

Garuña Training Simulator

**SIMULADOR REPLICA DE
ALCANCE TOTAL
C.N. STA. MARIA DE GAROÑA**

Universidad de Cantabria



Nuclenor S.A.



-
-
-

Indice

- **Consola del Instructor**
- **Fidelidad Funcional**
- **Pruebas de Verificación y Validación**
- **Control de la Configuración**

-
-
-

Simulador réplica Garoña

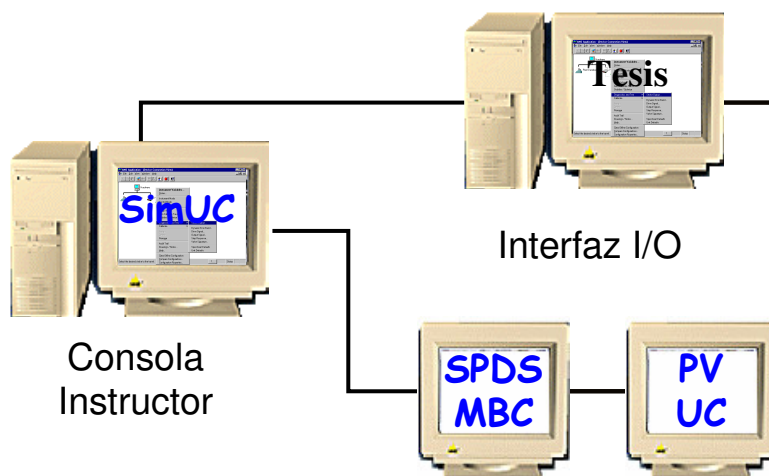


-
-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Descripción física del simulador

- **Alta fidelidad física y uso de paneles virtuales en paneles traseros y PPR para registradores (pantallas táctiles) e indicadores.**
- **Arquitectura cliente/servidor sobre plataforma PC con S.O. Windows NT**
- **Funcionalidad conforme al ANSI 3.5**



-
-
-
-
-
-

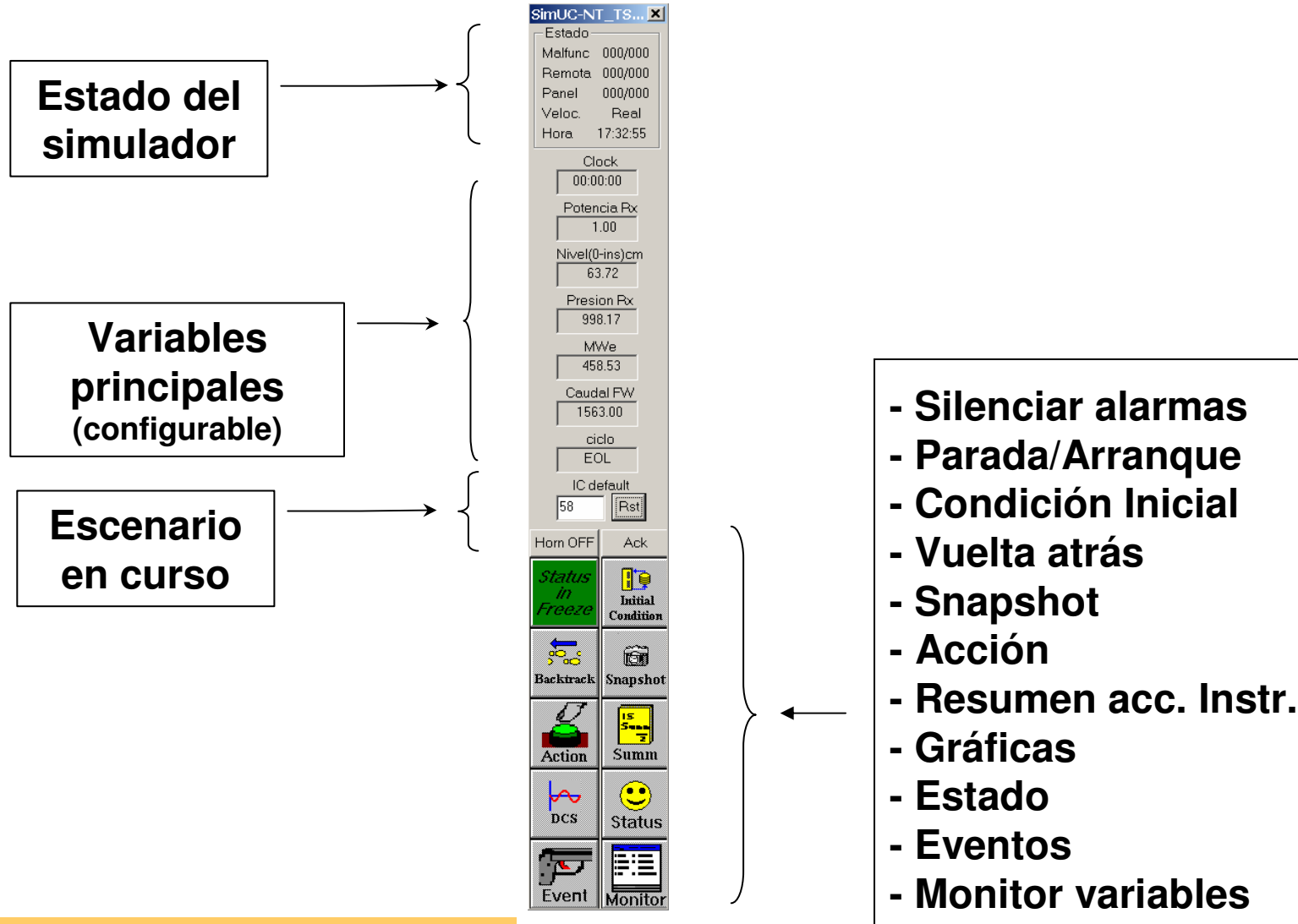
Consola del Instructor

-
-
-

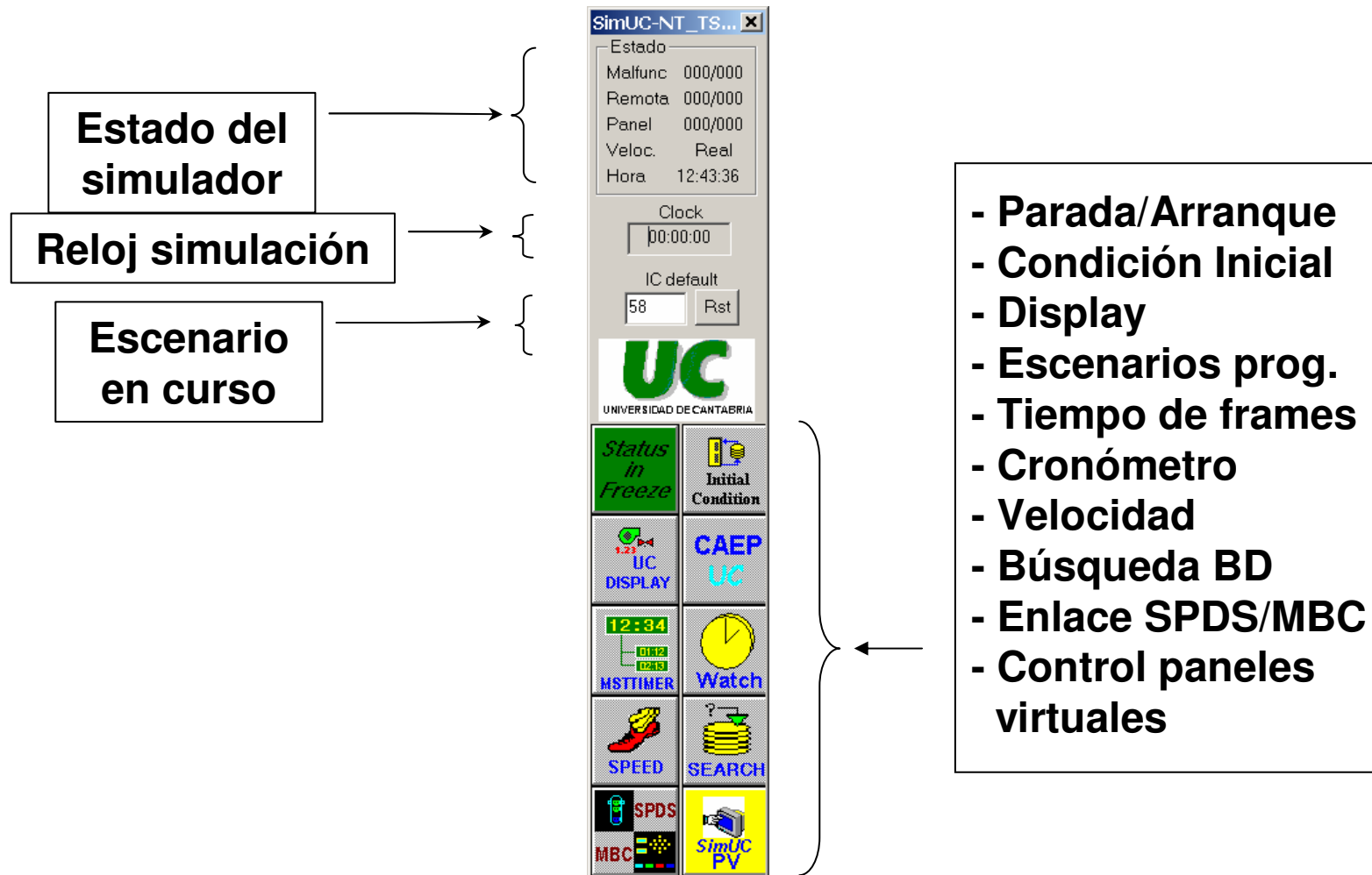
Consola del Instructor

- **Acceso mediante dos barras de control: principal y auxiliar.**
- **Botones que activan aplicaciones interactivas basadas en ventanas Windows.**
- **Funcionalidad conforme al ANSI 3.5.**
- **Desde cualquier ordenador conectado a la red del simulador.**
- **Documentación de uso en formato HTML.**
- **Facilidad de uso del simulador por los instructores y personal de operación e ingeniería.**

