

Desafíos en la Construcción de una Central Nuclear en Chile

Rodrigo Flores C.

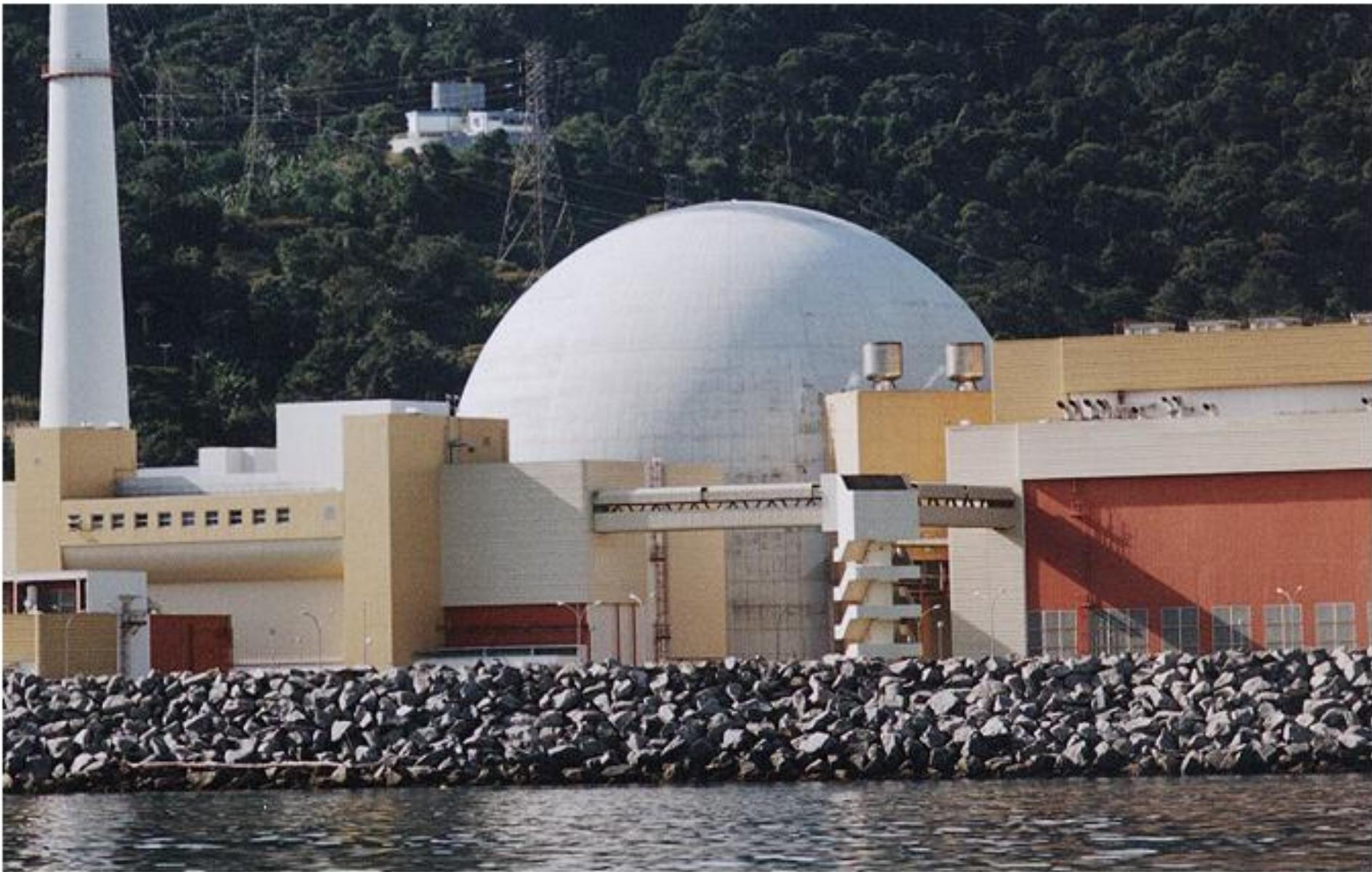
MetaControl Ingenieros Ltda.



- Ingeniería y Construcción de Centrales Nucleares.

La experiencia de Angra II

- Futura Unidad Gen III en Chile.



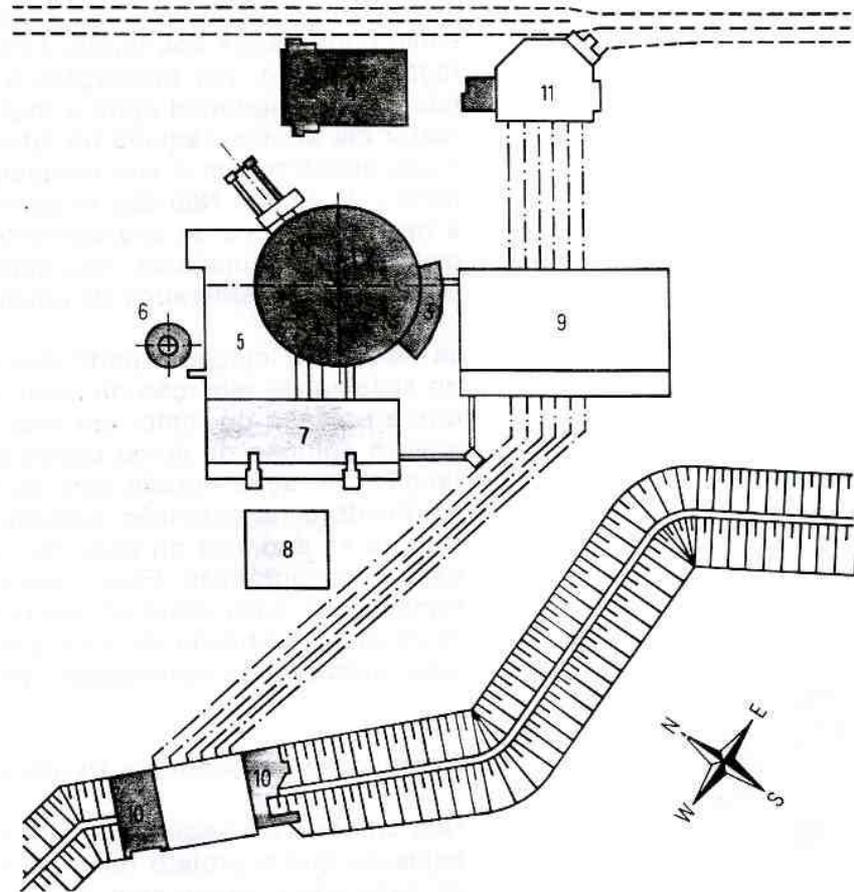
Obras Civis de Angra II 1325 MW

Estado de Operación:

- Planificada 1990
- Real 2001

Desenho de arranjo mostrando os níveis de proteção dos edifícios e estruturas da central nuclear de Angra 2 com reator a água pressurizada

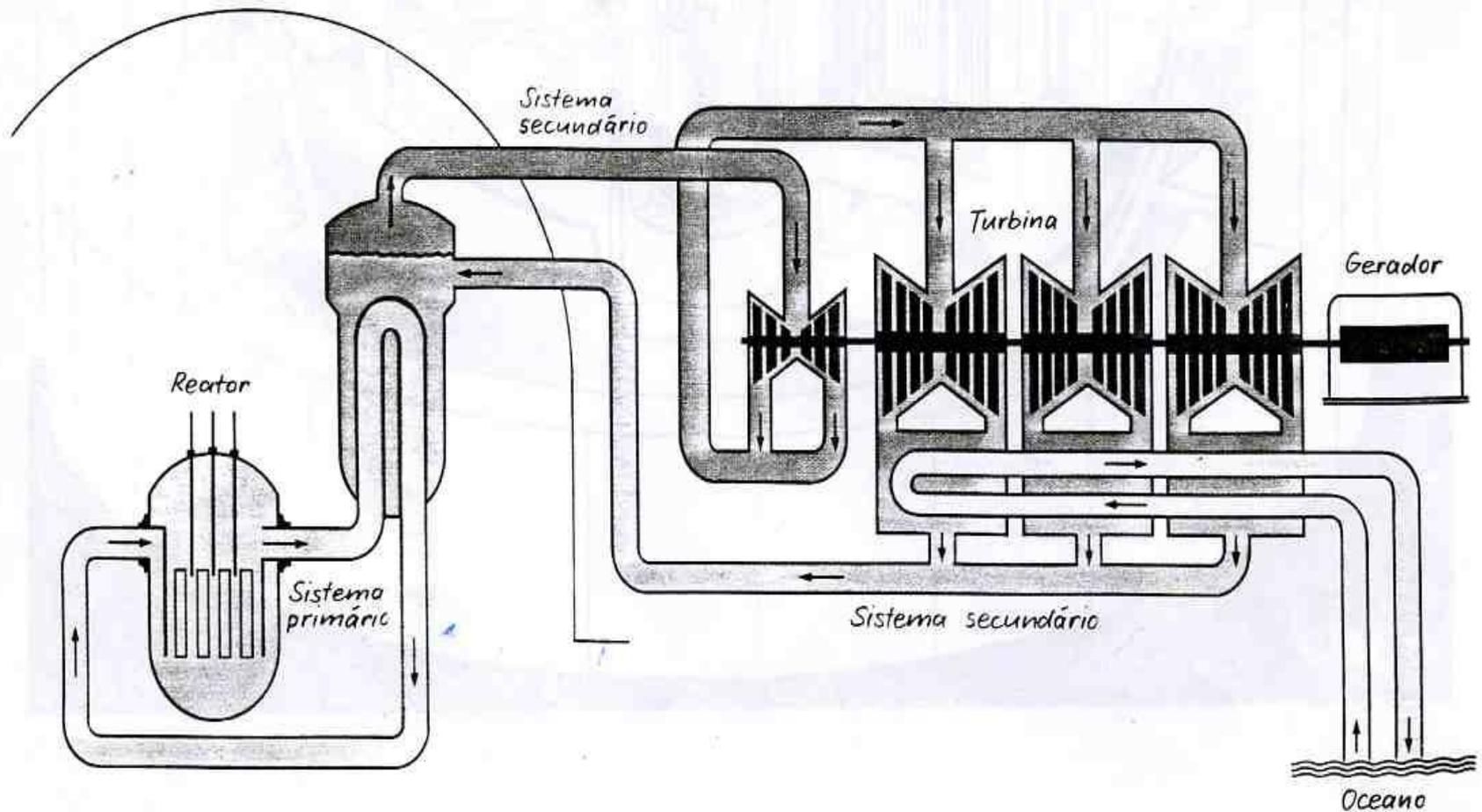
- 1 Estrutura interna de contenção
- 2 Espaço anular do edifício do reator
- 3 Compartimentos das válvulas de vapor principal e água de alimentação
- 4 Prédio de alimentação de emergência
- 5 Prédio auxiliar do reator
- 6 Chaminé
- 7 Prédio de controle
- 8 Prédio de energia elétrica de emergência e água gelada
- 9 Prédio da turbina
- 10 Casa das bombas do sistema de refrigeração de emergência
- 11 Poço de selagem de água de refrigeração



- A prova de terremoto e onda de pressão de explosão
- A prova de terremoto
- A prova de terremoto, simplificado

