

# Tecnología de la Seguridad Nuclear e Ingeniería de Factores Humanos



**Dr. Carlos Chávez Mercado**

**7 Abril 2016**

# Seguridad Nuclear

*“La seguridad nuclear tiene como objetivo proteger a los trabajadores, la población y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, mediante el diseño y operación segura de las instalaciones nucleares y radiactivas”.*



# Ingeniería de Factores Humanos

*“La ingeniería de Factores Humanos descubre y aplica información acerca del comportamiento humano, habilidades, limitaciones y otras características al diseño de herramientas, máquinas, sistemas, tareas, trabajos y ambientes para un uso seguro, productivo, eficiente y comfortable”*



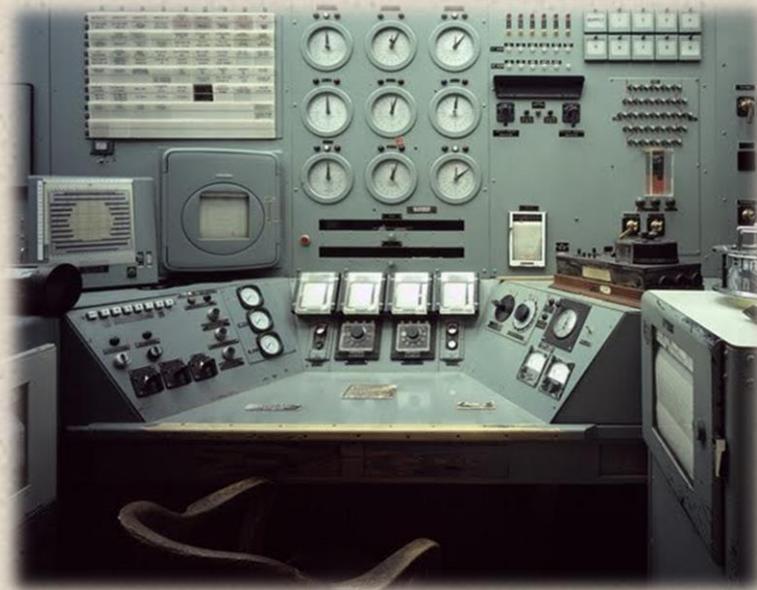
## Áreas de Investigación:

1. Desarrollo e implementación de nuevas tecnologías con el objeto de maximizar la disponibilidad de centrales nucleares, minimizar riesgos potenciales y optimizar el uso de personal mediante la integración de interfaces humano-sistema avanzadas.



# Áreas de Investigación:

- 2. Estudio de los efectos potenciales sobre el desempeño de personal y la seguridad de la planta como resultado de la incorporación de una tecnología híbrida caracterizada por una mezcla de tecnología convencional (analógica) y avanzada (digital), mediante el establecimiento de un programa de Factores Humanos.



## Áreas de Investigación:

3. Estudio y utilización de nuevas generaciones de computadoras para la creación de "realidades virtuales" y su aplicación al diseño y simulación de ambientes operacionales diversos en los cuales los beneficios y desventajas de dichos ambientes pueden ser evaluados antes de ser implementados físicamente.



## Áreas de Investigación:

4. Diseño y desarrollo de plataformas computacionales y mecanismos de simulación que permitan proporcionar análisis de seguridad y entrenamiento integral complementario en un ambiente de aula.



## Otras Actividades:

Soporte Tecnológico para  
Estudiantes de  
Licenciatura y Posgrado

Termo hidráulica / Neutrónica

Factores Humanos

Transitorios y Análisis de Accidentes

Diseño avanzado de Interfaces Gráficas

Estudio de Códigos Nucleares Especializados  
para Análisis de Seguridad (RELAP/SCDAP,  
MELCOR, etc.).



# Soporte a Laguna Verde

## Entrenamiento Básico

Operadores

Reguladores

Analistas

Personal Técnico de Planta

## Herramienta Analítica para el Centro de Apoyo Técnico.

Proveer Información de causas potenciales de accidente

## Simulación de transitorios y análisis de accidentes

Evaluación de estrategias bajo condiciones normales/anormales de operación

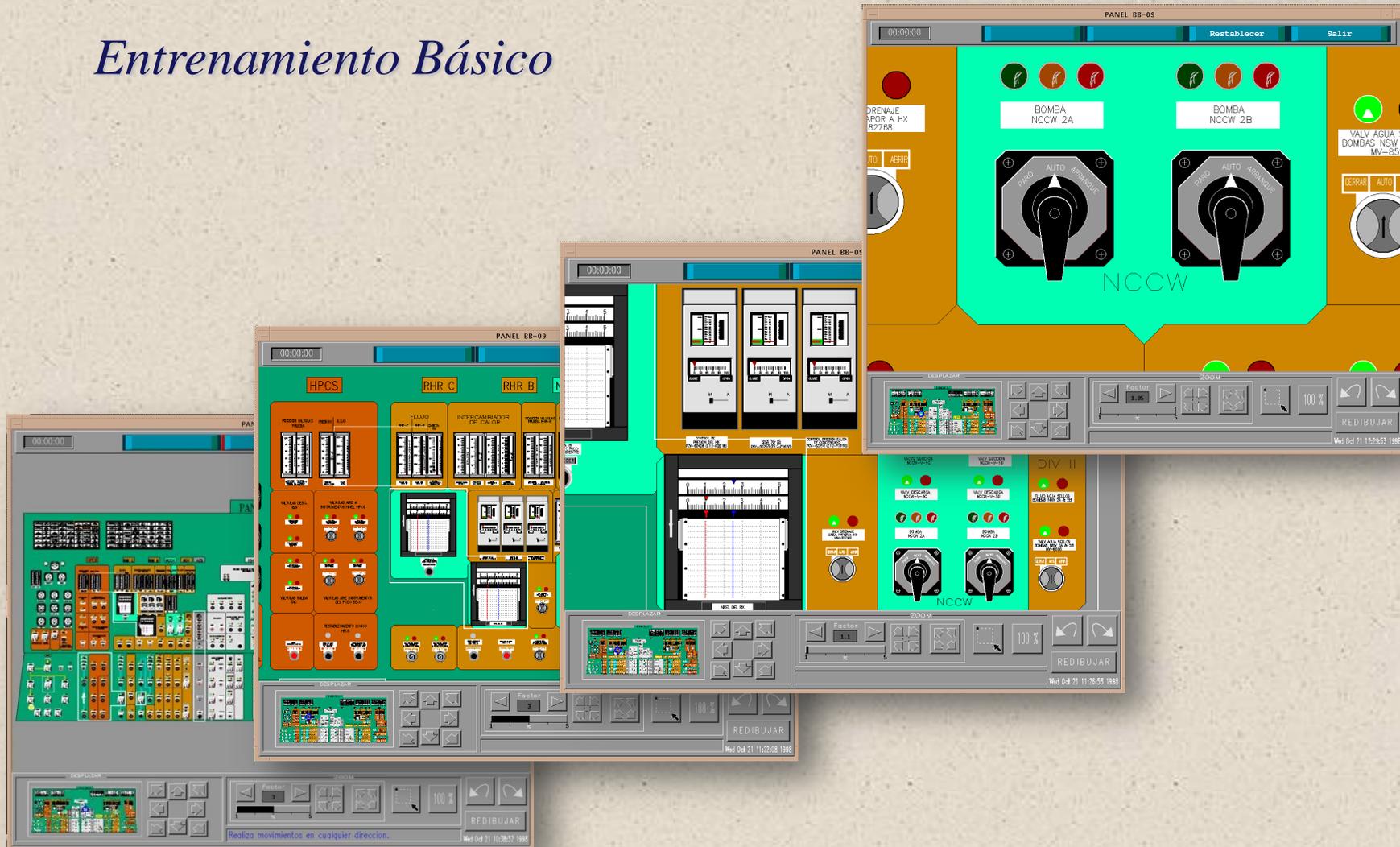
## Desarrollo/evaluación de guías de accidente