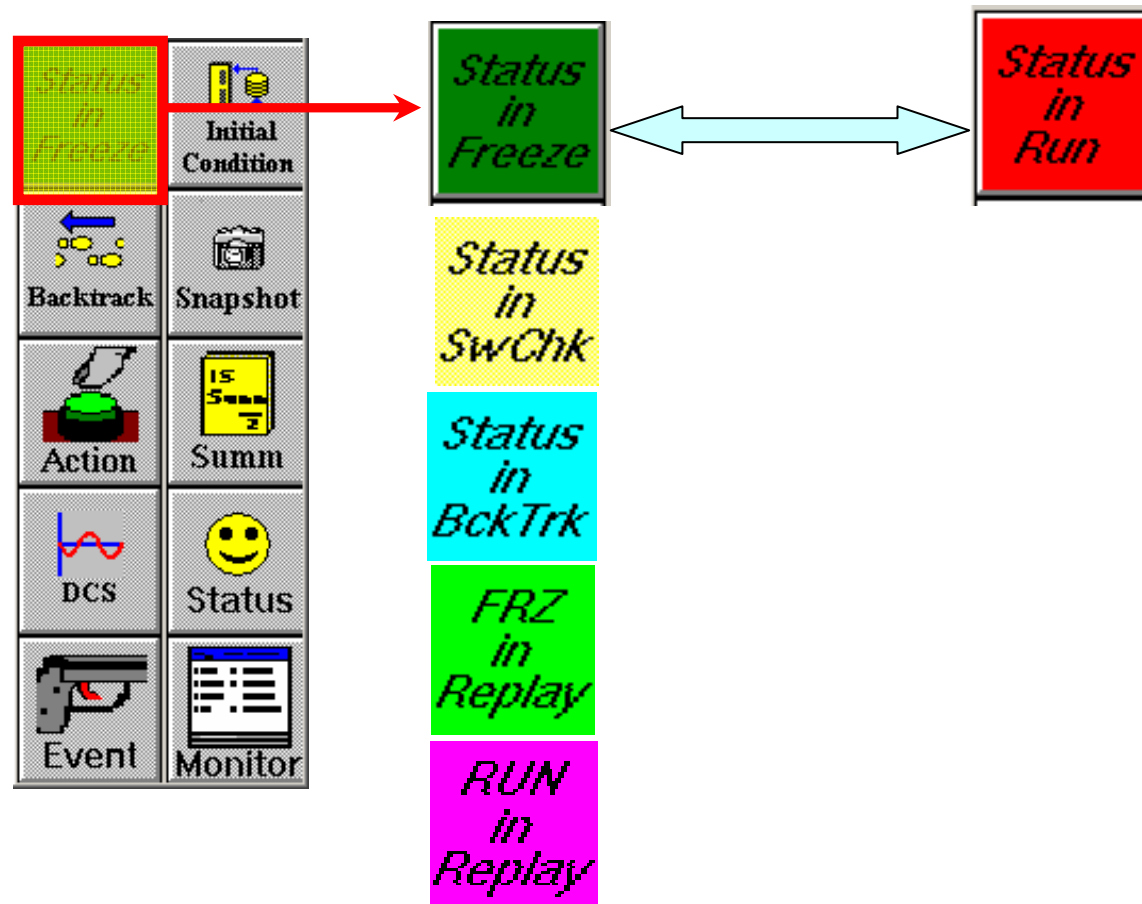
Barra de Control principal



Barra de Control auxiliar

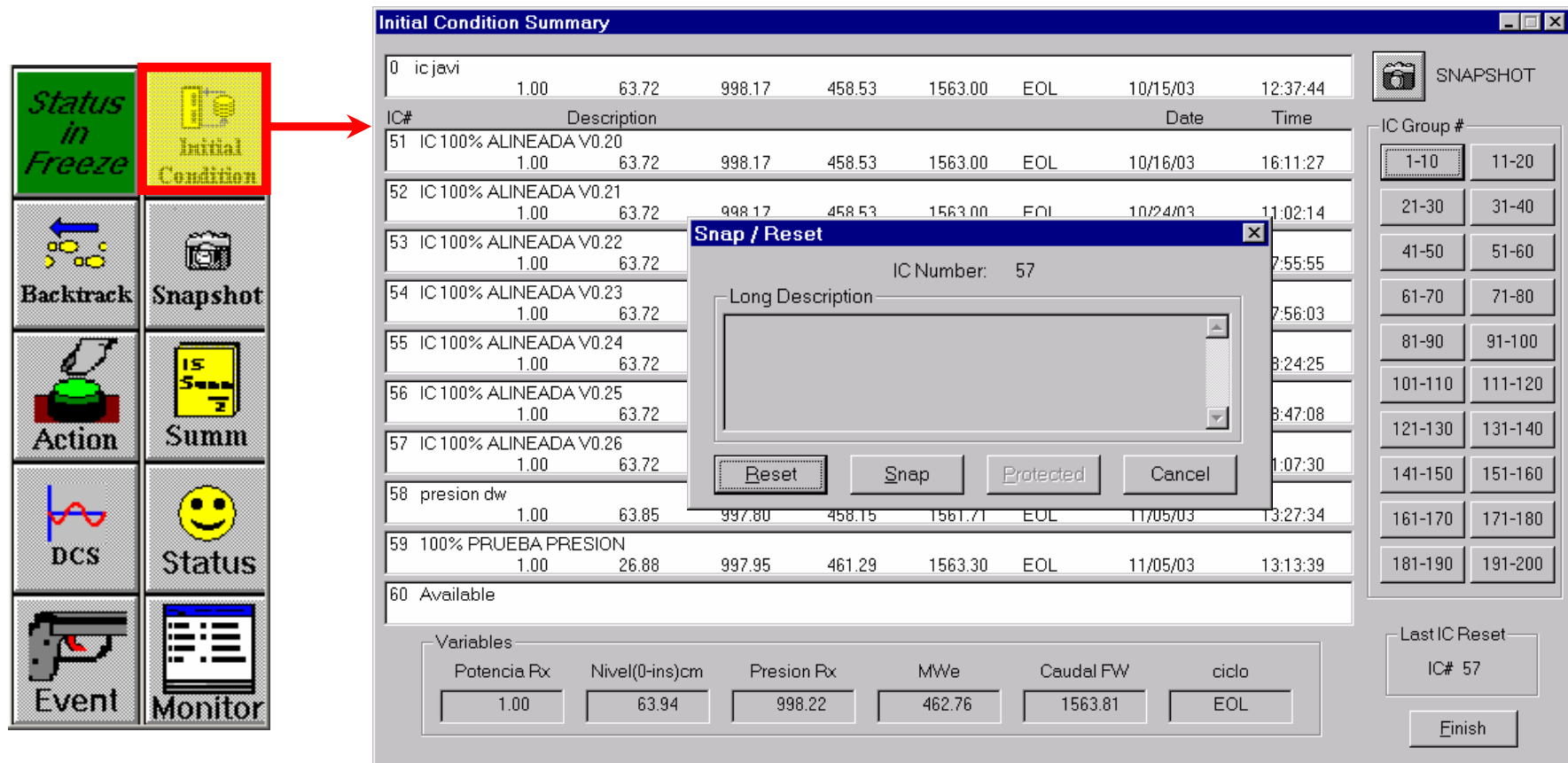


Estados del simulador



Condiciones Iniciales

- Hasta 200 condiciones iniciales. Password



IC#	Description	Date	Time
0	icjavi		
51	IC 100% ALINEADA V0.20	10/16/03	16:11:27
52	IC 100% ALINEADA V0.21	10/24/03	11:02:14
53	IC 100% ALINEADA V0.22		7:55:55
54	IC 100% ALINEADA V0.23		7:56:03
55	IC 100% ALINEADA V0.24		8:24:25
56	IC 100% ALINEADA V0.25		8:47:08
57	IC 100% ALINEADA V0.26		11:07:30
58	presion dw	11/05/03	13:27:34
59	100% PRUEBA PRESION	11/05/03	13:13:39
60	Available		

Variables

Potencia Rx	Nivel(0-ins)cm	Presion Rx	MWe	Caudal FW	ciclo
1.00	63.94	998.22	462.76	1563.81	EOL

-
-
-

Condiciones Iniciales - Switchcheck

Switch Check

- 904 53 PIC-1290
- 904 137B FC-205-
- 905 224 C-262-22
- 904 51 TIC-4-1
- 905 215 M/AS-6
- 904 53 PIC-1290-2
- 903 66 RESV-2340-12
- 904 50 C-1290-18

Override

Vuelta atrás

#	Potencia	Nivel RPV	Presion	MWe	Caudal	Time
44	0.00	506.10	0.00	997.66	1560.93	-> (00:38:00)
45	0.00	506.10	0.00	997.64	1560.85	-> (00:39:00)
46	0.00	506.10	0.00	997.62	1560.78	-> (00:40:00)
47	0.00	506.10	0.00	997.61	1560.41	-> (00:41:00)
48	0.00	506.10	0.00	997.59	1560.29	-> (00:42:00)
49	0.00	506.10	0.00	997.56	1560.23	-> (00:43:00)
50	0.00	506.10	0.00	997.55	1560.24	-> (00:44:00)
51	0.00	506.11	0.00	997.52	1559.79	-> (00:45:00)
52	0.00	506.11	0.00	997.51	1559.78	-> (00:46:00)
53	0.00	506.11	0.00	997.50	1558.97	-> (00:47:00)
54	0.00	506.11	0.00	997.48	1559.57	-> (00:48:00)
55	0.00	506.12	0.00	994.14	1540.94	-> (02:55:00)
56	0.00	506.12	0.00	994.12	1540.63	-> (02:56:00)
57	0.00	506.12	0.00	994.07	1540.66	-> (02:57:00)
58	0.00	506.12	0.00	994.04	1540.48	-> (02:58:00)
59	0.00	506.12	0.00	994.00	1540.31	-> (02:59:00)

Guardar estado



Initial Condition Summary

IC#	Description	Date	Time
0	SNAPSHOT From Control Panel	11/20/03	20:50:32
41	IC100% ALINEADA V0.12	08/21/03	09:19:25
42	IC100%. V0.12. Alineada en Simulador.	08/21/03	15:35:28
43	IC100% ALINEADA V0.13	08/39/09	
44	IC100% ALINEADA V0.14	10:17:40	
45	IC100% ALINEADA V0.15	13:40:03	
46	IC100% ALINEADA V0.15 2 min	14:15:13	
47	IC100% ALINEADA V0.16	14:56:14	
48	IC100% ALINEADA V0.17	14:06:23	
49	IC100% ALINEADA V0.18	12:45:21	
50	IC100% ALINEADA V0.19	11:45:48	

Variables

Potencia Rx	Nivel(0-ins)cm	Presion Rx	MWe	Caudal FW	ciclo
0.99	63.80	996.37	459.81	1553.16	EOL

SNAPSHOT

IC Group #

1-10	11-20
21-30	31-40
41-50	51-60
61-70	71-80
81-90	91-100
101-110	111-120
121-130	131-140
141-150	151-160
161-170	171-180
181-190	191-200

