un sistema análogo al de Gentilly II con dos bombas del 100% para impulsar el caudal de Spray, si se considera que la condición de velocidad máxima de crecimiento debe cumplirse aún en situaciones anormales. En caso de no ser así, el sistema puede considerarse aceptable desde este ángulo de análisis pero no debe perderse de vista la disminución significativa de costo conseguida por A.E.C.L. vía el cambio de componente.