## Introducción a ABS y Accidentes Severos.



# Simulador de Procesos Nucleares

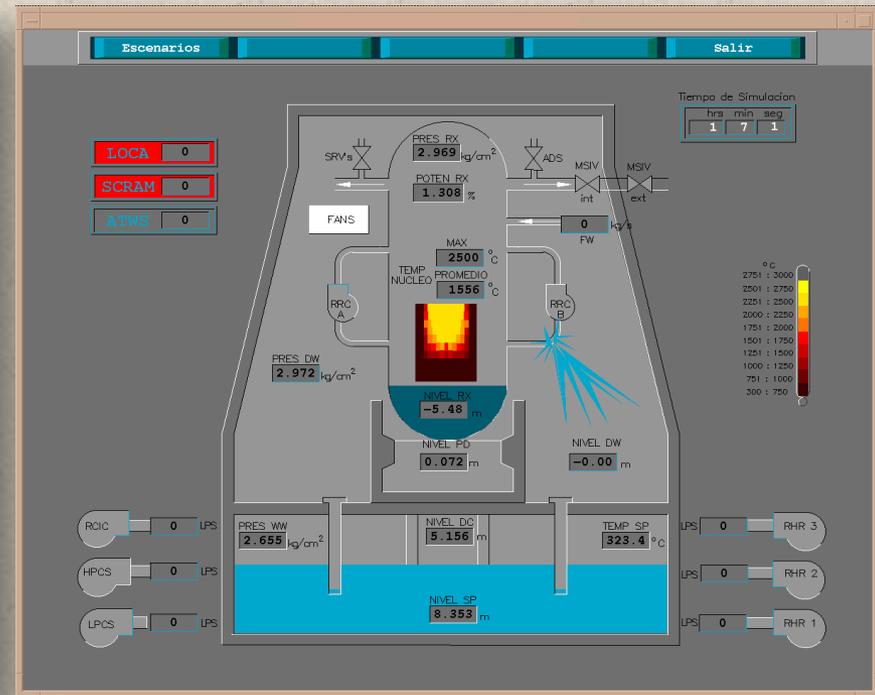
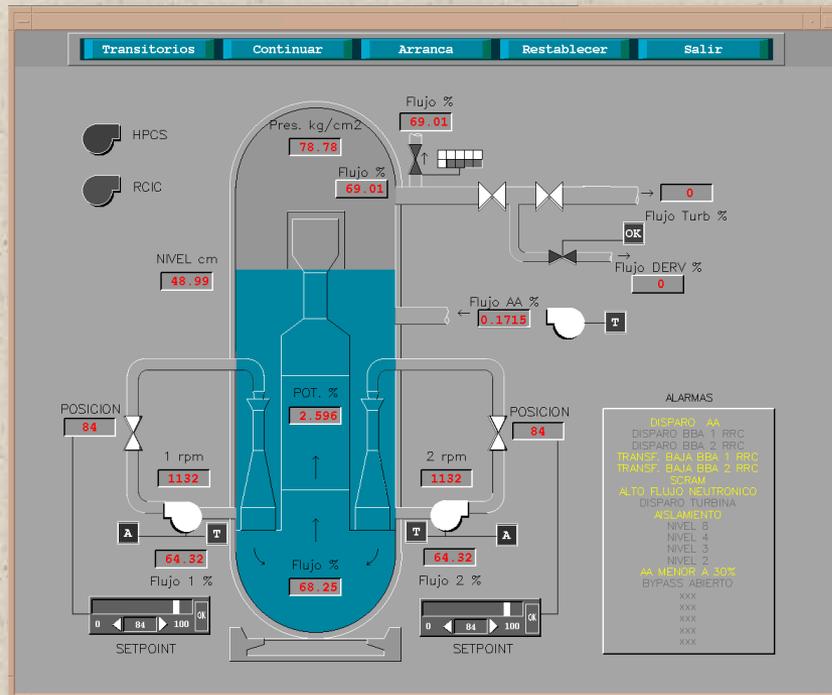
## Entrenamiento Básico