Last IC Reset

IC# 58

Finish

Snap / Reset

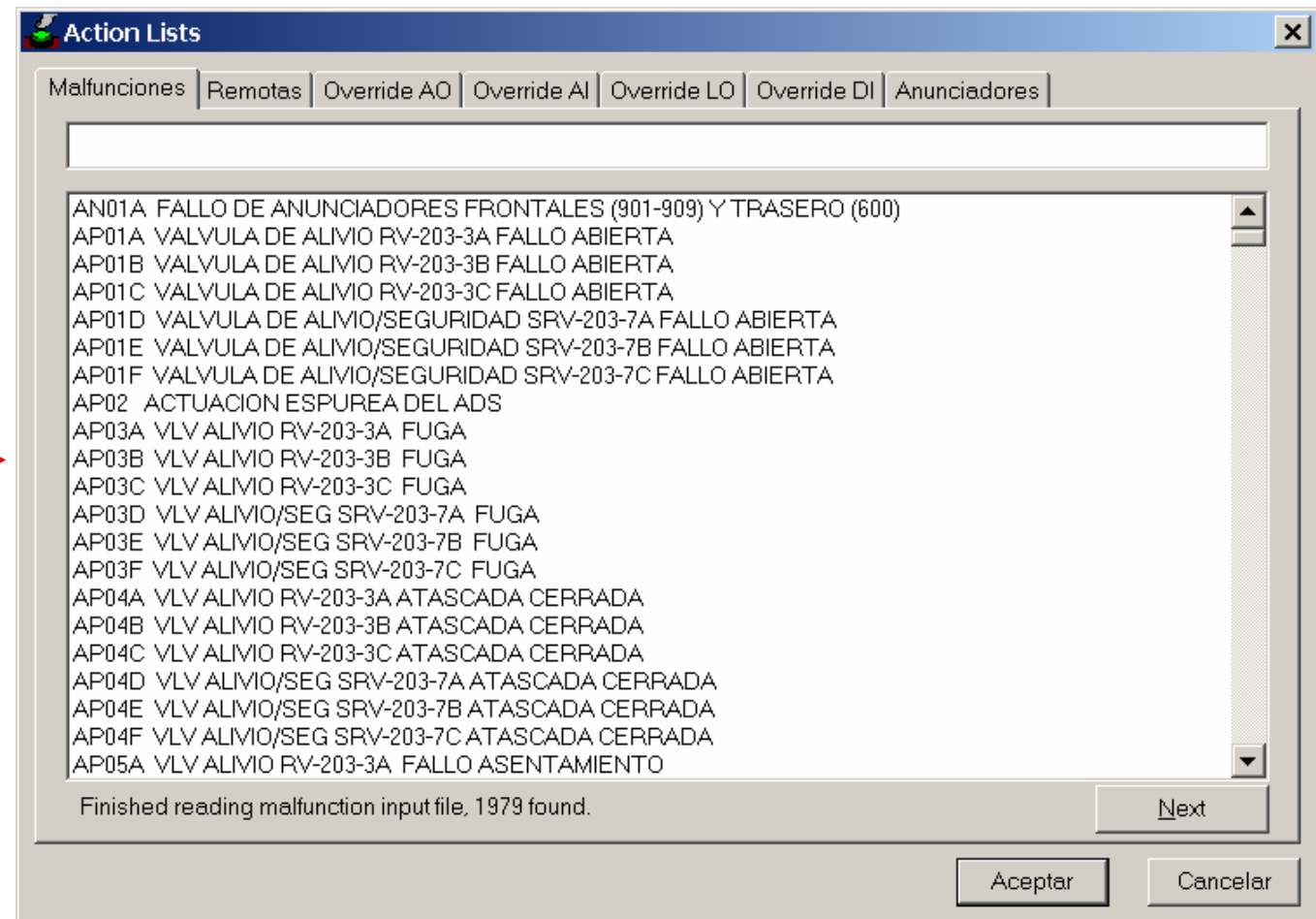
IC Number: 0

Long Description

Reset Snap Protected Cancel

-
-
-

Acción



-
-
-
-
-
-
-
-

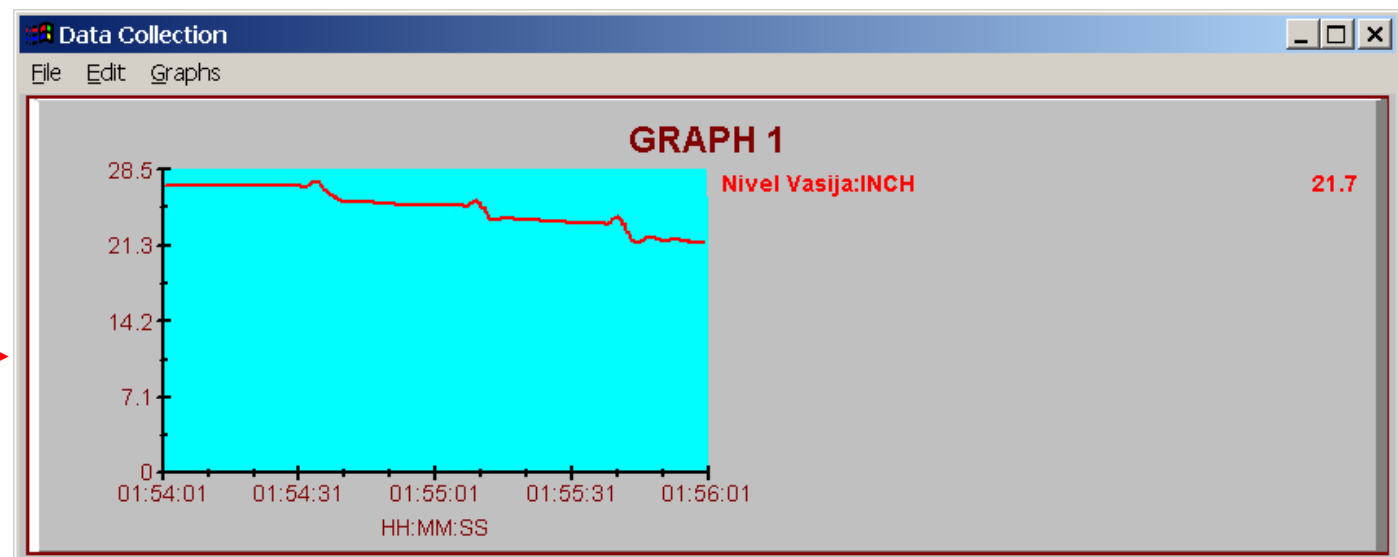
-
-
-

Resumen de acciones de instructor

	Description	Delay	Ramp	Event	Value	Final	Insert Time
Malfunction	AP01A VALVULA DE ALIVIO RV-203-3A FALLO ABI	00:00:00	00:00:00	None	FALSE	TRUE	00:00:00
	PR01A LOCA DESCARGA BBA.A RECIR	00:00:00	00:00:00	None	0	100	00:00:00
Remotes	ED01 DISPARO INTERRUPTOR 52A/SUT	00:00:00	00:00:00	None	nml	disparo	00:00:00
Overrides	925 - 25 - TIS-11-7D	0-100 °C	IND		00:00:00	00:00:00	None

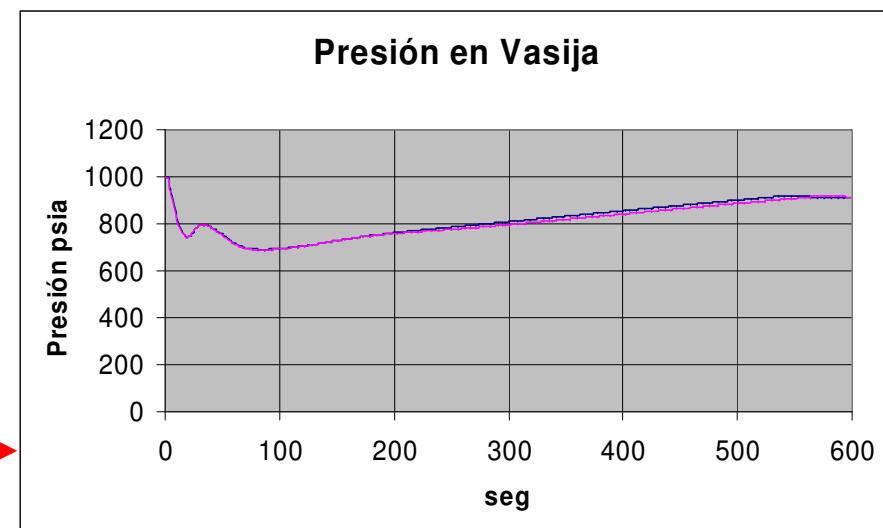
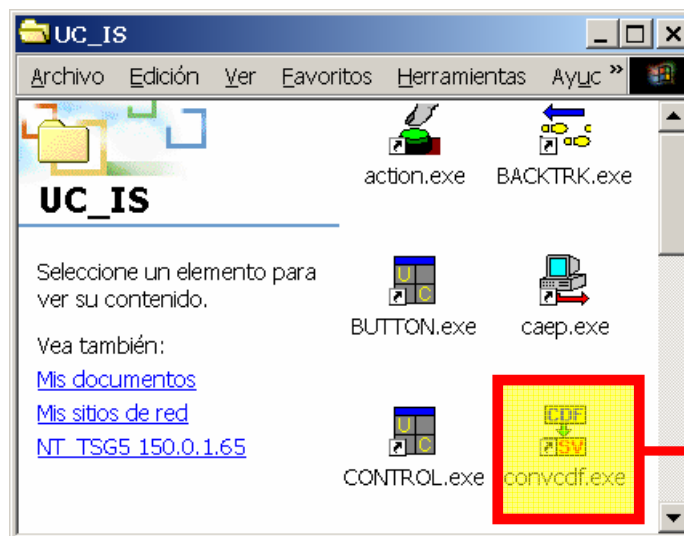
-
-
-

Gráficas de variables en tiempo real



Gráficas de variables en tiempo real

- **Conversión a formato Excel**



-
-
-

Límites de la simulación

The image shows a software interface for a simulation. On the left is a vertical toolbar with icons for various simulation functions: 'Status in Freeze' (green background), 'Initial Condition' (cylinder icon), 'Backtrack' (blue arrow), 'Snapshot' (camera icon), 'Action' (hand holding a green object), 'Summ' (yellow background with '15 Summ 2'), 'DCS' (red and blue wave), 'Status' (yellow background with a smiley face, highlighted with a red box and a red arrow pointing to the right), 'Event' (gun icon), and 'Monitor' (screen icon).

On the right is a window titled 'Simulator Status' with a blue header and standard window controls. It contains a list of simulation parameters, each preceded by a green square icon:

- Pres. Cont.Primaria > 5.71 kg/cm²
- Pres. Vasija Rx > 105.48 kg/cm²
- T.Varilla Combustible > 1204.44 °C
- Temp. Piscina Supr.> 130 °C
- Condicion disponible 5
- Condicion disponible 6
- Condicion disponible 7
- Condicion disponible 8
- Condicion disponible 9
- Condicion disponible 10

At the bottom of the 'Simulator Status' window is a button labeled 'Finish'.

Activación de acciones



Event Triggers

Event# 1 Event Action rrp dome < 1000

Command imf ap04a

Accept New Event Finish

#	Action
1	rrp dome < 1000
2	Available
3	Available
4	Available
5	Available
6	Available
7	Available
8	Available
9	Available
10	Available
11	Available
12	Available
13	Available
14	Available
15	Available
16	Available

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

TRUE
 FALSE

-
-
-

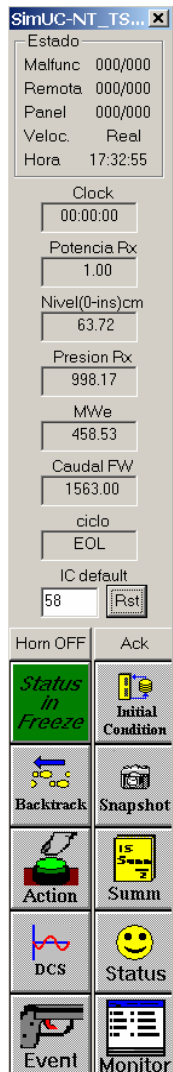
Monitor de variables

The screenshot shows the SimUC software interface. On the left is a vertical menu with icons for various functions: Status in Freeze, Initial Condition, Backtrack, Snapshot, Action, Summ, DCS, Status, and Event. The 'Monitor' icon at the bottom is highlighted with a red box, and a red arrow points from it to the 'MON' window. The 'MON' window displays a table of variables and their values.

Line	Variable	Value	Unit	Description
1.	ede4162	4150.81	(null)	TENSION BARRA "B" 4.16 KV : V
2.	ed:t52cb	FALSE	(null)	RELE DISPARO INTERRUPTOR 52/C-B
3.	hv:cwp (1)	TRUE	(null)	RELE BOMBAS B-CWP-1,2
4.	hv:cwp (2)	FALSE	(null)	RELE BOMBAS B-CWP-1,2
5.				
6.				
7.				
8.				

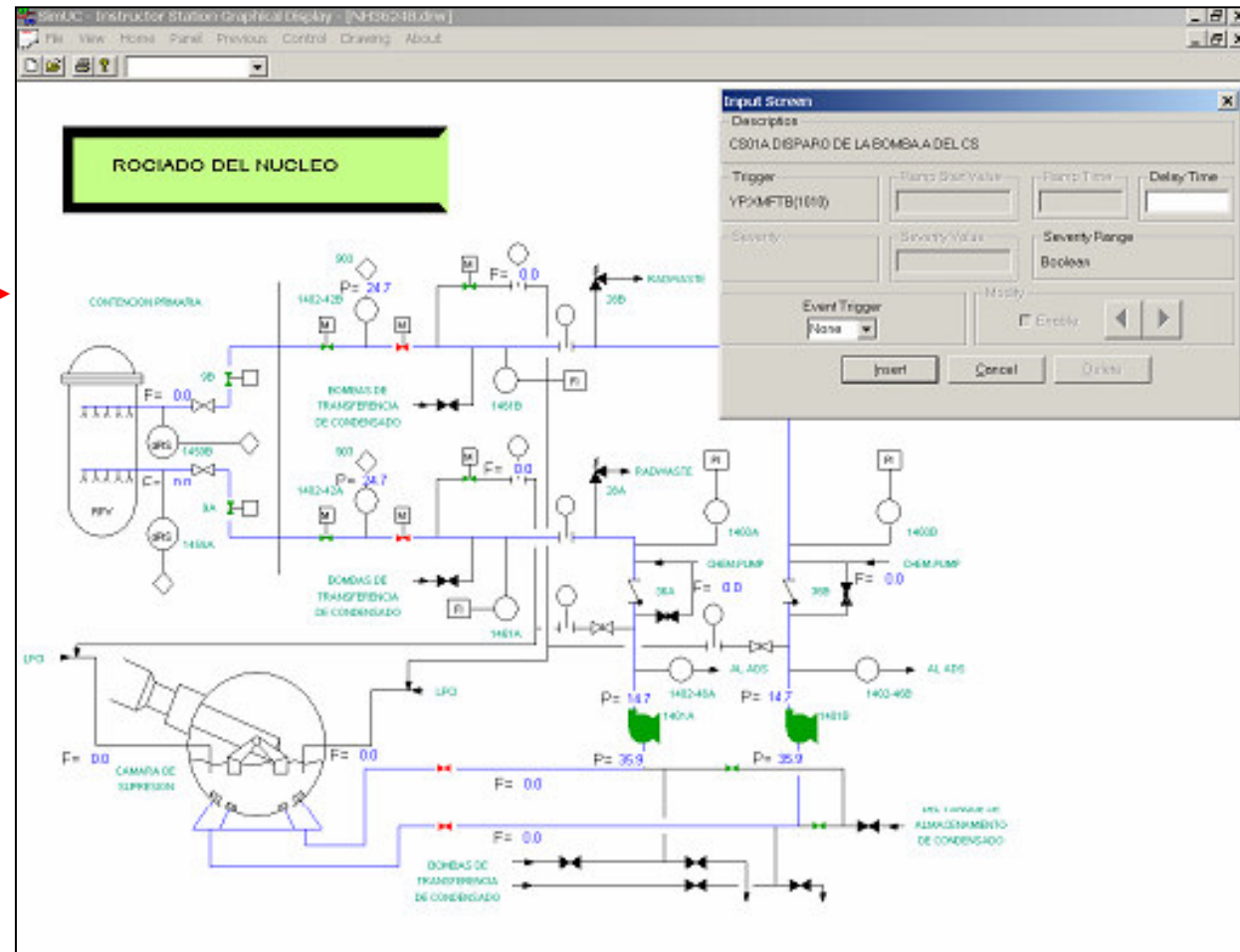
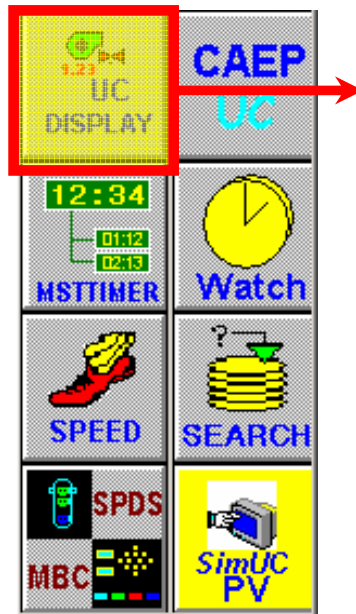
Below the table, there is an 'Input' field with a dropdown arrow, an 'Open' button, and 'Full Access' text. At the bottom of the window, there is a status bar showing 'FRZ', 'REAL', '00:00:00 [00]', and 'Ready'.