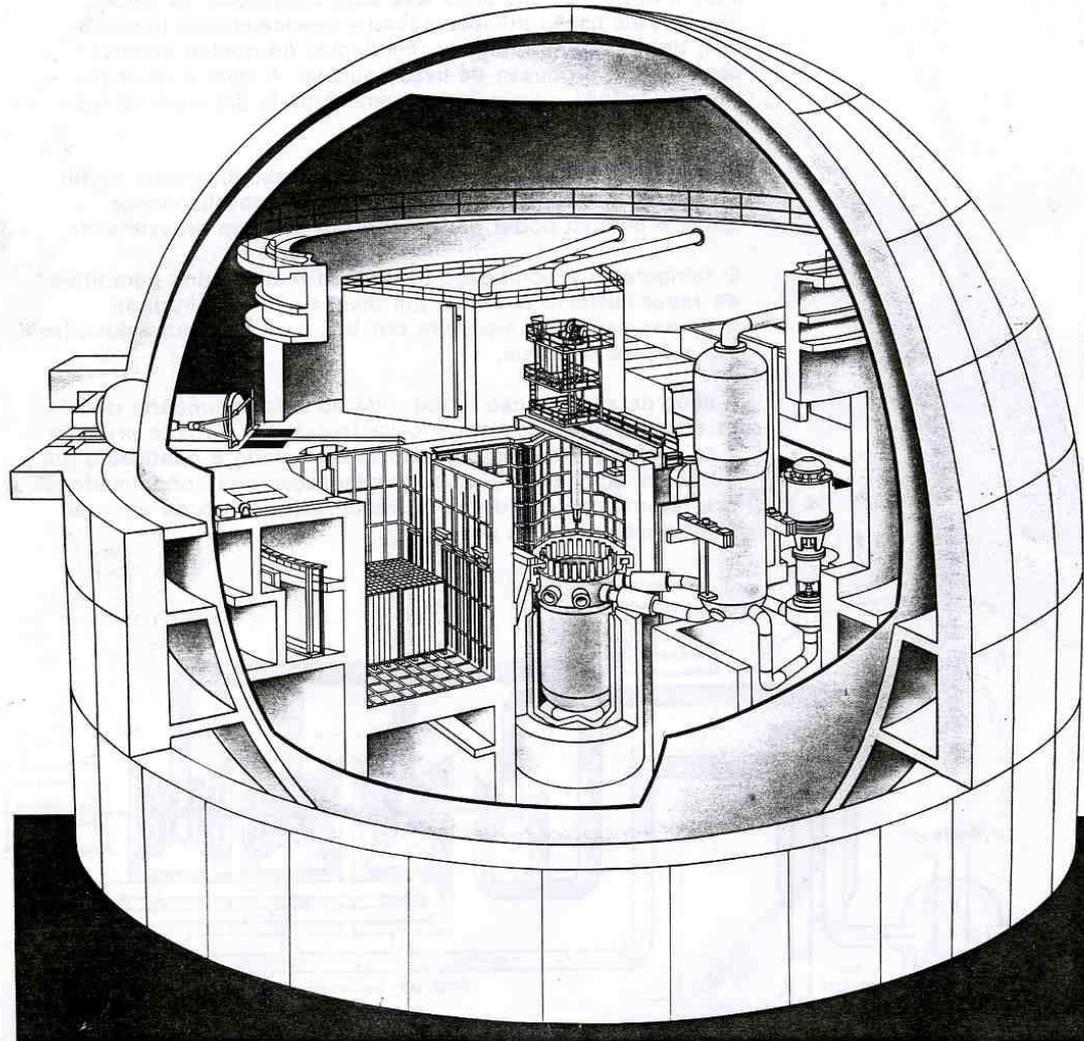
Proyecto Unidad Angra II

Esquema funcional de un PWR



Proyecto Unidad Angra II

Edificio del Reactor



Proyecto Unidad Angra II

Esfera de contención

- Eliminar escape de la radiación.
- Proveer un encapsulamiento seguro del sistema nuclear de generación de vapor.

Bases de Cálculo:

- Se postulan accidentes de ruptura del circuito primario y de fallas del vaso a presión.
 - Fuerzas de chorros (jet forces)
 - Reacciones de tuberías
 - Temperaturas
 - Presiones
- “Guidelines for the consideration of the maximum load resulting from internal accidents concerning reinforced concrete structural components”.

Proyecto Unidad Angra II

Cáscara externa de hormigón armado

Protege la esfera de contención contra accidentes externos:

- Terremotos
- Operating Basis Earthquake
- Safe Shutdown Earthquake
- Explosiones externos
- Impactos
- Guidelines for the design of Reinforced Concrete Structural Components in Nuclear power Plants.
- Institute für Bautechnik Guidelines for the design of steel structural components in nuclear power plants.

Proyecto Unidad Angra II

Impacto de Avión

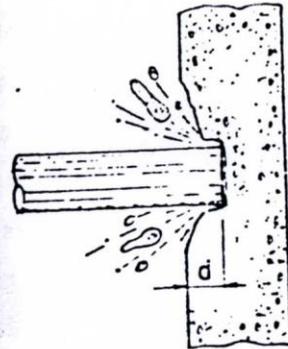
- Se consideró la posibilidad de accidentes aéreos. No de un ataque terrorista.
- Aviones comerciales o de guerra a la velocidad de sustentación (stall velocity).
- Boeing 727-200, Bandeirante, 5 y Electra.

Projeto Unidade Angra II

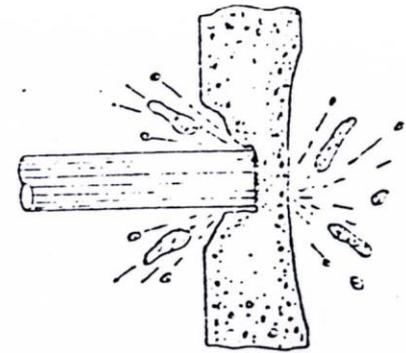
Impacto de avião

Efectos:

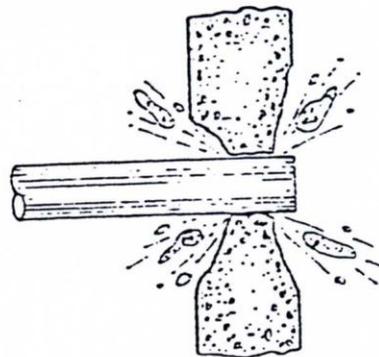
- Locales
- Globales
- Projétil blando



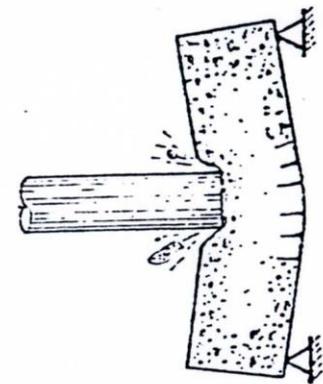
a) PENETRAÇÃO E FRAGMENTAÇÃO



b) FRAGMENTAÇÃO DA FACE OPOSTA



c) PERFURAÇÃO

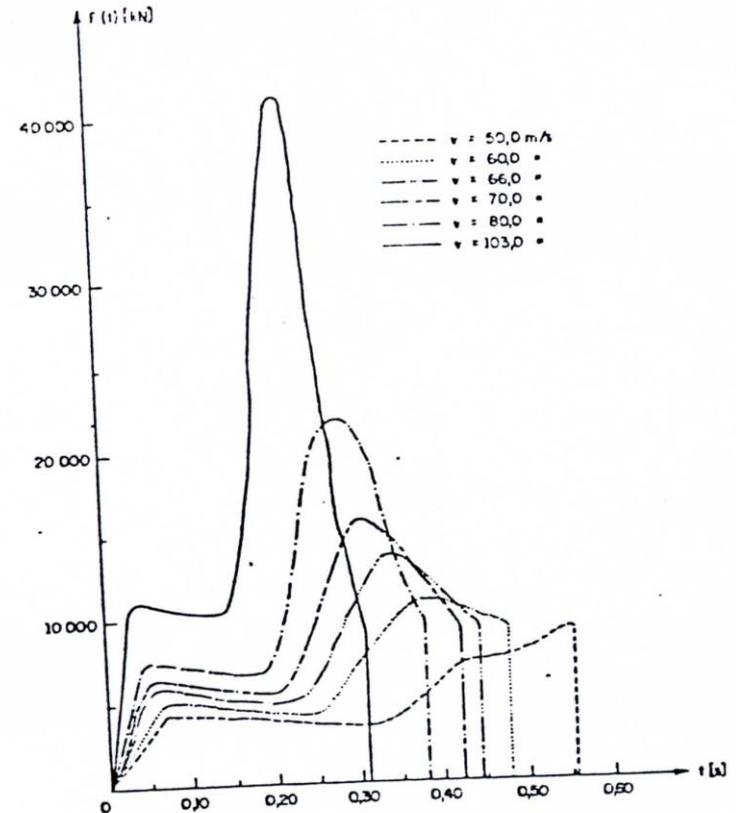
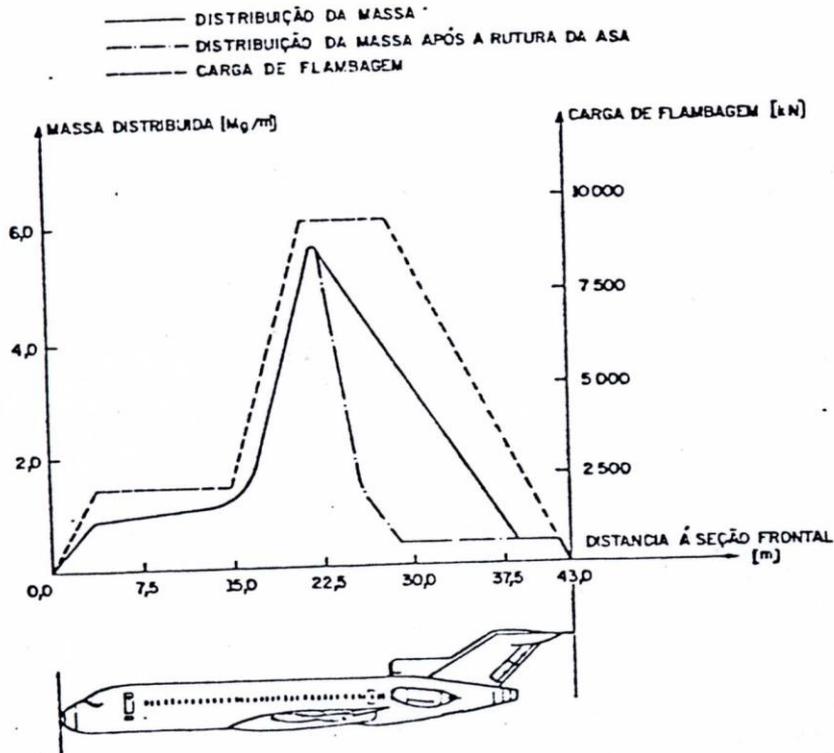


d) EFEITO GLOBAL

Proyecto Unidad Angra II

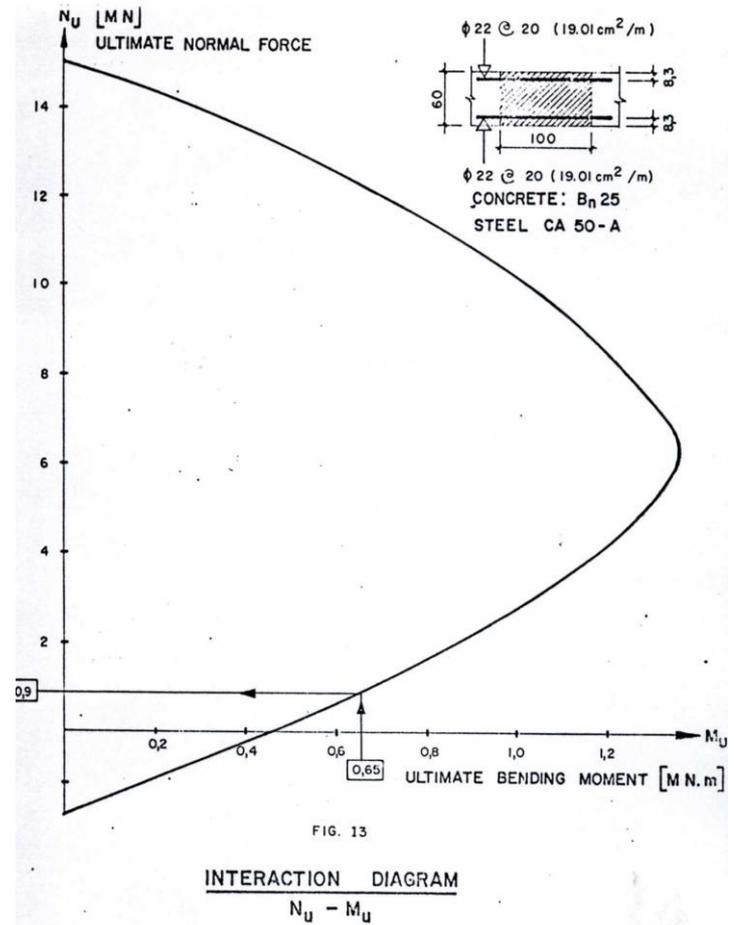
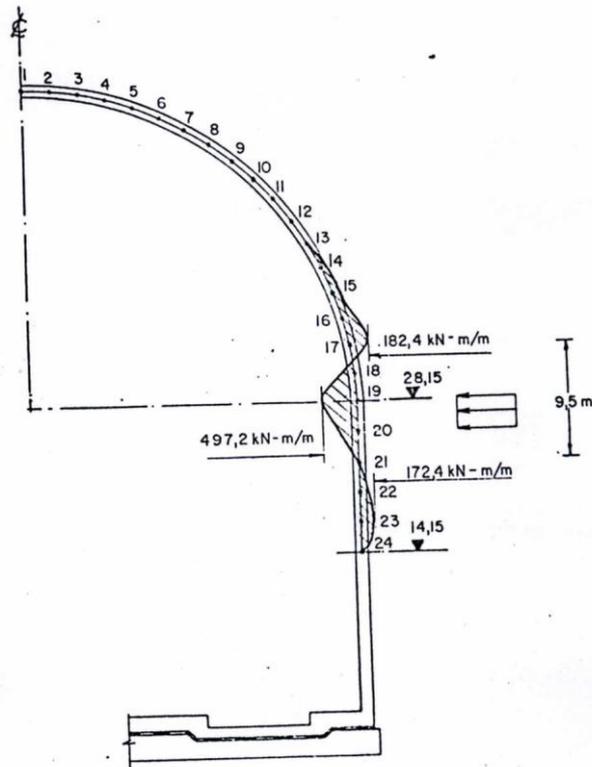
Impacto de avión