# Simulador de Procesos Nucleares

## Análisis de Transitorios

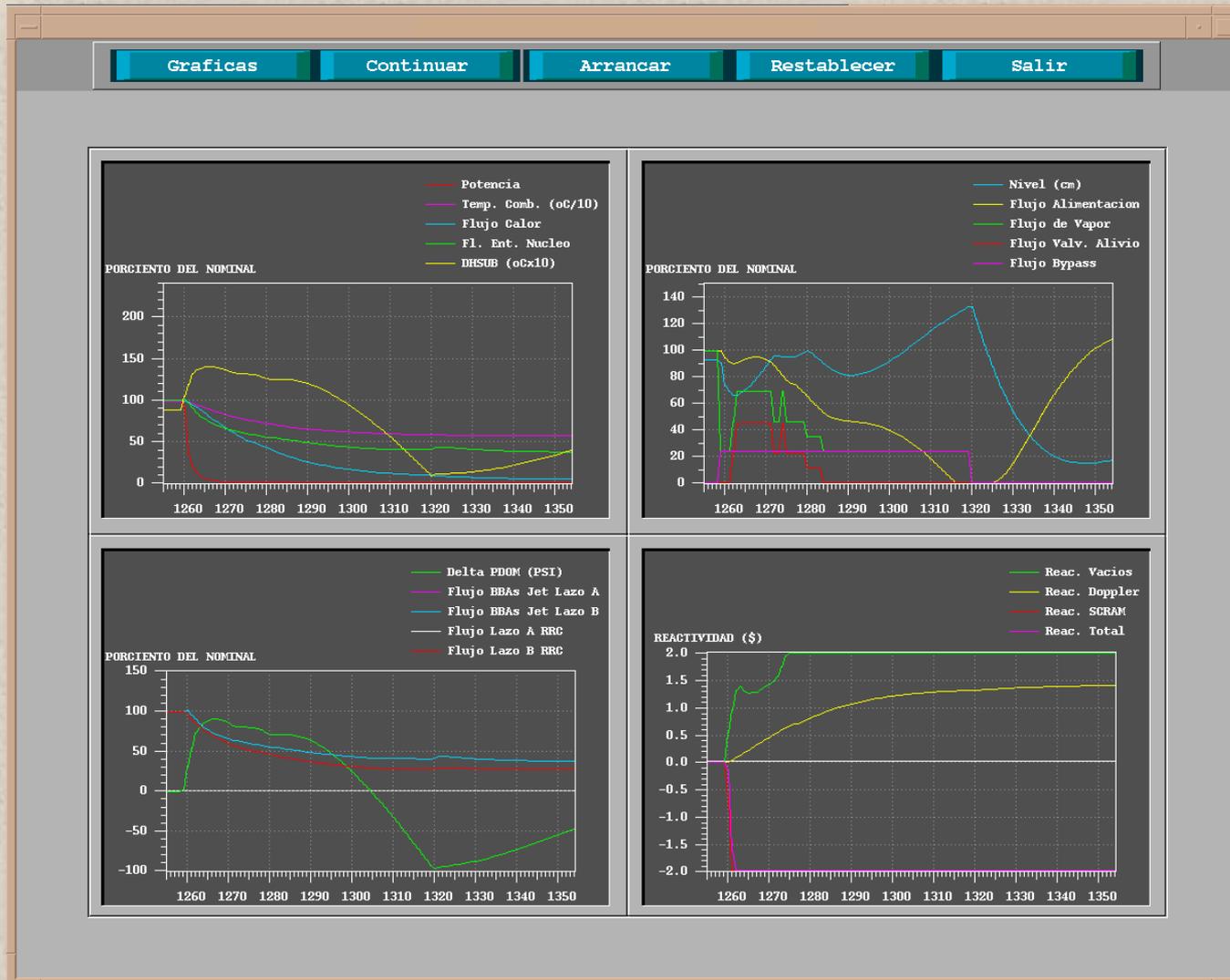
## Análisis de Accidentes Severos





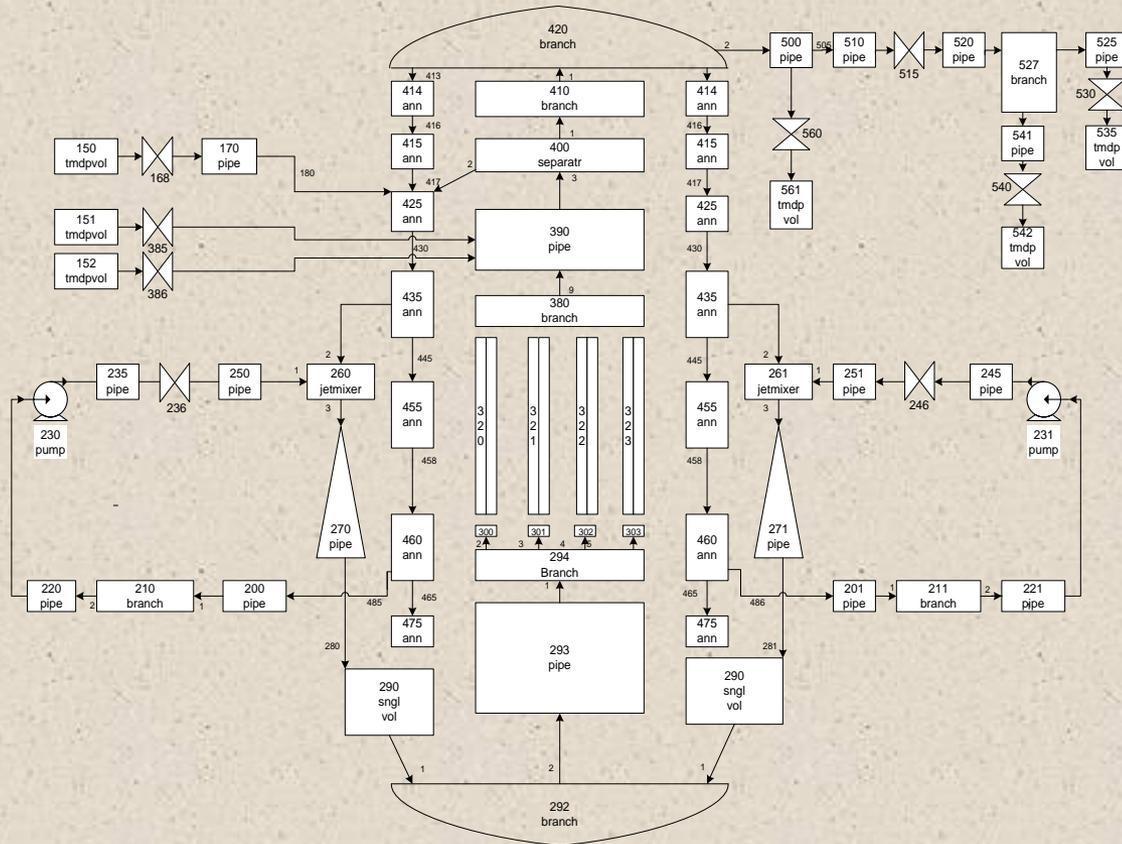