Otros botones



- Reinicio de la condición inicial
- Silenciamiento general de alarmas
- Inhibido el registro de acciones de los operadores

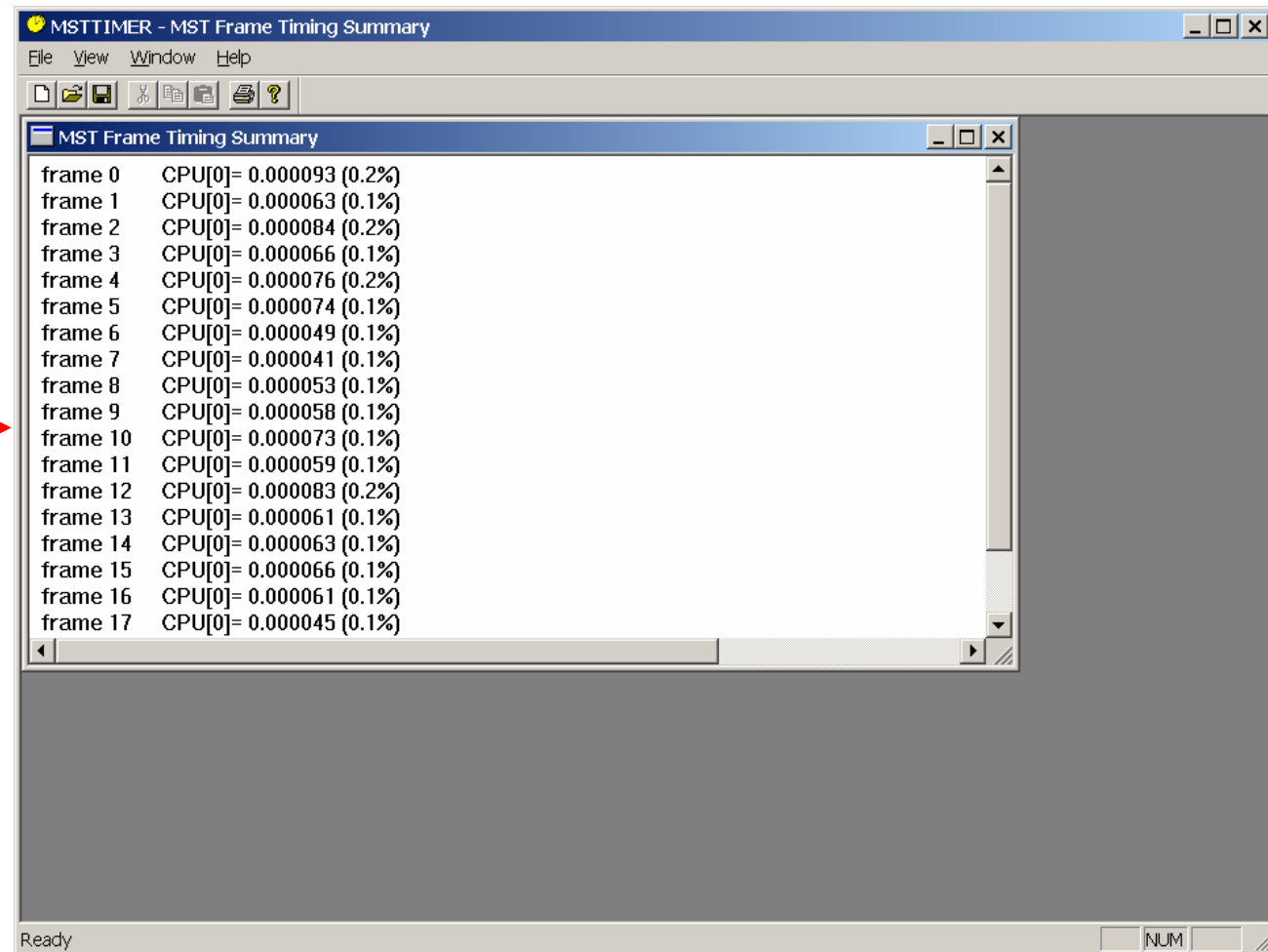
Control desde sinópticos y PIDs



Control desde sinópticos y PIDs

The screenshot displays the SimUC software interface for an electrical system. On the left, a sidebar contains several control icons: UC DISPLAY (highlighted with a red box), MSTIMER, Watch, SPEED, SEARCH, SPDS, MBC, and SimUC PV. The main window, titled 'SISTEMA ELECTRICO', shows a schematic diagram of an electrical system with various components like switches and relays. A central dialog box titled 'Input Screen' is open, showing configuration details for a component: '90836 - AI-90B-274B 0-400 AMPERIOS ESP'. The dialog includes fields for 'Variable' (778.1.1), 'Analog Value', 'Digital Value', 'Ramp Start Value', 'Ramp Time', 'Delay Time', 'Severity Range', and 'Event Trigger'. A blue double-headed arrow is visible at the bottom right of the main window.

Tiempos de frames y módulos



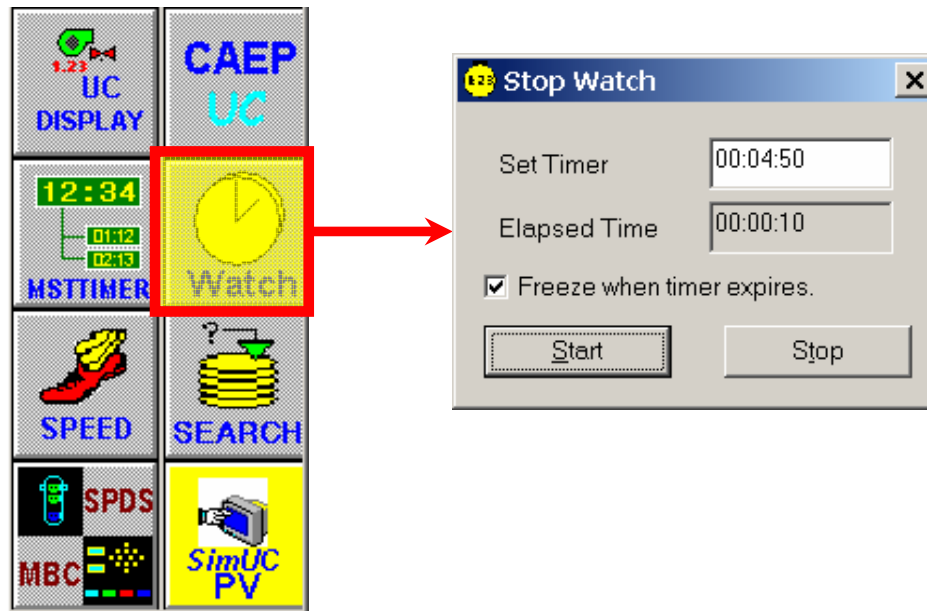
Tiempos de frames y módulos

The screenshot displays the 'MSTTIMER - MST Detailed Timing Summary' window. The main window shows a list of modules and their execution times in milliseconds (msec) relative to the frame cycle. The 'MSTTIMER' icon in the module palette is highlighted with a red box, and a red arrow points from it to the software window.

Module	Time (msec)	Percentage
CPU[0]		
FRAME 00[00]	0.092	(0.2% of cycle)
ISRAMP	0.009	(10.1% of frame)
VMSCHEDULER	0.002	(2.4% of frame)
SPEED	0.003	(2.7% of frame)
_SIMALARM	0.003	(3.4% of frame)
MT04RXD1	0.002	(2.4% of frame)
MT02HVLL	0.002	(2.4% of frame)
MT04RXD5	0.002	(2.4% of frame)
_ANFLASH4	0.002	(2.4% of frame)
MT02TULD	0.002	(2.4% of frame)
MT02NILB	0.002	(2.4% of frame)
MT04RRLL	0.002	(2.4% of frame)
MT04TCLD	0.002	(2.4% of frame)
MT02LDL1	0.002	(2.4% of frame)
MT04RML3	0.002	(2.4% of frame)
MT04EDLD	0.002	(2.4% of frame)
MT02SLLD	0.002	(2.4% of frame)
DICAPTUR	0.002	(2.4% of frame)

-
-
-

Cronómetro



Velocidad de ejecución

The image shows a software interface for a nuclear reactor simulation. On the left is a vertical menu with icons for various functions: UC DISPLAY, CAEP UC, MSTIMER, Watch, SPEED (highlighted with a red box), SEARCH, SPDS, MBC, and SimUC PV. A red arrow points from the 'SPEED' button to a 'Speed Control' dialog box. This dialog box contains several control panels: 'Slow Time' (1/factor: 2, Slow button), 'Fast Time' (Xenon: 1, Turbine Metal: 1, RCS: 1, Cond. Air Rem.: 1, Decay Heat: 1, East button), 'Master Annunciator' (Acknowledge, Reset buttons), 'Simulation Rate' (Real button), and 'Instrument' (Noise checkbox, Finish button).

Búsqueda en Base de Datos



SEARCH

Label String

Desc String

Execute

Label	Description
cl001	NIVEL TORO RANGO ESTRECH
cl002	NIVEL TORO CANAL A
cl003	NIVEL TORO CANAL B
cl008	NIVEL DE SUMIDEROS RX #A
cl009	NIVEL DE SUMIDEROS RX #B
cl010	NIVEL AGUA AREA CRD
cl011	NIVEL AGUA AREA HPCI
cl012	NIVEL AGUA AREA CS #A
cl013	NIVEL AGUA AREA CS #B
cl014	NIVEL AGUA CONT PRIMARIA
cplpscmb	NIVEL PISCINA COMBUSTIBLE:INCH
cpltkrb	NIVEL TNK-1909A/B DE REBOSE:INCH
cwlriver	NIVEL DEL RIO:FT
dgltagcd	NIVEL TANQUE ALMAC.COMUN
dgltb1	NIVEL TANQUE BASE GD 1
dgltb2	NIVEL TANQUE BASE GD 2
drthleds	TEMPORIZADO PARA ALTO NIVEL EQUIPOS
drthlids	TEMPORIZADO PARA ALTO NIVEL SUELOS
fi001	NIVEL POZO CALIENTE A

Finish

Comunicación SPDS/MBC

The image shows the SimUC software interface. On the left is a menu with several icons: UC DISPLAY, CAEP UC, MSTIMER, Watch, SPEED, SEARCH, SPDS (highlighted with a red box), and SimUC PV. A red arrow points from the SPDS icon to the 'SimUC - SPDS' window. The 'SimUC - SPDS' window displays a list of data points with columns for ID, value, and a scroll bar. The 'SimUC - MBC' window displays a list of data points with columns for ID, value, and a scroll bar.

ID	Value
1. cl001	4.90571
2. cl002	0.490571
3. cl003	0.490571
4. cl008	36.6710
5. cl009	36.6792
6. cl010	-1.50412
7. cl011	0.203986
8. cl012	0.302883
9. cl013	0.0559471
10. cl014	0.282347
11. cl015	4.90571
12. cp001	0.0106853
13. cp002	0.0106853
14. cp003	0.000748673
15. cp004	0.0107408
16. cp005	-3.72090
17. ct006	44.8976
18. ct007	44.9039
19. ct008	44.8850
20. ct009	44.8788
21. ct012	45.8611
22. ct013	45.8483
23. ct014	45.8419

ID	Value
1. rwmbe	0
2. rwmbe	0
3. rwmbe	0
4. rwmbe	0
5. rwmbe	0
6. rwmbe	0
7. rwmbe	0
8. rwmbe	0
9. rwmbe	0
10. rwmbe	0
11. rwmbe	0
12. rwmbe	0
13. rwmbe	0
14. rwmbe	0
15. rwmbe	0
16. rwmbe	0
17. rwmbe	0
18. rwmbe	0
19. rwmbe	0
20. rwmbe	0
21. rwmbe	0
22. rwmbe	0
23. rwmbe	0
24. rwmbe	0

-
-
-

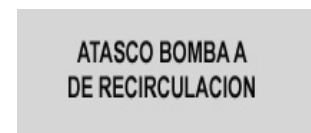
Control de paneles virtuales

-
-
-
-
-
-
-
-

-
-
-

Usos novedosos del simulador

- **Control del simulador desde aplicaciones MS Office (Word, Excel, Power Point) y páginas Web (MS IExplorer).**
- **Consola de Instructor wireless.**
- **Entorno permite que cualquier persona use el simulador para otros fines no relacionados directamente con la formación de los operadores (ingeniería, cambios de diseño, procedimientos específicos, etc.)**