- Fuerzas de impacto



Proyecto Unidad Angra II

Impacto de avión



Proyecto Unidad Angra II

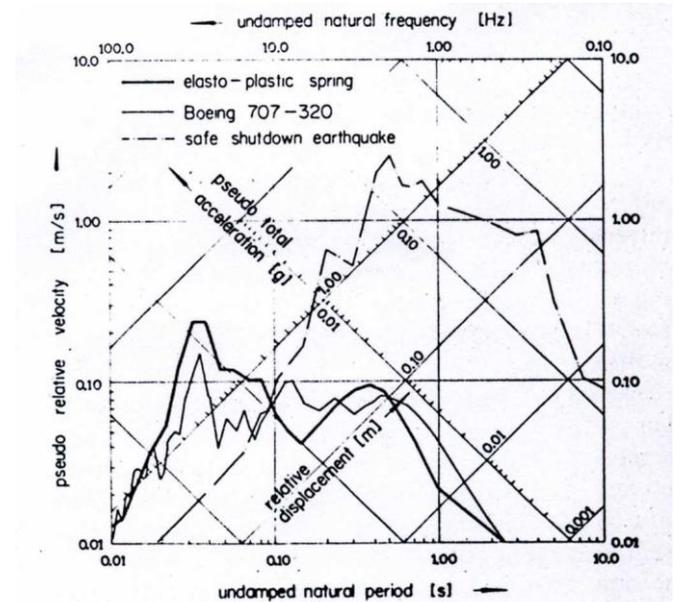
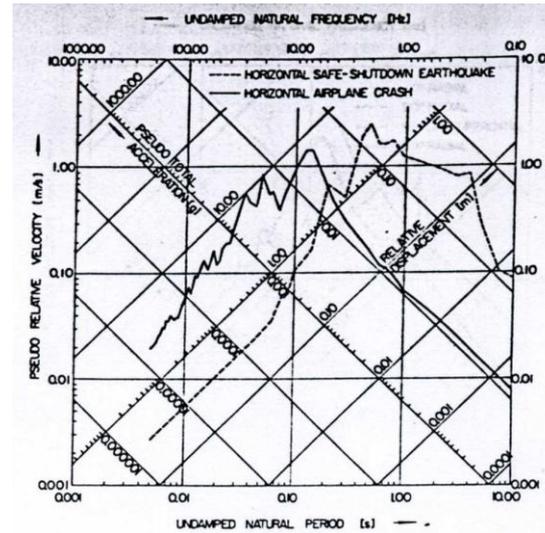
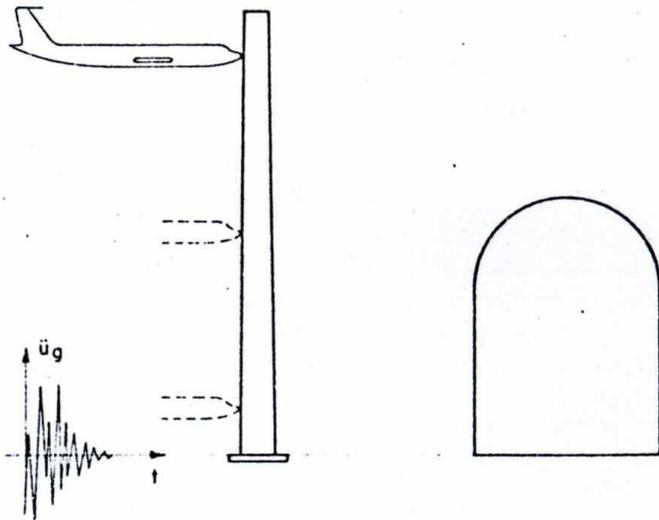


Fig. 30. Horizontal response spectra (0.5% damping) at point B of reactor building.