# Simulador de Procesos Nucleares

## Gráficas de Tendencia



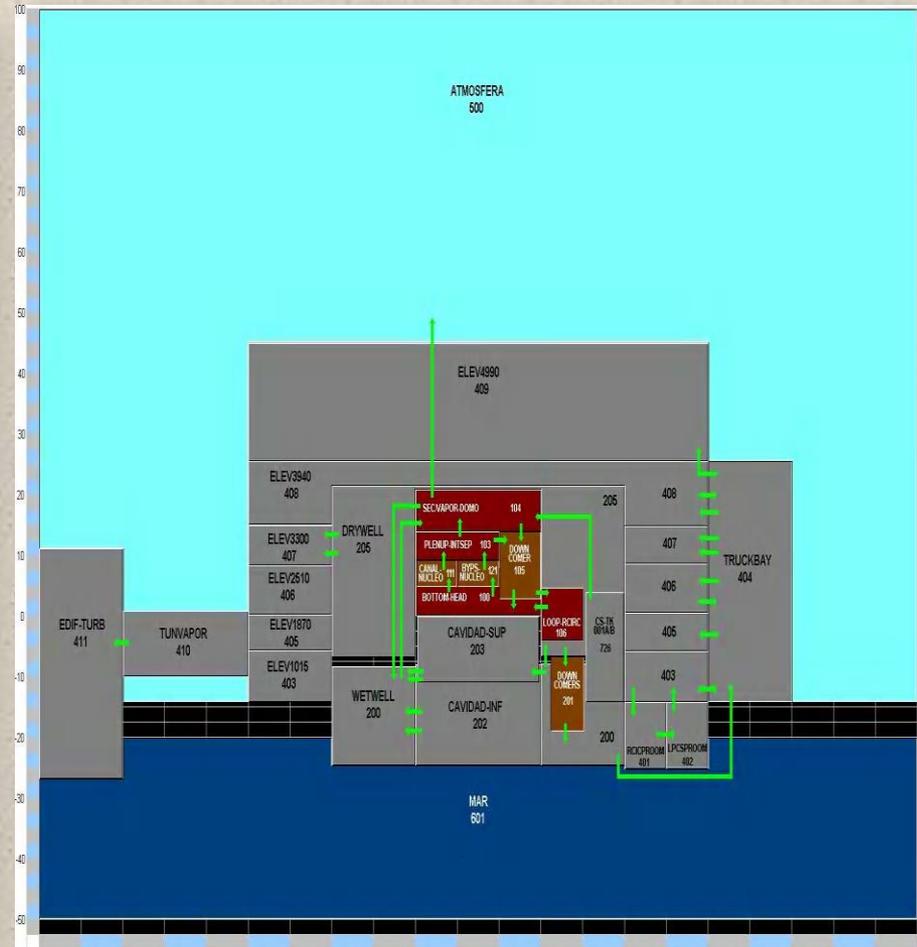
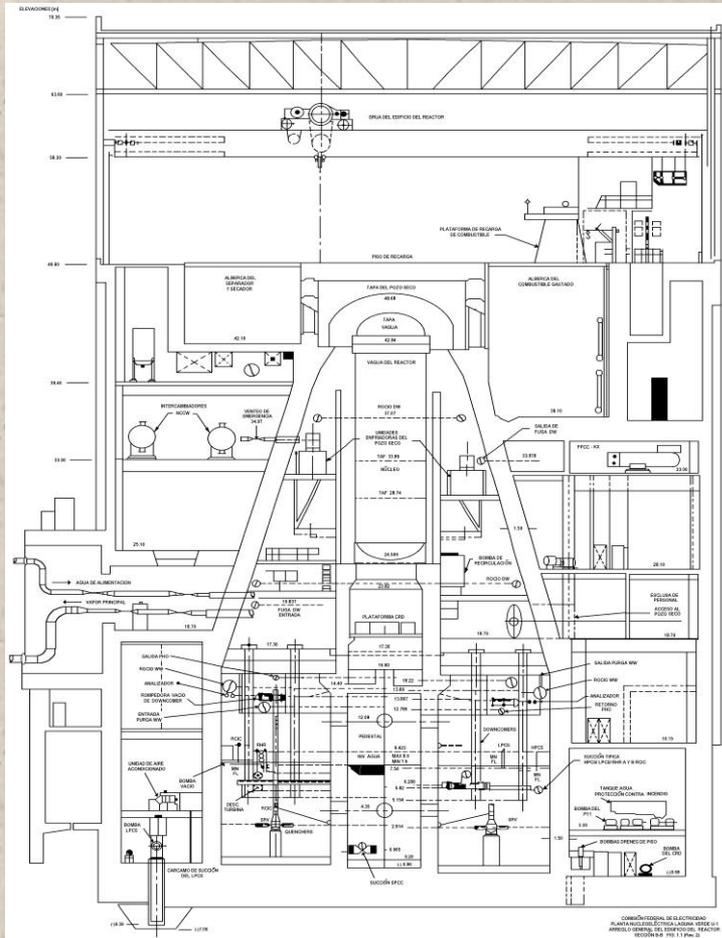
# Simulador de Aula