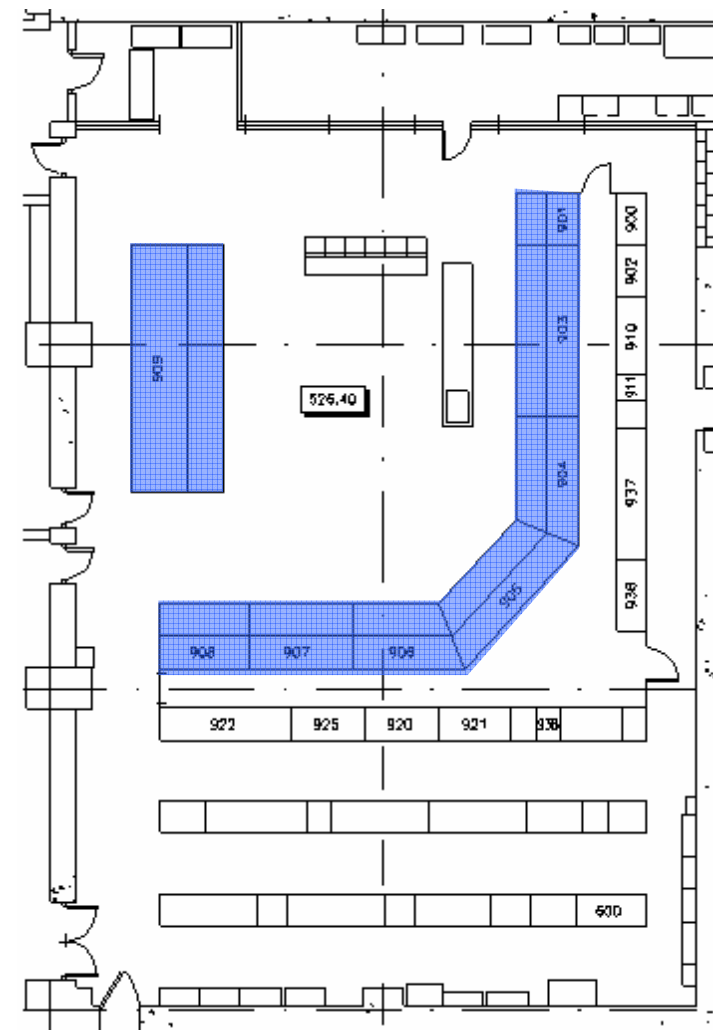
-
-
-
-
-
-

Fidelidad funcional

Paneles simulados

Paneles frontales:

- PNL 901
 - Instrumentación de rango de accidente
- PNL 903
 - Sistemas de Emergencia
- PNL 904
 - Recirculación, Clean-up, Shutdown
- PNL 905
 - Control del Reactor
- PNL 906
 - Agua de Alimentación y Condensado
- PNL 907
 - Turbina y Generador
- PNL 908
 - Barras Eléctricas y Generadores Diesel
- PNL 909
 - Interconexión eléctrica con el exterior



-
-
-

Paneles simulados - frontales



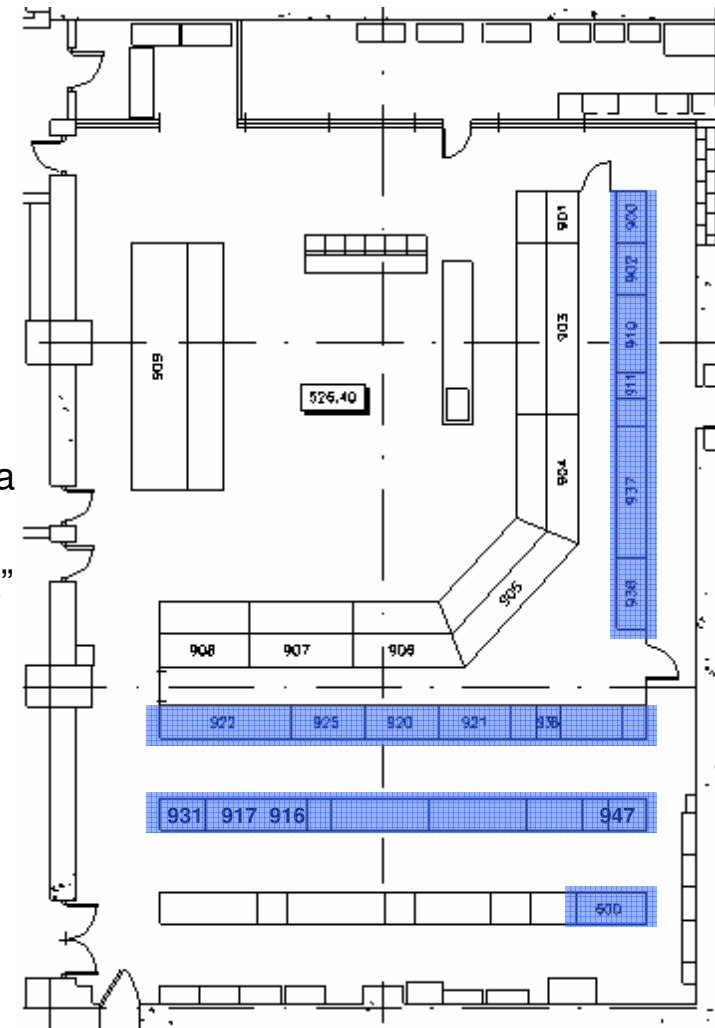
Simulador Réplica de CN Garoña - SimUC

-
-
-
-
-
-
-
-

Paneles simulados

Paneles traseros:

- PNL 600- Off-Gas.
- PNL 900- Control de la radiación en áreas y en proceso
- PNL 902- Control de la radiación en áreas y en proceso
- PNL 910- Control de la radiación de proceso
- PNL 911- Control de la radiación en áreas
- PNL 916- Prueba de tiempos de scram
- PNL 920- Control de temperatura de la Contención Primaria
- PNL 921- Control de temperatura en áreas de vapor
- PNL 922- Relés de bloqueo y rearme de lógicas del tren "A" "B"
- PNL 925- SBTG
- PNL 931- Registradores de potencia del Generador y Transformadores.
- PNL 936- Monitores de seguimiento del flujo neutrónico
- PNL 937- Monitores de seguimiento del flujo neutrónico
- PNL 947- Control de niveles en separadores de humedad.



-
-
-

Paneles simulados - traseros



-
-
-
-
-
-
-
-

Paneles simulados

Panel parada remota:

- PNL 3030
- PNL 3020
 - Válvulas de alivio
 - Condensador de aislamiento
 - Rociado del núcleo (lazo B)
 - Transferencia de condensado (bomba B)
 - LPCI modo refrigeración de contención y agua de servicios del LPCI (lazo B)
 - Corriente alterna de emergencia de 4.16 KV y 400 V (división B)
 - Sistema de vapor principal
 - Instrumentación de la vasija del reactor (lazo B)



Sistemas simulados

- ◆ NSSS (Nuclear Steam Supply System)
 - FDW Sistema de condensado y agua de alimentación
 - FDWC Sistema de control de agua de alimentación
 - MS Sistema de vapor principal y extracciones.
 - RECIR Sistema de recirculación
 - CRD Sistema de accionamiento de barras de control
 - CUD Sistema de purificación del agua del reactor

Sistemas simulados

◆ Núcleo

- NMS Sistema de medida del flujo neutrónico
- RMCS Sistema de control manual de reactor
- RPS Sistema de protección del reactor
- RPVI Sistema de instrumentación de vasija
- RX Sistema de la vasija del reactor

Sistemas simulados

- ◆ Contención (primaria y secundaria)
 - CP Sistema de contención primaria
 - DRW Drenajes de suelos al radwaste
 - HVAC-DW Sistema de ventilación del drywell
 - HVAC-OG Sistema de ventilación del edificio del off-gas
 - HVAC-RX Sistema de ventilación del edificio del reactor
 - ACS Sistema de Control Atmosférico
 - OG Sistema de tratamiento de gases
 - ARMS Sistema de vigilancia de radiación de áreas
 - PRMS Sistema de vigilancia de radiación de procesos
 - SBGT Sistema de reserva de tratamiento de gases

Sistemas simulados

◆ Turbina

- HDV Sistema de drenajes y venteos de calentadores
- MS Sistema de vapor principal y extracciones.
- TURB Sistema de control de turbina

◆ Sistemas de apoyo al operador

- MBC Movimiento de barras y RWM
- SPDS

Sistemas simulados

◆ Sistemas de Emergencia

- ADS/MDS Sistema de depresurización automática y manual
- CS Sistema de rociado del núcleo
- HPCI Sistema de inyección de agua a alta presión
- IC Sistema del condensador de aislamiento
- LPCI Sistema de inyección de agua a baja presión

- ARI/RPT Sistema de inserción alternativa de barras control y disparo bbas.recirculación.
- SBLC Sistema de control por líquido de reserva

Sistemas simulados

◆ Sistema Eléctrico

- AC/120 Sistema de Corriente Alterna de 120 V.
- AC/400 Sistema de Corriente Alterna de 400 Y 220 V.
- AC/4160 Sistema de Corriente Alterna de 4160 V.
- AC/DG Sistema de Generadores Diesel
- AC/EG Sistema del Generador
- AC/ES Sistema de Subestación
- DC Sistema de Corriente Continua

Sistemas simulados

◆ Sistemas auxiliares (I)

- CW Sistema de agua de circulación
- DWS Sistema de agua desmineralizada
- FPC Sist. Enfriamiento y filtrado piscina de combustible gastado
- HDV Sistema de drenajes y venteos de calentadores
- IA Sistema de aire de instrumentos
- SA Sistema de aire de servicios
- RBCCW Sistema de refrigeración en c. cerrado del edif. del Rx.

Sistemas simulados

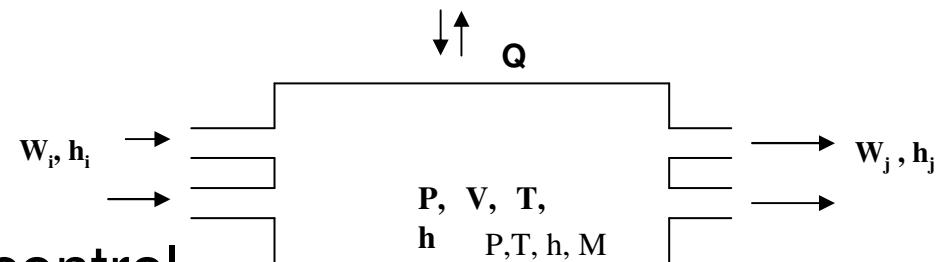
- ◆ **Sistemas auxiliares (II)**
 - RHCS Sistema de refrigeración de la tapa de la vasija
 - RW Sistema de desechos radiactivos
 - SHC Sistema de enfriamiento del reactor en parada
 - SW Sistema de agua de servicios
 - PCI Sistema de protección contra incendios
 - PPR Panel de parada remota
 - Alarmas
 - Megafonía

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

◆ Termohidráulicos

- principios de conservación (masa, energía, momento),
- leyes generales de la física,
- correlaciones de ingeniería



◆ Aplicación a volumen de control

- W_i, W_j , caudales másicos
- h_i, h_j , entalpías específicas de entrada y salida del fluido
- Q representa el intercambio de energía con el exterior mediante conducción, convección o radiación a través de sus paredes
- P, V, T y h son respectivamente la presión, el volumen, la temperatura y la entalpía del fluido en el propio volumen de control.

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Balance de la energía en el volumen de control

$$\frac{d(Mu)}{dt} = \sum_i W_i h_i - \sum_j W_j h_j - Q$$

- Se puede simplificar $u \approx h$

♦ Transferencia de calor Q

$$Q = U.A.\Delta T$$

- UA coeficiente global de transferencia de calor entre los dos fluidos
- ΔT diferencia entre las temperaturas medias del fluido del lado primario y el lado secundario

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

- ♦ **Conservación de la masa en el volumen de control**

$$\frac{dM}{dt} = \sum_i W_i - \sum_j W_j$$

- ♦ **Nivel en un volumen control**

$$L = \frac{M}{A(L) \cdot \rho}$$

- A(L) área de la sección transversal media del volumen de control
- ρ densidad del líquido

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

- ♦ **Presión en el volumen de control ocupado por vapor o gas, a partir de la ecuación del balance de masa**

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial \rho_h} \left[\frac{1}{V} \left(\sum_i W_i - \sum_j W_j \right) - \frac{\partial \rho}{\partial h_p} \cdot \frac{dh}{dt} \right]$$

- ♦ **Caudales a través de tuberías que conectan volúmenes de control**

$$W = C N \rho^{-\frac{1}{2}} (P_1 - P_2)^{\frac{1}{2}}$$

- P_1 y P_2 presiones aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.
- C coeficiente de pérdida de carga de la línea entre P_1 y P_2 .
- ρ densidad media del líquido
- N posición normalizada de la válvula, si existe

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Caída de presión en una válvula

$$\Delta P = \frac{w^2}{K \cdot S^2}$$

- w Caudal
- K Constante
- S Posición normalizada de la válvula. Admite variación lineal ó polinómica.