## Modelo del Reactor de la CNLV basado en RELAP5



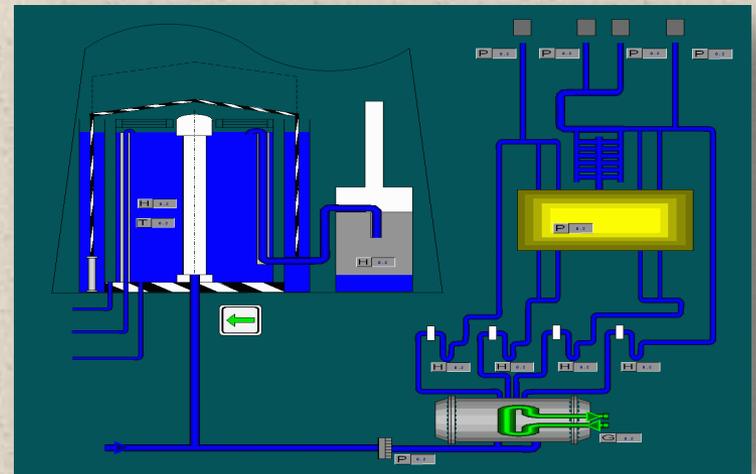
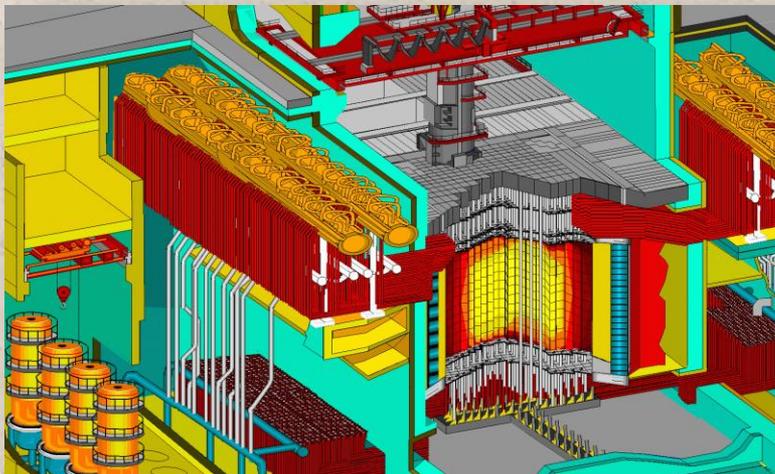
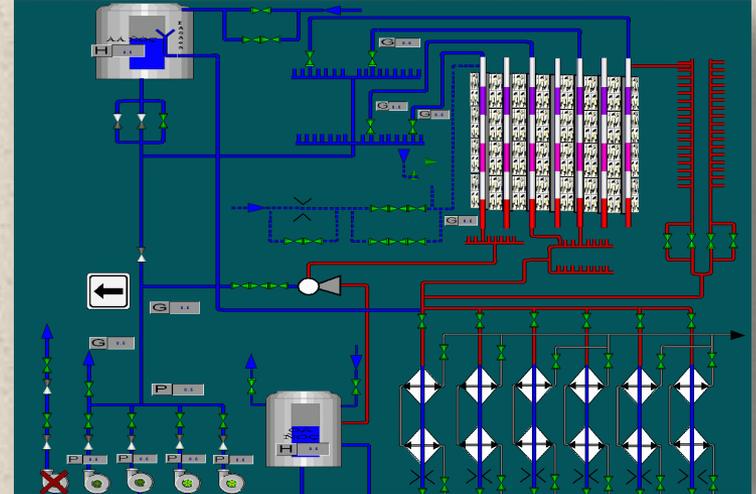
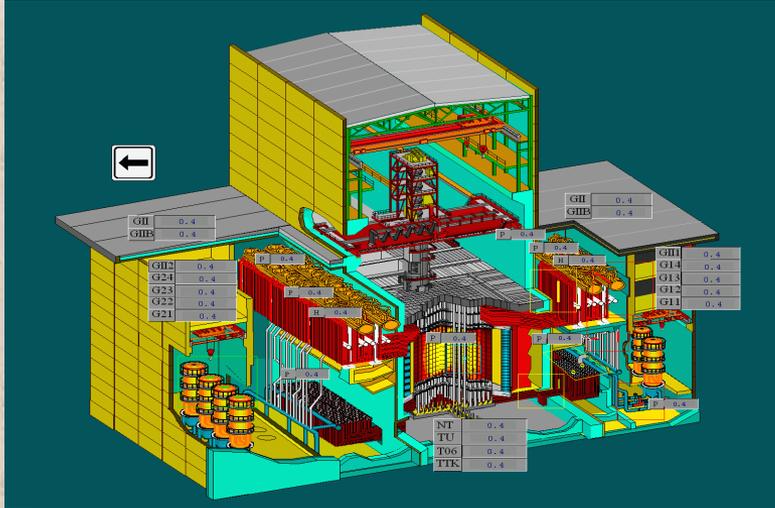
# Simulador de Procesos Nucleares

## Modelo de la Contención Basada en el Código MELCOR

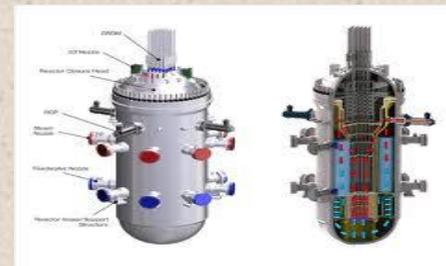
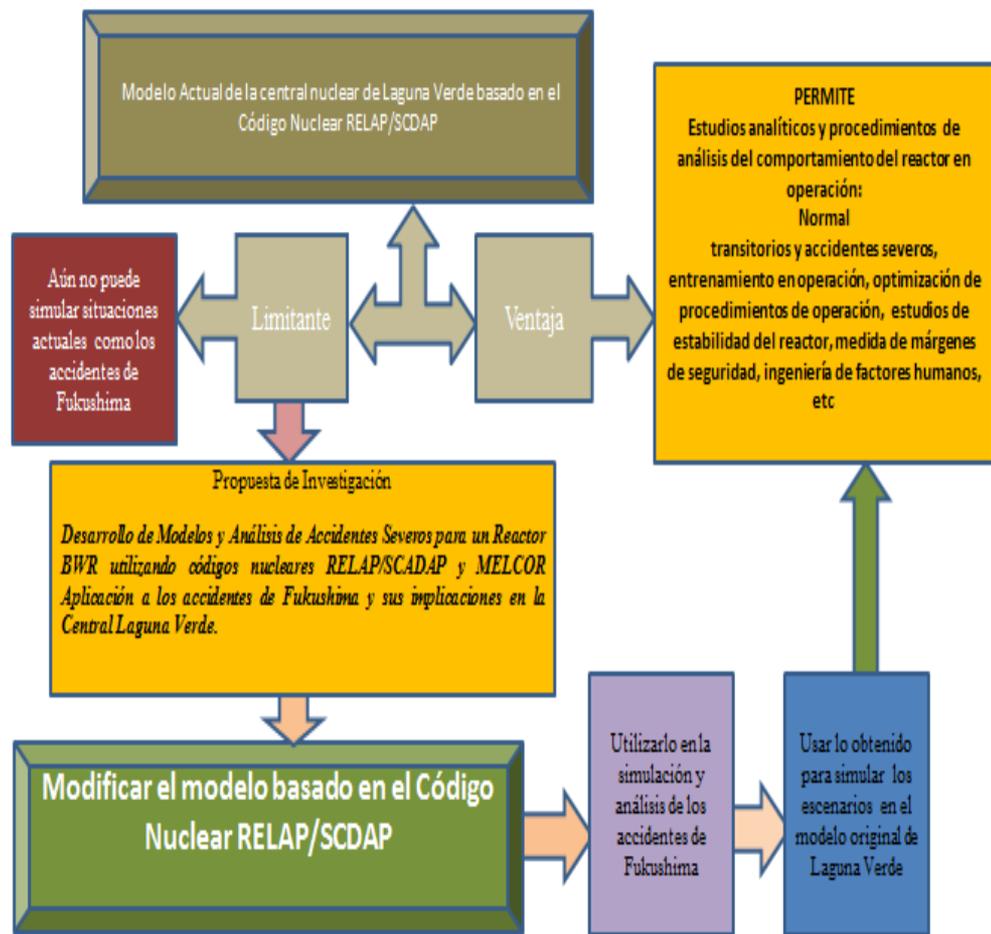
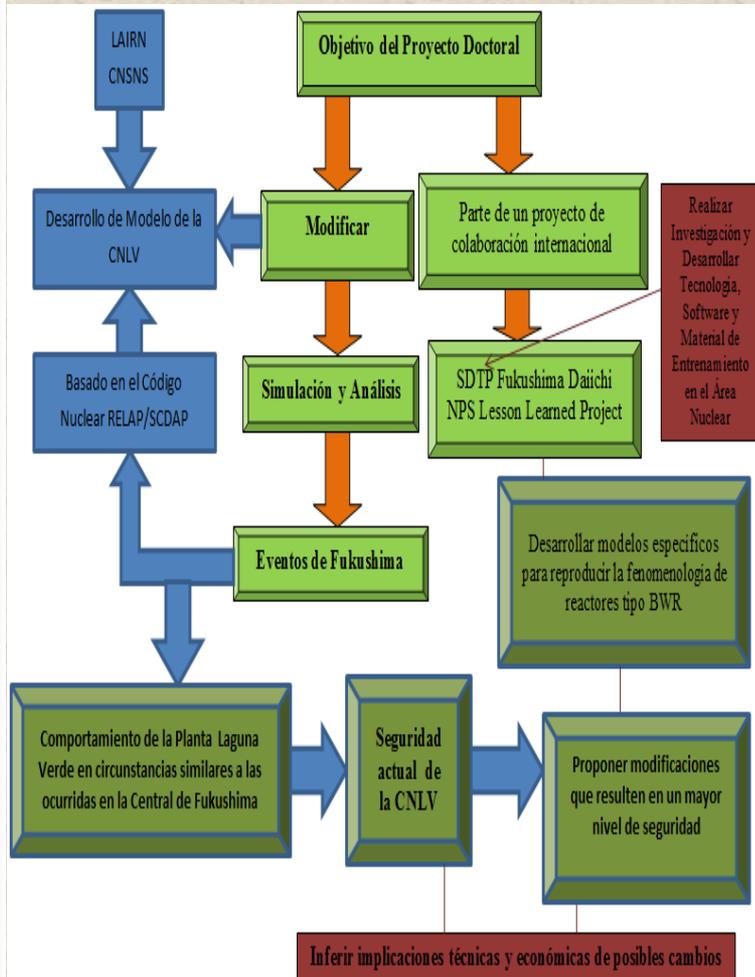


# Simulador de Procesos Nucleares

## Analizador de Planta (RBMK-1000) Kurks NPP

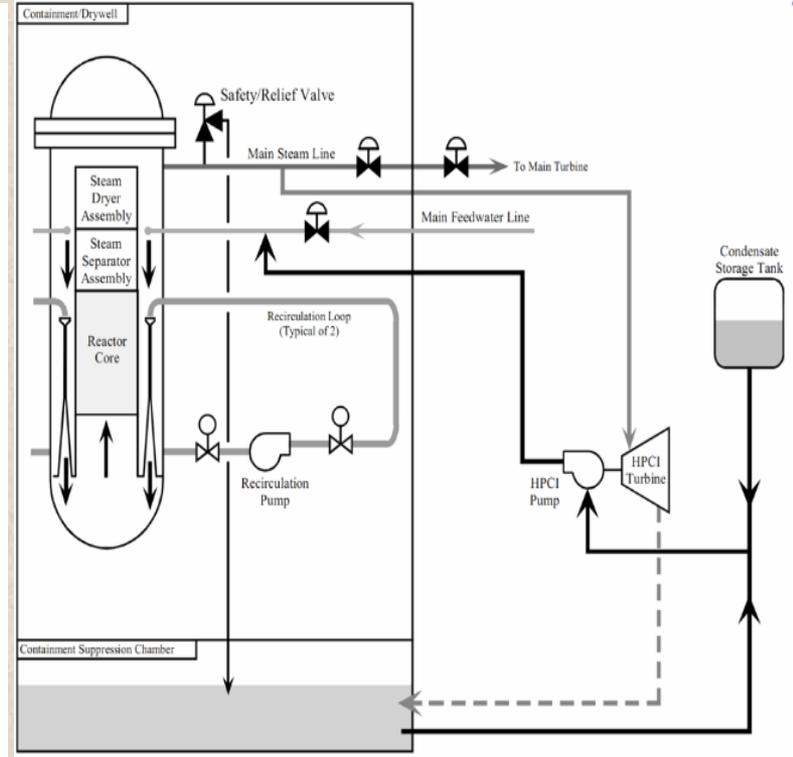


# Visualización y Análisis de Accidentes Severos



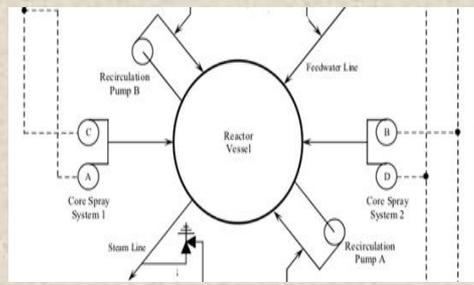
# Sistemas de Refrigeración de Emergencia ECCS

	Fukushima			Laguna Verde
	Unidad 1	Unidades 2-5	Unidad 6	Unidad 1 y 2
Tipo de Reactor	BWR-3	BWR-4	BWR-5	BWR-5
ECCS	HPCI	HPCI	HPCS	HPCS
	CS	CS	LPCS	LPCS
		LPCI	LPCI	LPCI
	ADS	ADS	ADS	ADS
Otros	IC	RCIC	RCIC	RCIC
Número de Generadores Diesel de Emergencia	2	2	3	3



**Sistema de Rociado del Núcleo (CS)**

El sistema de rociado del núcleo (Core Spray) está diseñado para rociar líquido refrigerante directamente encima del combustible en el interior del revestimiento del núcleo con dos rociadores, a través de boquillas en dos semicírculos (system 1 y system2).