♦ Línea equivalente de líneas en serie o en paralelo

$$C = \sum_i C_i \quad \text{asociación paralelo}$$

$$\frac{1}{C^2} = \sum_i \frac{1}{C_i^2} \quad \text{asociación serie}$$

- C_i conductancia de la línea

Modelos matemáticos de los sistemas

- ♦ **Curva característica de una bomba (ΔP vs. Caudal), se representan mediante polinomios de 2º grado:**

$$\Delta P = a_1 \cdot n + a_2 \cdot w + a_3 w^2$$

- ΔP presión diferencial
- a_1, a_2, a_3 coeficientes que definen la curva de la bomba obtenidos a partir de los datos del fabricante
- n velocidad de la bomba normalizada
- w caudal másico

Incluye modelo de cavitación.

La relación entre la velocidad de la bomba y su curva característica se representa mediante una familia de curvas que dependen de la velocidad.

Modelo simplificado de bomba: caudal constante y se aplica sobre el criterio de la lógica de arranque/parada de la misma.

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

- ♦ **Corriente de una bomba calculada a partir de las potencias consumidas por el motor**
- ♦ **Caso de interruptor cerrado**

$$HP = (1 - \omega).HP_{RL} + W.HP_{SS}$$

- ♦ **Caso de interruptor abierto**

$$HP = 0$$

- HP_{SS} potencia consumida por el motor en estado estacionario, obtenidas de las curvas aportadas por el fabricante. Las correcciones por velocidad y densidad son tenidas en consideración.
- HP_{RL} potencia consumida por el motor cuando el rotor del mismo está bloqueado
- ω velocidad normalizada del eje

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Modelo de Descarga

- Flujo crítico según modelo de Moody (líquido, vapor, bifásico).
- Modelo Bernoulli.

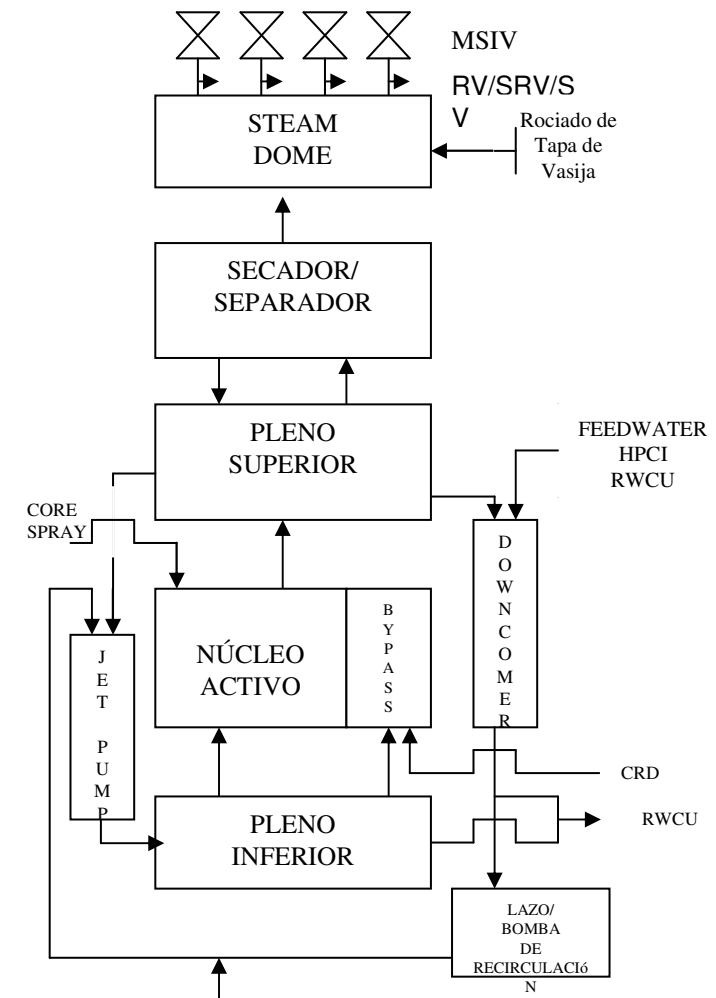
♦ Radiación

- Operación normal: niveles de actividad (cps) acordes con los observados en la planta. Modelo caudal / actividad.
- El instructor puede introducir malfunciones que permitan variar los niveles de radiación (alto – bajo, por instrumento y por zona).
- Simulados todos los ARMs, PRMs.

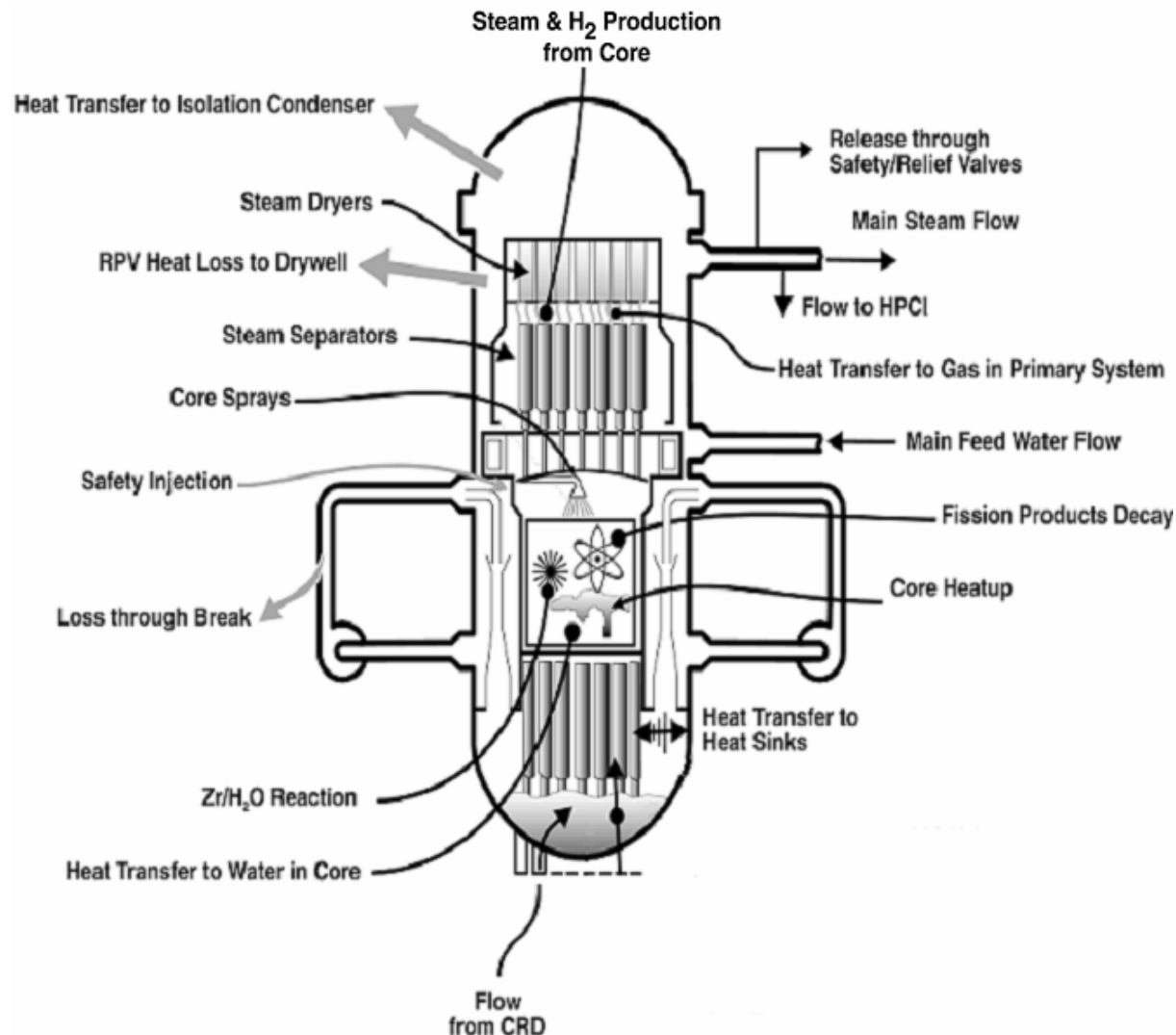
Modelos matemáticos de los sistemas

◆ Sistema Generador de Vapor Nuclear (NSSS)

- Incluye la representación de todos los modelos necesarios para cubrir la operación desde Parada Fría hasta operación a Plena Potencia.
- Utilización de las ecuaciones fundamentales de la termohidráulica y la neutrónica que permitan describir el proceso físico simulado.
- Modelo de no equilibrio en pleno superior, secador/separador y steam dome.
- Núcleo en saturación.



Modelos matemáticos de los sistemas



Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Núcleo

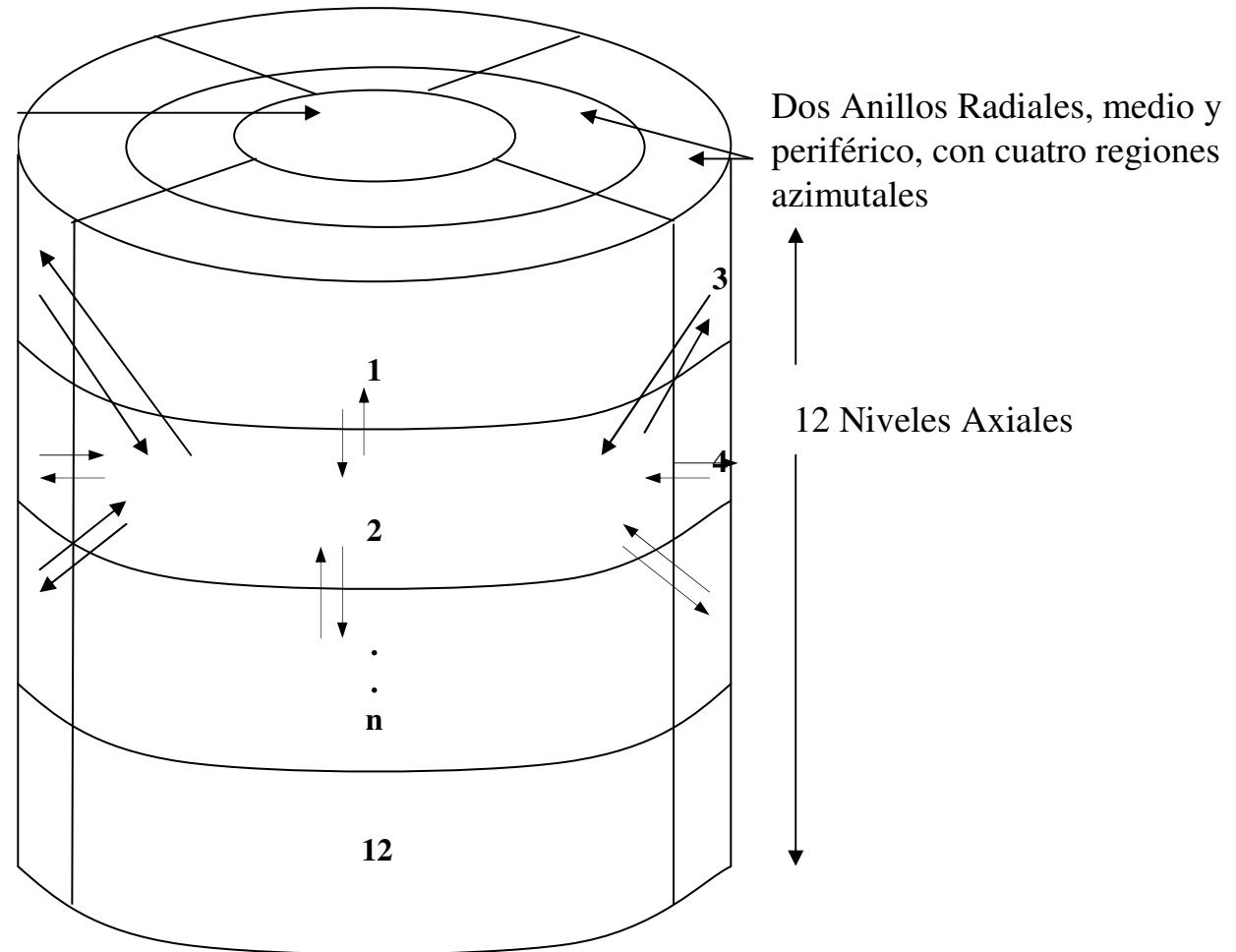
- Modelo hidráulico constituido por 12 niveles axiales.
- Modelo nuclear tiene incorporado un modelo cinético de malla ancha conformado por 108 regiones, (12 niveles axiales, 2 regiones radiales con 4 regiones azimutales y un anillo radial central) para obtener respuestas a perturbaciones en tiempo real.
- Los nodos cinéticos están interconectados mediante coeficientes de acoplamiento.
- El modelo contempla las realimentaciones de reactividad como el efecto del movimiento de barras en cada uno de los nodos cinéticos.
- El comportamiento cinético en los nodos acoplados define cual es la distribución de potencia en el núcleo.
- La potencia total del reactor se define a partir de el cambio neto de reactividad.
- La distribución de potencia axial en el núcleo se determina para cada columna de nodos radiales mediante desarrollos de Fourier.