**Sistema de Inyección de Agua a Alta Presión (HPCI)**

El sistema de refrigeración de alta presión de inyección es la primera línea de defensa en el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo.

El sistema HPCI es accionado por el vapor del reactor, y tarda aproximadamente 10 segundos en girar a partir de una señal de iniciación.

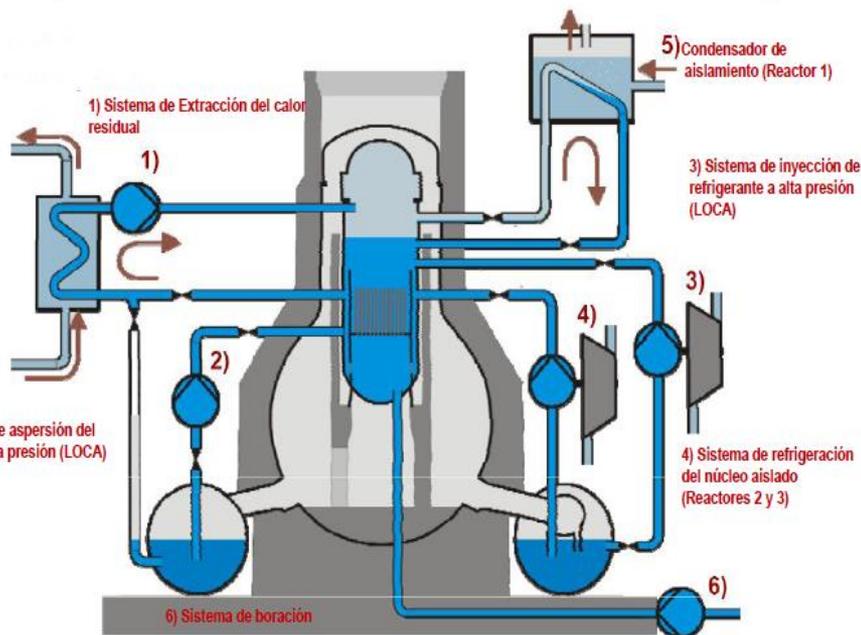
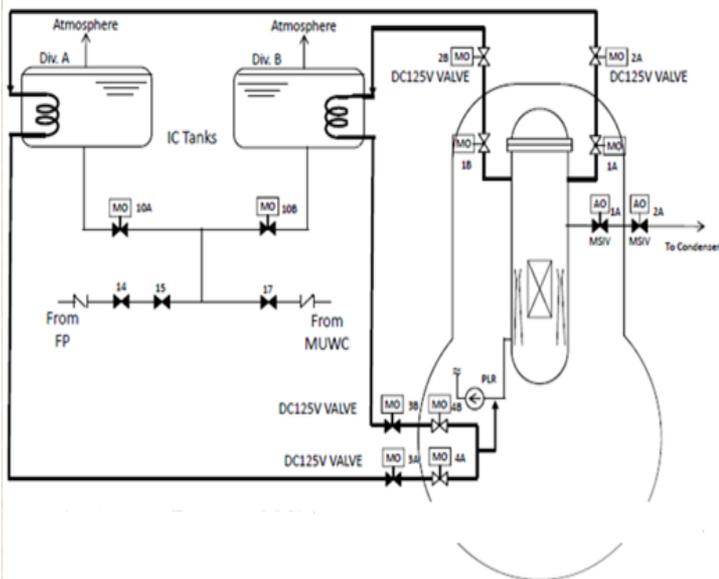
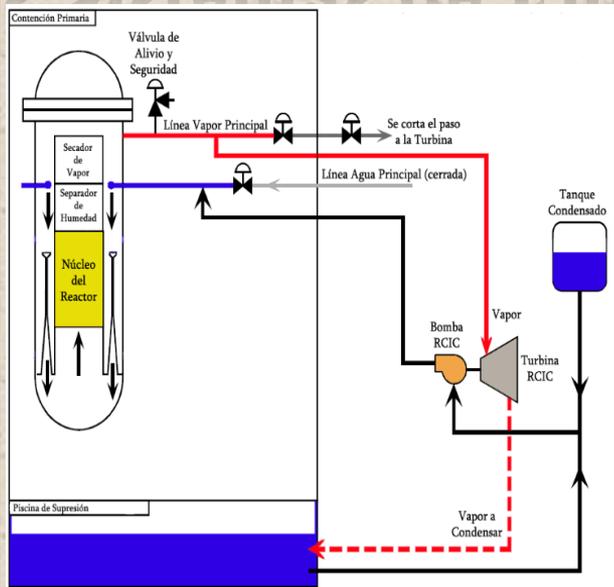
Puede entregar aproximadamente 19.000 L / min (5.000 gal / min) al núcleo en cualquier presión por encima de 6,8 atm (690 kPa, 100 psi).

# Otros Sistemas de Fukushima

Sistema Para Enfriamiento del Núcleo con el Reactor Aislado (RCIC) (o el condensador de aislamiento)

Utiliza una turbobomba movida por vapor de la propia vasija del reactor

El vapor se descarga para condensarlo en el pozo húmedo  
La turbobomba impulsa agua aspirada del pozo húmedo para inyectarla en el reactor



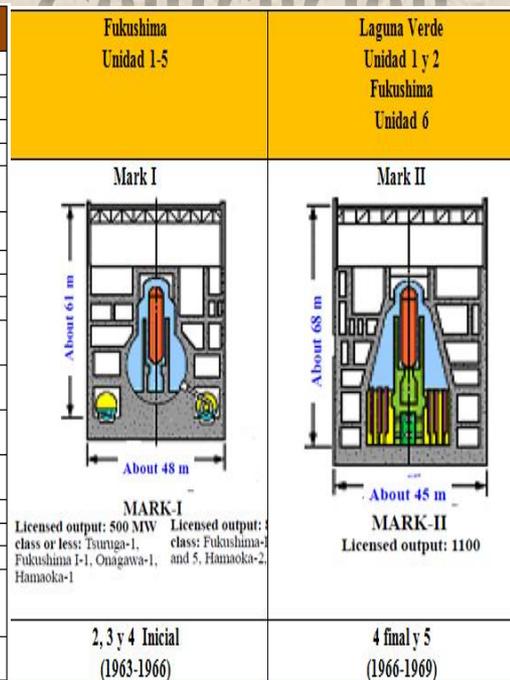
## Sistema de Condensador de Aislamiento (IC)

El sistema de Condensador de Aislamiento es un sistema pasivo, que en condiciones normales no está activado pero la parte superior del condensador se conecta a las líneas de vapor del reactor a través de una válvula abierta.

El sistema IC consiste en un intercambiador de calor situado por encima de la contención en una piscina de agua abierta a la atmósfera. En funcionamiento, el vapor del reactor, se introduce en el intercambiador de calor y se condensa hasta que se llena con agua, a continuación, cae por la gravedad de nuevo en el reactor.

# Contención

Parámetro	Medida
Altura del edificio del reactor	148 ft
Profundidad del Pozo Húmedo	50 ft
Altura de la chimenea / pila	~ 100 m 300 ft
Diámetro de contención de la Bombilla	67 ft
Altura de contención	32 m ~ 100 ft
Espesor de la bombilla de contención de hormigón	2 m/ 6 ft
Diámetro del toro (en el centro del tubo)	111 ft
Altura de la explosión del reactor 3	~ 1200 ft
Altura del reactor 1 explosión	~ 300 pies
Altura de la salpicadura de onda	200 ft
Temperatura de diseño del Edificio de Contención	138 °C
Temperatura máxima de diseño del revestimiento de combustible	2200F
Espesor de la parte inferior de la contención primaria	16 cm
El volumen libre de la contención es de aproximadamente	6200 m <sup>3</sup>
Reactor 1 punto de daño núcleo	100% (se est 55%)
Reactor 2 puntos de daño núcleo	100% (se est 25%)
Reactor 3 puntos de daño núcleo	100% (se est 30%)
La radiación liberada por hora	10.000 terabecquerels de yodo-131 el 11 de marzo
La radiación liberada total	630.000 terabecquerels



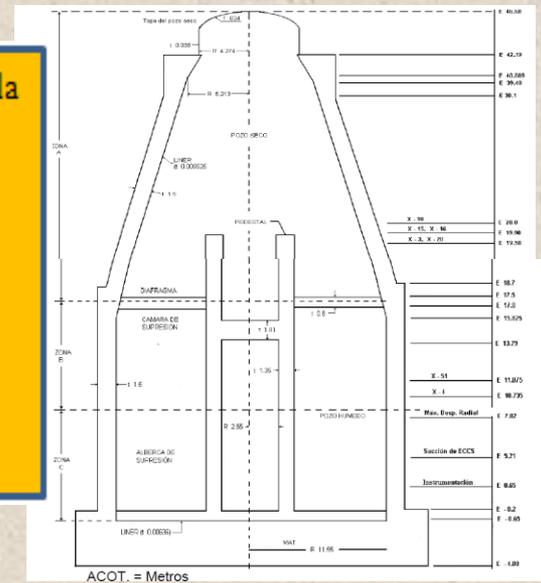
Lineas de productos BWR	2, 3 y 4 Inicial (1963-1966)	4 final y 5 (1966-1969)
Pozo Seco	Pozo Seco	Pozo Seco
Volumen Libre (m <sup>3</sup> )	4672	7872
Presión de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.36	3.14
Pozo Húmedo	Pozo Húmedo	Pozo Húmedo
Volumen Libre (m <sup>3</sup> )	4834	5318
Volumen de Agua (m <sup>3</sup> )	3480	3268
Presión de Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.36	3.14
Respiradores	Respiradores	Respiradores
Orientación	Vertical	Vertical
Tamaño (m)	0.6	0.6
Numero	76	70



- ◆ Pozo Seco en forma de Pera
- ◆ Pozo Húmedo en forma de Toroide

- ◆ POZO SECO
- ◆ POZO HUMEDO
- ◆ PEDESTAL DEL REACTOR
- ◆ VENTEOS (DOWNCOMERS)
- ◆ PENETRACIONES
- ◆ ACCESO A LA CONTENCIÓN PRIMARIA
- ◆ SISTEMAS AUXILIARES

- Sistema de Enfriamiento de la Contención Primaria
- Sistema de Ventilación del Edificio del Reactor
- Sistema de Recombinadores de Hidrógeno / Analizador de Oxígeno
- Sistema de Tratamiento de Gases de Reserva





# **University of Mexico's Regional Plant Simulator and Training Facility**

INNOVATIVE SYSTEMS SOFTWARE, LLC

© 2002 All rights reserved



# Proyectos:

- ❑ “Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares” (PAPIIT IN109400, CONACYT 34657-U).
- ❑ “Simulador de Aula para la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde” (IAEA-TC-MEX/09/045)
- ❑ “Analizador Gráfico Avanzado de Procesos Nucleares” (IAEA-TC-MEX/04/050)
- ❑ “Prácticas de Fundamentos de Energía Nuclear Utilizando un Ambiente Virtual” (PAPIME PE100707)
- ❑ “Desarrollo de Herramientas de Visualización y Análisis de Accidentes Severos en Reactores BWR. Aplicación a los accidentes de Fukushima y sus implicaciones en la Central Nuclear de Laguna Verde” (PAPIIT IT10212)



# Agradecimientos

Miguel Palomera Pérez

Julio Alberto González Morales

José Santiago Camacho

Ma. Guadalupe Ortega Barbosa

Ricardo Gutiérrez Feria

Jonatan Hernández Itzcua

Cesar Ramírez García

Omar Eli Membrillo García

Humberto Salazar Cravioto

Samuel Cortés Martell

Dionisio Telésforo Reyes

Jerson Sánchez Jaramillo

Selene Hernández Itzcua

Daniel Vargas Osorio

Estela López Santana

René Andrés Delgado Capula

Para **mayor información:**

**[chm.carlos@gmail.com](mailto:chm.carlos@gmail.com)**