-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

◆ Núcleo

Anillo Radial Central
sin división azimuthal



Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Núcleo

- Se calcula una distribución de temperatura en el combustible, vaina y moderador, a partir de la cual determina la temperatura nodal que permite obtener la reactividad por efecto Doppler y por temperatura de moderador.
- Se contempla los transitorios de Xenon, calculando para ello las concentraciones de Xenon y Yodo presentes en el núcleo. El efecto del Samario sobre la reactividad también se tiene en cuenta en el modelo, determinando para ello las concentraciones de Samario y Prometio.
- La fracción de huecos se calcula en cada uno de los nodos que conforman el núcleo, que permite obtener la reactividad por huecos en cada nodo.
- La potencia residual en el núcleo se determina a partir de un modelo en el que se consideran 11 familias de productos de fisión.



Modelos matemáticos de los sistemas

◆ Núcleo

- La ecuación de cinética utilizada por el simulador en su forma nodal es:

$$\frac{dn_i}{dt} = \frac{(\rho_i - \beta_T)}{\Lambda} \cdot n_i + \sum_j \lambda_j \cdot C_{ij} + S_i + \sum_l D_{il} \cdot (n_l - n_i)$$

- La ecuación de concentración de los precursores es de la forma

$$\frac{dC_{ij}}{dt} = \frac{\beta_j \cdot n_j}{\Lambda} - \lambda_j \cdot C_{ij}$$

n_i Densidad neutrónica en el nodo i

C_{ij} Concentración del precursor j en el nodo i

ρ_i Reactividad en el nodo i

Λ Tiempo de generación neutrónica

β_j Fracción producción neutrones retardados para el grupo de precursores j .

λ_j Constante de decaimiento para el grupo de precursores j

S_i Fuente de neutrones en el nodo i

n_l Densidad de neutrónica en el nodo l

D_{il} Coeficiente de acoplamiento que describe la tasa y magnitud del flujo neutrónico que se fuga desde el nodo i hacia el nodo l .





Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Sistema de Medida del Flujo Neutrónico (NMS)

- Permite la vigilancia del nivel de flujo neutrónico desde el arranque a la plena potencia y proporciona las señales automáticas de protección (bloqueo de movimientos de barras y disparo del reactor) en el caso de transitorios de potencia.
- El modelo simula las señales individuales de los LPRM generando la señal media de los LPRM en el nodo y teniendo en cuenta la posición de las barras de control presentes en ese nodo.
- Hay un total de 88 LPRMs, 22 canales radiales, “strings”, con 4 detectores por “string”. La generación de las señales se realiza mediante un modelo de malla fina, ajustable a los datos de planta.
- El modelo contempla la nueva distribución de APRMs instalada en planta durante la parada de 2003.



-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Sistema de Medida del Flujo Neutrónico (NMS)

- Ecuación de la lectura de los LPRM:

$$S_{LPRM} = \phi_{AXIAL} \cdot \phi_{RPD} \cdot K$$

Φ_{AXIAL} densidad de potencia axial en 1/12 de núcleo

Φ_{RPD} densidad de potencia radial normalizada (teniendo en cuenta los huecos y las barras locales).

$K = \Phi/VOLTS$ Factor de conversión.

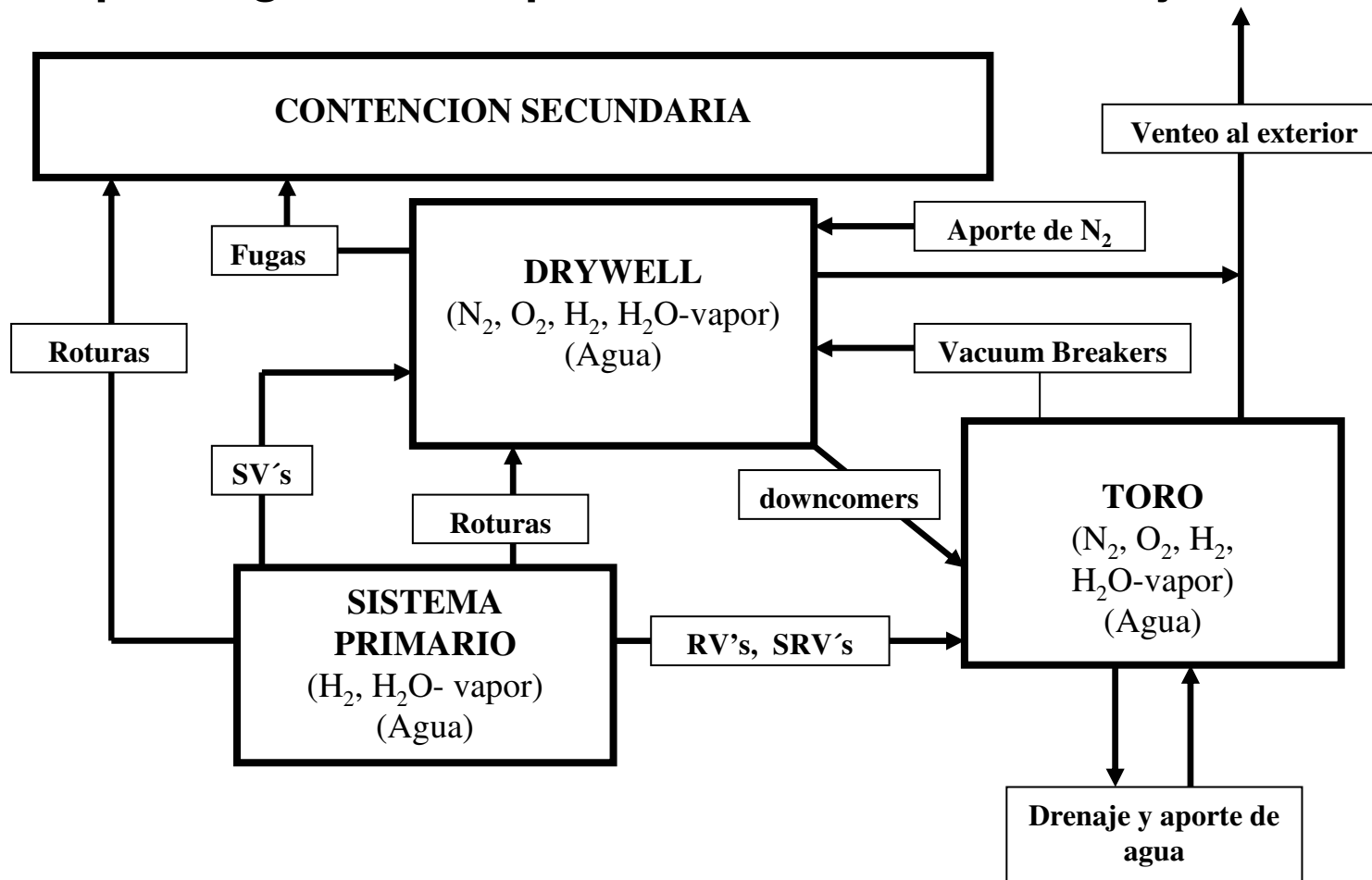
- Expresión de la señal de los APRM:

$$S_{APRM} = \frac{1}{N} \sum_{LPRM=1}^N S_{LPRM} + S_{ADJUST}$$

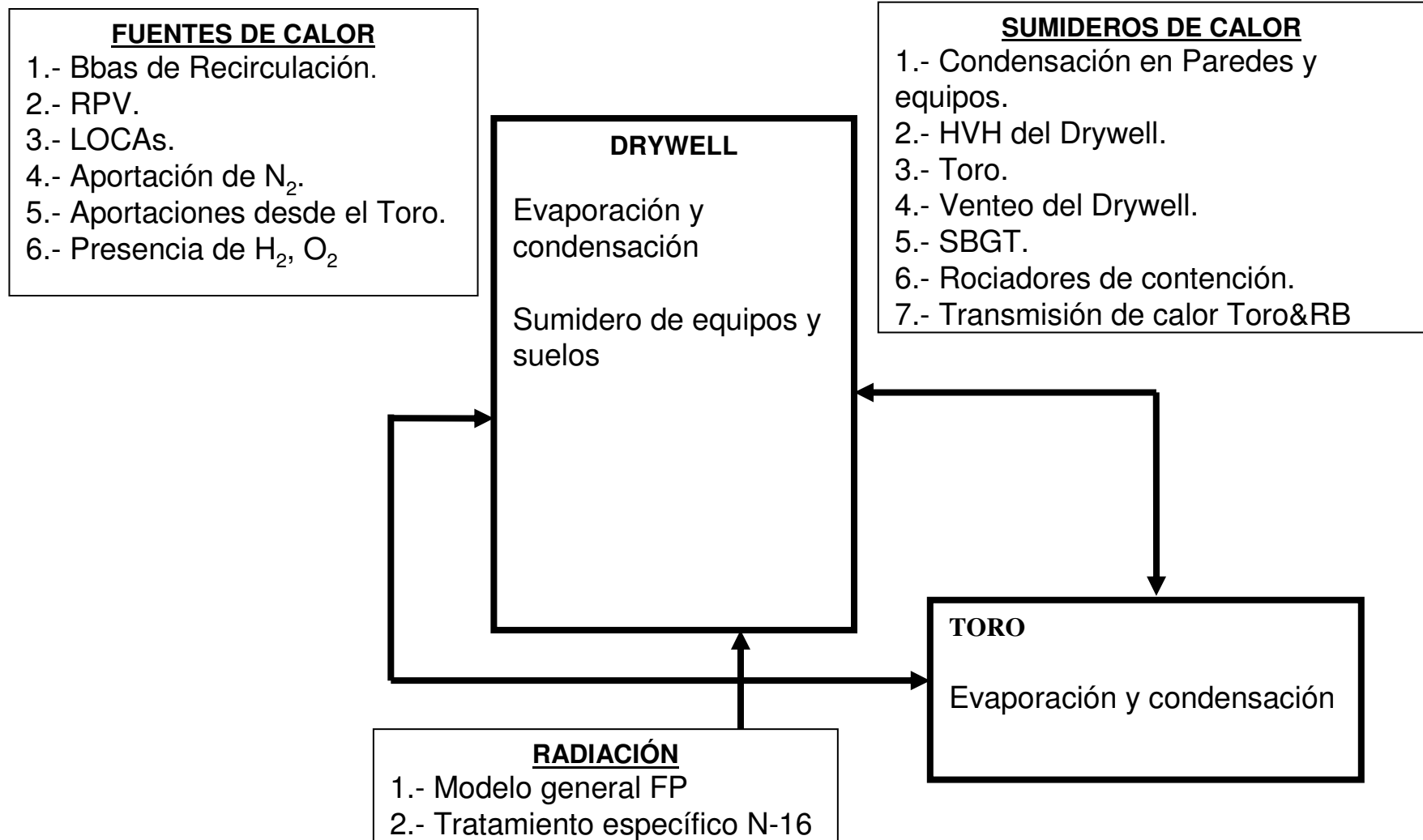
- Las señales de los medidores de rango de fuente (SRM) y rango intermedio (IRM) y TIP para cada uno de los canales, se calculan de forma análoga a los LPRMs.

Modelos matemáticos de los sistemas

◆ Esquema general simplificado de caminos de flujo



Modelos matemáticos de los sistemas



-
-
-

Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Circuitos Lógicos de Control

- Conversión de CWD simplificados y completos a esquemas lógicos (puertas AND, OR, timers, etc).
- Programación directa en Fortran. Validación modelos iniciales en Matlab.

♦ Controladores

- Mediante modelo general de control PID.



Modelos matemáticos de los sistemas

♦ Método de integración

- La respuesta dinámica de la planta se obtiene calculando, en función del tiempo, la solución de las ecuaciones diferenciales.

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y, t)$$

- La solución a las mismas se obtiene usando el método de integración de Euler. Solución explícita:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta t \cdot f(x_i, y_i, t_i)$$

- Límites de estabilidad para no divergencia

$$2 > -\Delta t \cdot \frac{\partial f}{\partial x} > 0$$

Δt en la mayoría de los modelos es 0.25 seg.



-
-
-

Diseño de los sistemas

- ◆ **Documentos Finales de Diseño – Índice común**
 - 1. INTRODUCCION
 - 1.1. Descripción del Sistema y Diagrama de Flujo (P&ID)
 - 1.2. Modos de Operación
 - 1.3. Referencias
 - 2. SISTEMA SIMULADO
 - 2.1. Limitaciones e hipótesis de Simulación
 - 2.2. Esquema del sistema simulado
 - 2.3. Malfunciones y Funciones Remotas
 - 2.4. Instrumentación en Sala de Control.
 - 2.5. Alarmas
 - 3. DISEÑO
 - 3.1. Lista de módulos y submódulos.
 - 3.2. Interacción de módulos y submódulos.
 - 3.3. Secuencia de ejecución de módulos.
 - 3.4. Descripción de los módulos y submódulos. Algoritmos y Ecuaciones Básicas
 - 3.5. Interacción entre sistemas.
 - 4. DICCIONARIO DE SIMBOLOS
 - 4.1. Diccionario de Software
 - 4.2. Diccionario de Hardware
 - 5. REFERENCIAS
 - ANEXO I
 - Diagramas de Flujo (P&ID)

DFD CS



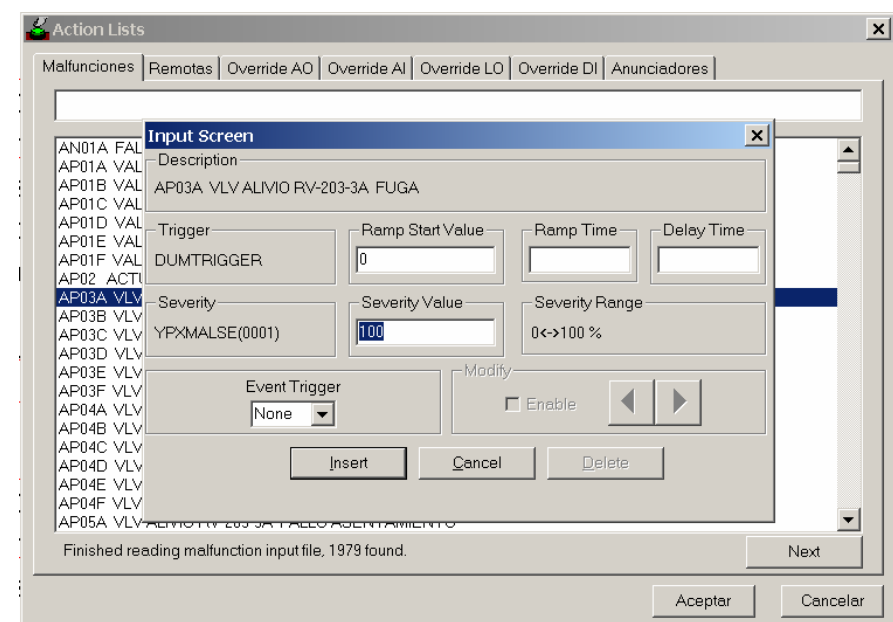
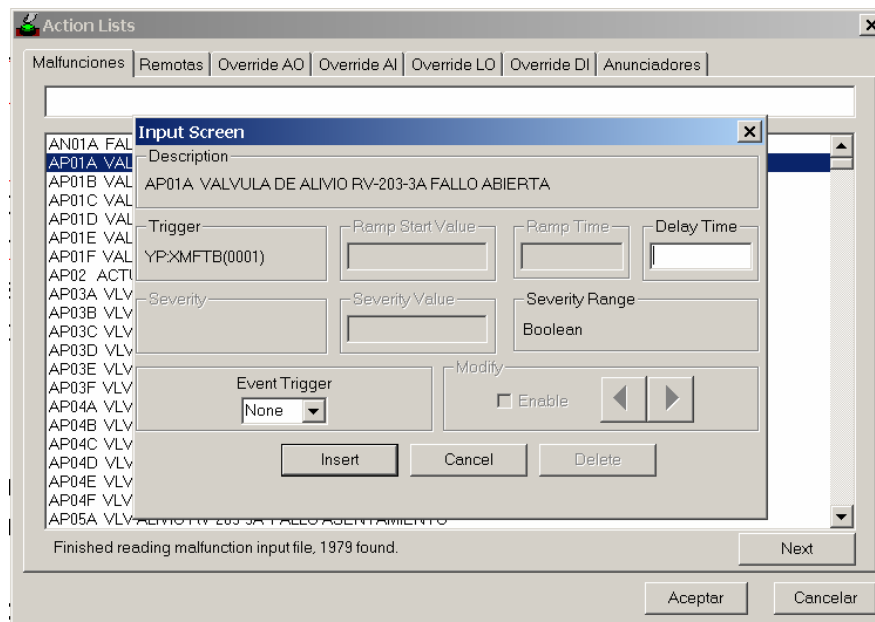
Malfunciones

- ◆ **Total malfunciones: 1979**
- ◆ **Malfunciones genéricas: 306**
- ◆ **Malfunciones validadas por Aceptación y Licenciamiento: 165**
- ◆ **Libro de Causas y Efectos**
- ◆ **Criterios de diseño y selección:**
 - Experiencias operativas (Garoña y Monticello)
 - APS
 - ANSI
 - FSAR
- ◆ **Adicionalmente se puede activar alarmas de forma espúrea en cualquier panalarm**



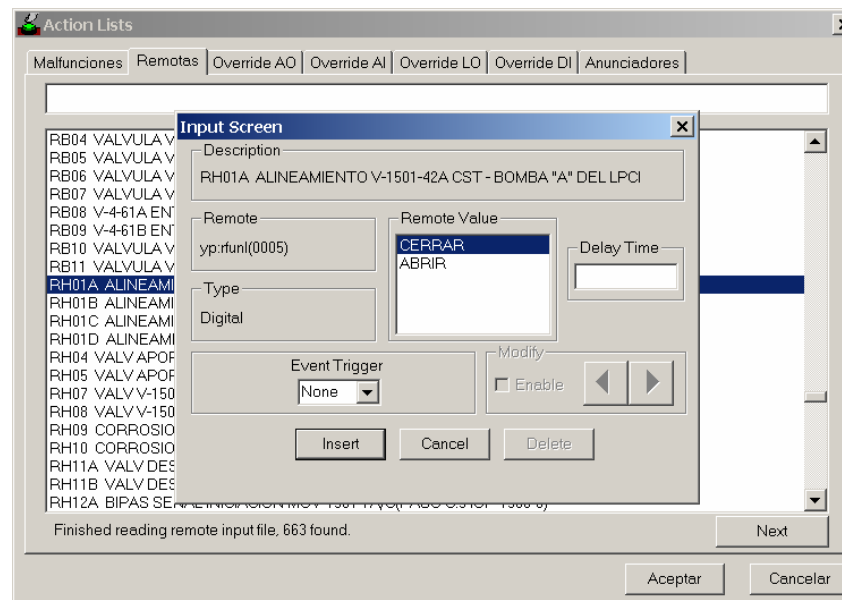
Malfunciones

- ◆ **Tipos de malfunciones:**
 - Digitales.
 - Analógicas.
- ◆ **Introducción desde consola instructor:**
 - Action, Display, Monitor, CAEP, Event



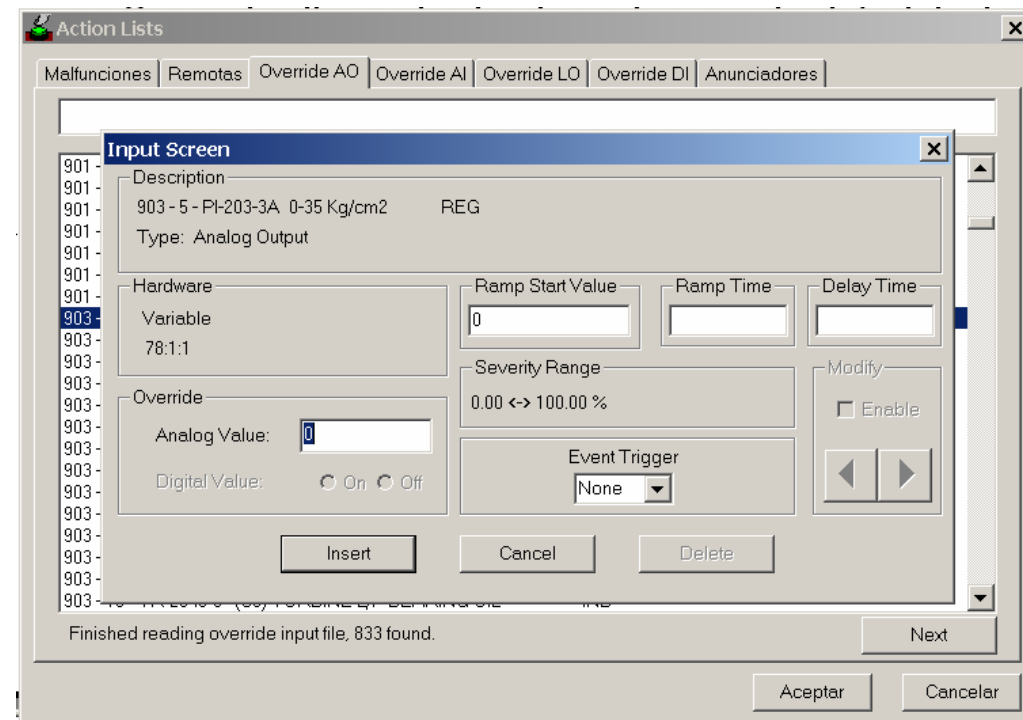
Acciones remotas

- ◆ Total acciones remotas: 663
- ◆ Criterios de diseño:
 - IOP, IOG, PV, POA, solicitud del Instructor
- ◆ Tipos de acciones remotas:
 - Digitales.
 - Analógicas.



Alteraciones de hardware

- ♦ Se puede alterar el valor de cualquier entrada/salida de cada uno de las señales analógicas/digitales
- ♦ Tipos de alteraciones:
 - Digitales salida (LO)
 - Analógicas salida (AO)
 - Digitales entrada (DI)
 - Analógicas entrada (AI)
- ♦ Identificadas por:
 - Panel – Item - Función



-
-
-
-
-
-

Pruebas de Verificación y Validación

-
-
-

Pruebas de verificación

♦ Pruebas de Unidad

- Fichas de conexión SAT-Paneles de asociación de cada elemento del simulador con los modelos.

Fichas CS

Fichas ED

-
-
-

Pruebas de Integración

◆ **Funciones del simulador**

- Inserción de malfunciones y funciones remotas
- Vuelta atrás
- Cambio de condición Inicial
- Guardar estado
- Resumen de estado

◆ **Sistemas**

- Correcto comportamiento de los elementos del sistema
- Tiempos de apertura y cierre de válvulas
- Valores de los indicadores
- Respuesta de las alarmas
- Malfunciones y funciones remotas asociadas al sistema
- Pruebas más representativas del sistema utilizadas por Nuclenor (IOP, PV, POA, IOG)

-
-
-

Pruebas de Validación

- ◆ **No regresión y de tiempo real**

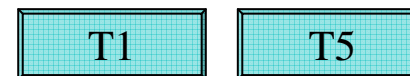
- Comprobación que no se ha producido una degradación de la configuración durante la integración completa del simulador (funcionalidad del simulador según las especificaciones de diseño) y que los modelos se comportan de manera adecuada en estado estacionario.

- ◆ **Estado estacionario**

- Al 100% de potencia

- ◆ **Orden superior**

- Transitorios ANSI-3.5-1998



-
-
-
-
-
-

Control de la Configuración

-
-
-

Fase de Desarrollo

Organización

- ◆ **Jefe de Proyecto**
- ◆ **Gestor de la Configuración**
- ◆ **Analistas**

Herramientas

- ◆ **MS Source Safe**
 - Código de simulación correspondiente a los modelos de los sistemas.
 - Documentos finales de diseño.
 - Fichas de configuración de elementos.
 - Libro de Causas y Efectos de las malfunciones.
 - Base de datos de las variables de los modelos.
 - Carga del simulador.

-
-
-

Fase de Validación y Aceptación

Organización

- ◆ Usuarios
- ◆ Instructores
- ◆ Responsable del Simulador
- ◆ Responsable de Validación
- ◆ Responsable de la Sección de Equipos
- ◆ Responsable de Desarrollo/Mantenimiento

Seguimiento

- ◆ Hoja de Anomalía/Modificación
- ◆ Documento de Control/Aceptación

-
-
-
-
-
-

Organización del Proyecto

-
-
-

Organización y Personal

Jefe Proyecto

- ♦ **Pedro Corcuera – Dr. Ing. Industrial**

Analistas

- ♦ **Javier Alonso – Ing. Químico**
- ♦ **Ana Castro – Ing. Industrial**
- ♦ **Jesús Fernández – Lic. Ciencias Físicas, Master Ing.Nuclear**
- ♦ **Celia González – Lic. Ciencias Físicas**
- ♦ **Ramón Pomposo – Ing. Industrial**



Garuña Training Simulator

**SIMULADOR REPLICA DE
ALCANCE TOTAL
C.N. STA. MARIA DE GAROÑA**

Universidad de Cantabria



Nuclenor S.A.