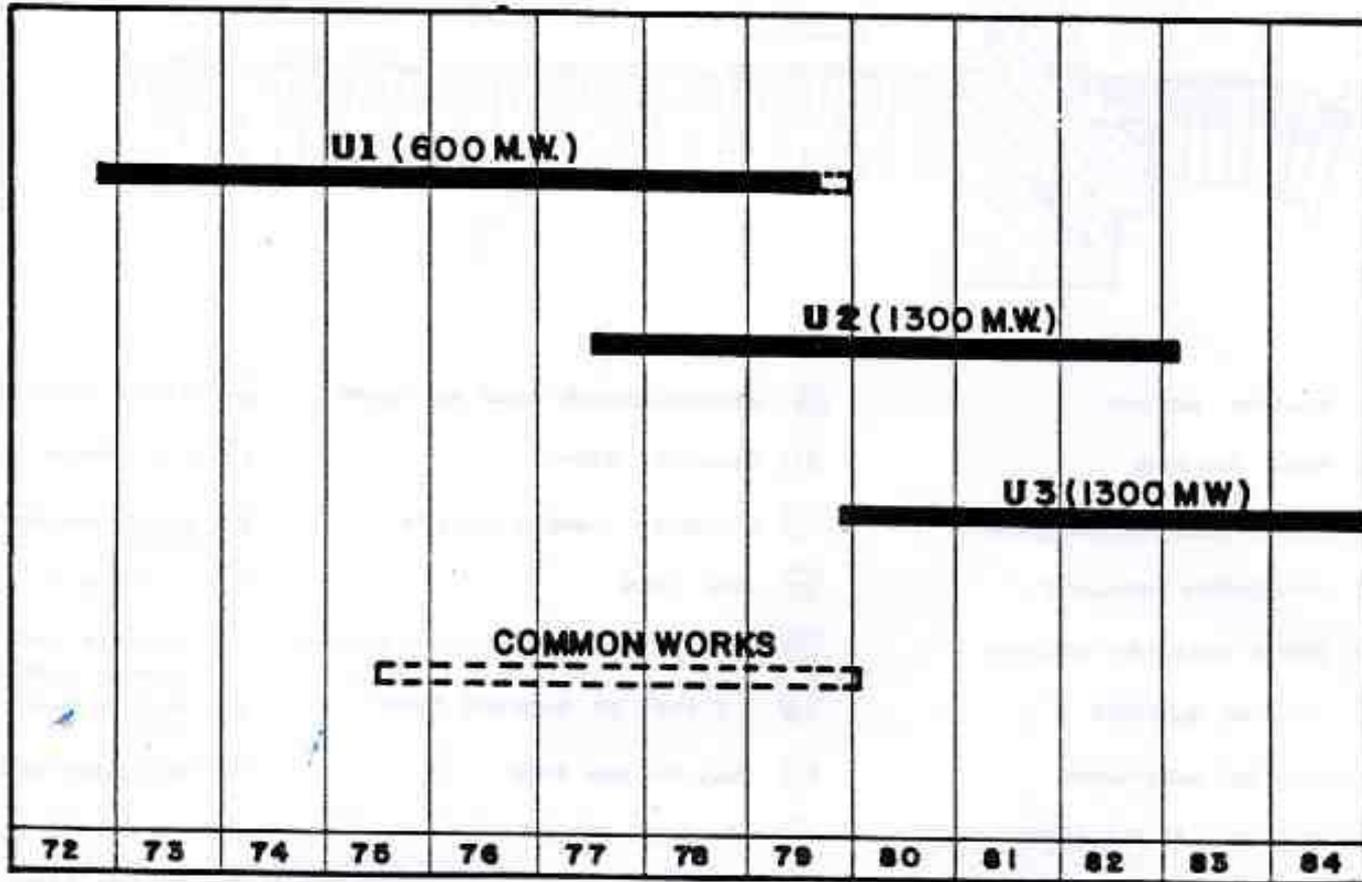
Proyecto Unidad Angra II

Obras Civiles

- Ingeniería Básica: KWU
- Ingeniería de Detalles: Promon Engenharia.
- Construcción: Odebrecht Hochtief

Proyecto Unidad Angra II

Programación Inicial



CIVIL CONSTRUCTION SCHEDULE

Proyecto Unidad Angra II

Los mayores Desafíos según Odebrecht/Hochtief

- Crear una mentalidad de Aseguramiento de Calidad. Más de 150.000 H/H de capacitación y entrenamiento del personal.
- Movimientos de tierra para más de 500.000 m².
- Infraestructura para más de 13.000 personas.
- Fundaciones de pilotes.

Proyecto Unidad Angra II

Métodos constructivos tradicionales

- Procesos constructivos convencionales con moldajes y concreto bombeado.
- Montaje de la esfera de contención fue más complicado usando Manitowok de 80 m de altura, 50 de largo de más de 400 toneladas.
- Poco uso de elementos prefabricados.

Peak de mano de obra de construcción:

- 4.000 – 5.000 hombres
- Turnos de día y noche

Proyecto Unidad Angra II



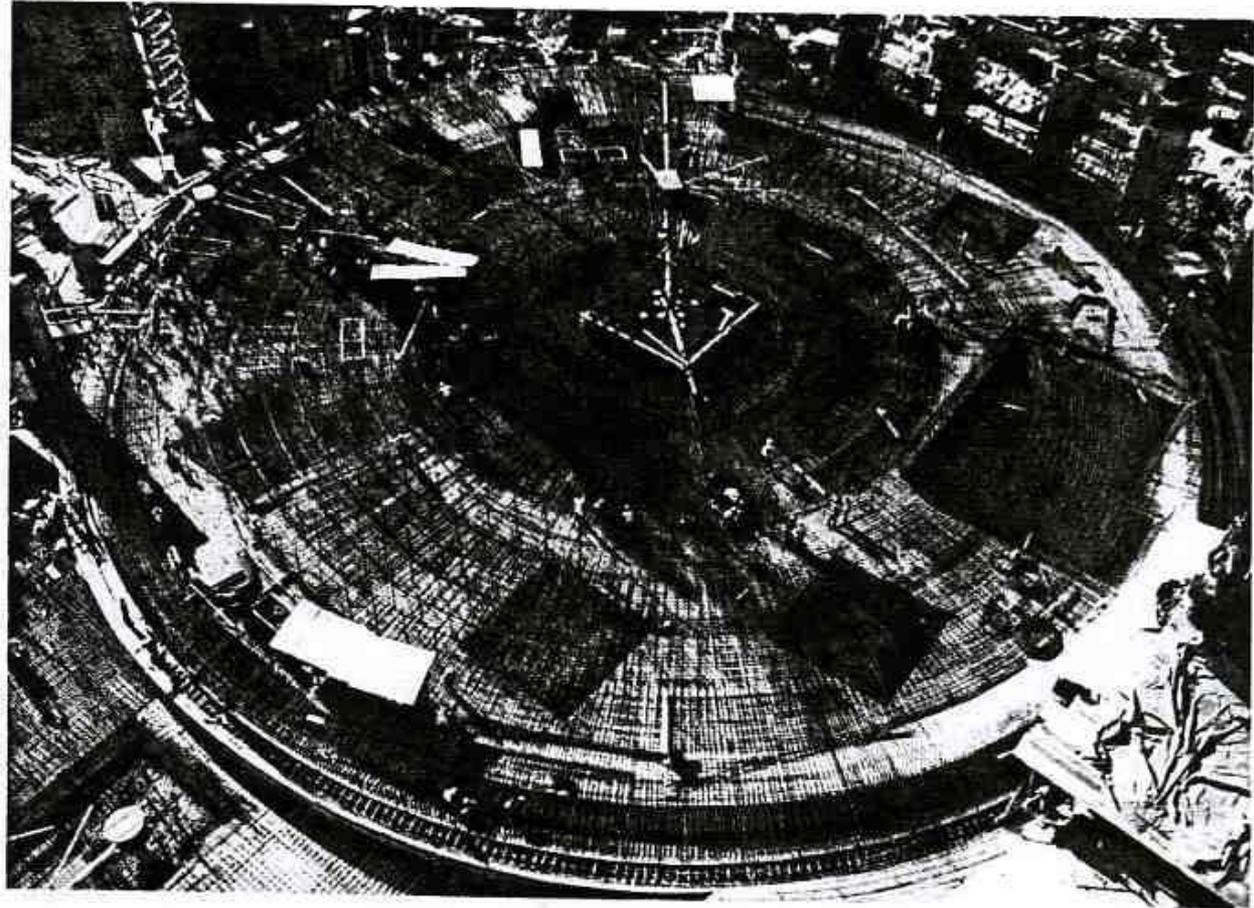
The great challenge of Units 2 and 3 is represented by their foundations by means of large bored piles. The main aspects of this work are:

Proyecto Unidad Angra II



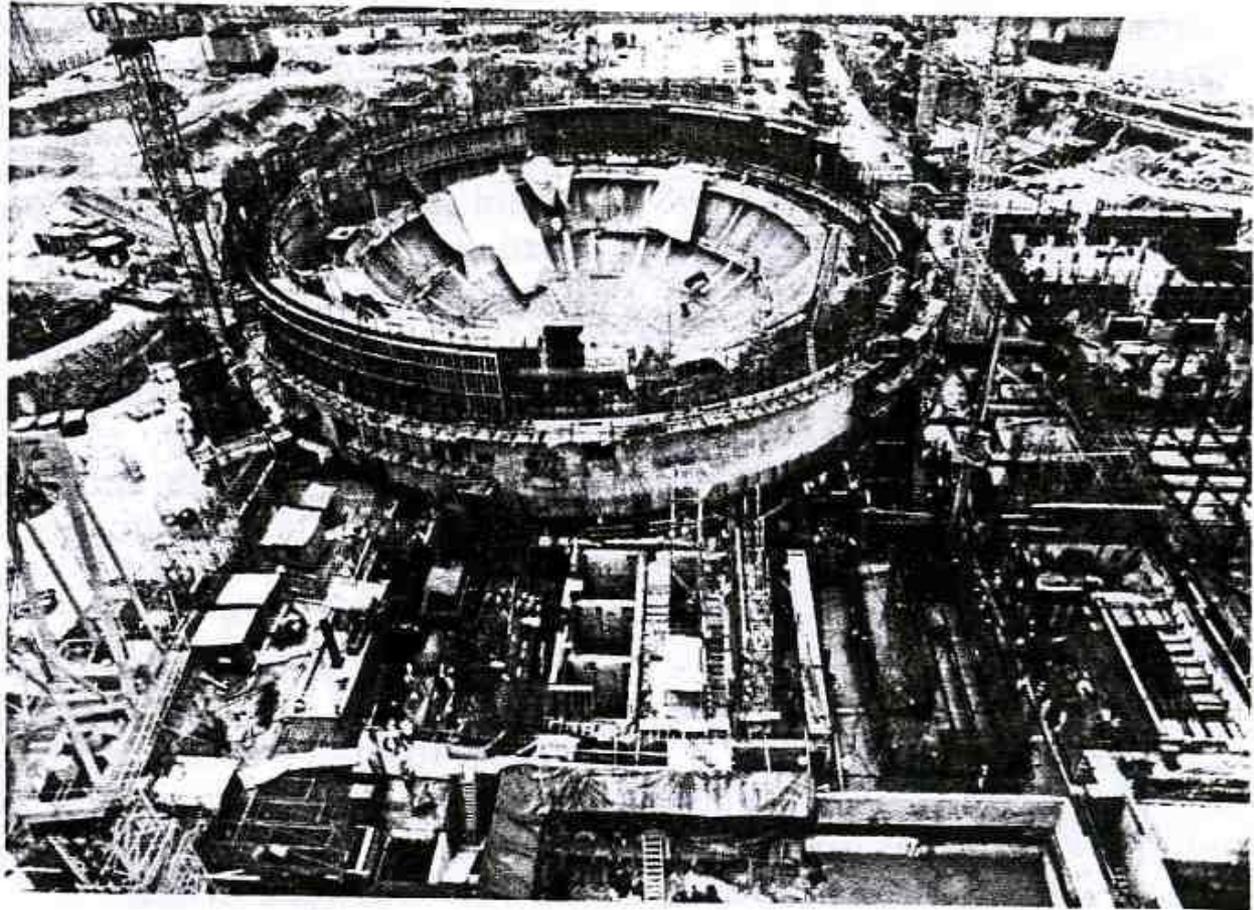
Proyecto Unidad Angra II

Evolução da construção da
central nuclear de Angra 2



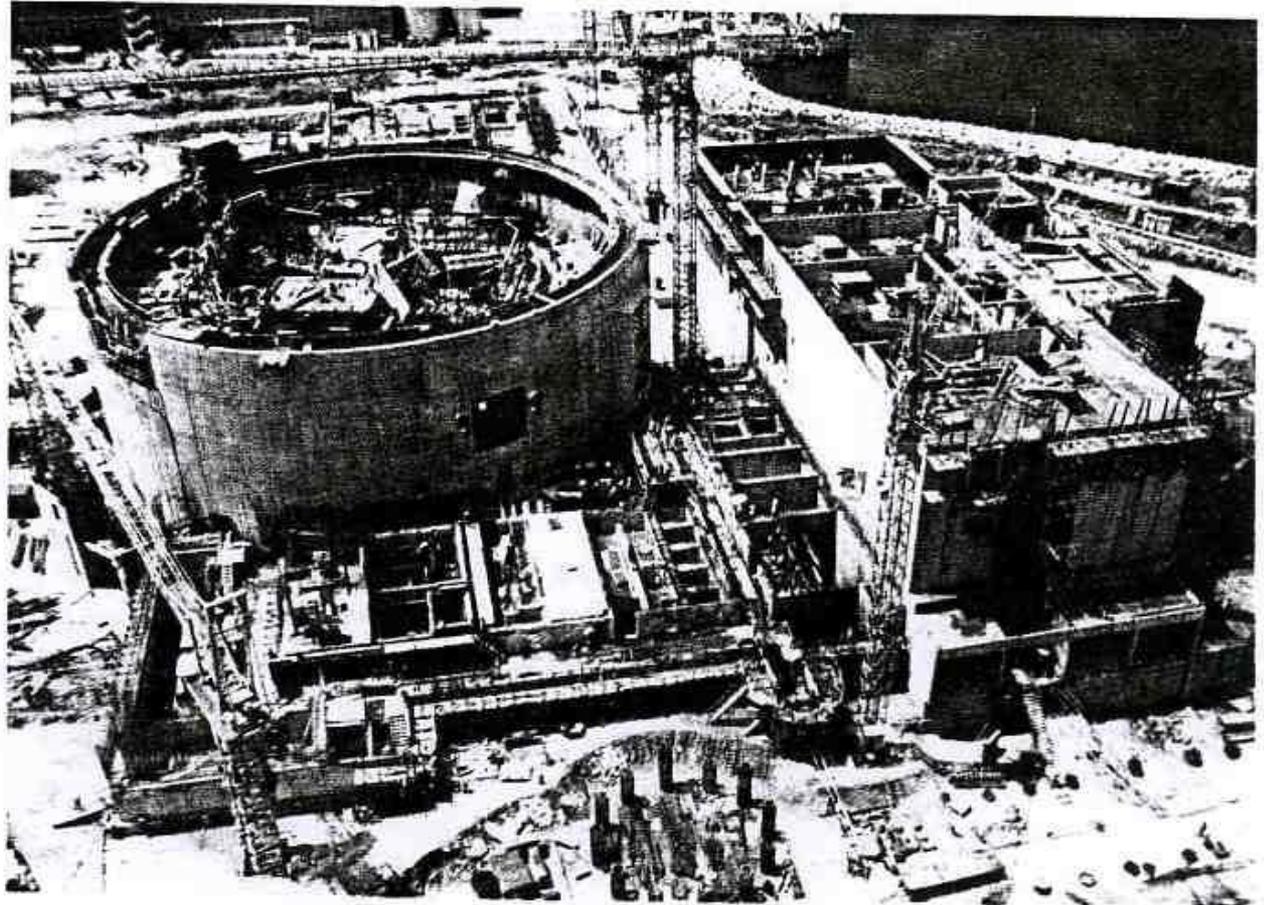
maio de 1982

Proyecto Unidad Angra II



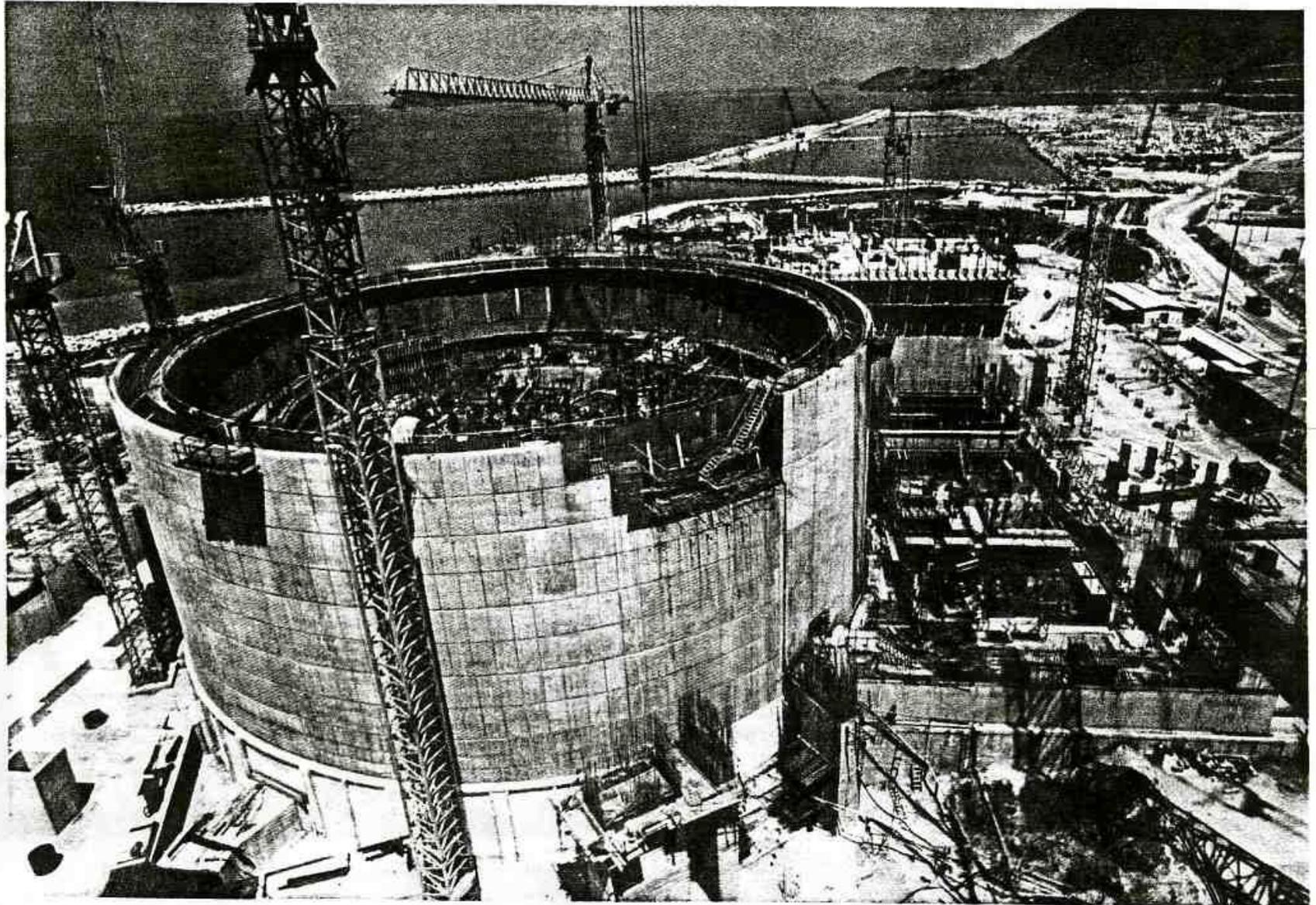
fevereiro de 1983

Projeto Unidade Angra II



Janeiro de 1985

Proyecto Unidad Angra II



Proyecto Unidad Angra II

Angra hoy

- Angra I y II operando satisfactoriamente.
- Críticas que se han efectuado al proyecto:
- Ubicación.
 - Zona sísmica
 - Agua corrosiva salada
 - Tecnología
 - Con 30 años al momento de partir.
 - Seguridad
 - 5 Km a la redonda sería insuficiente según algunas organizaciones ambientalistas.
 - Costos
 - Muy elevados



Futura Unidad Gen III en Chile

Agentes principales

- Nuclear Steam Supply System
- General Contractor: EPC.
- Suministradores de equipos
- Organizaciones de QA
- Contratistas de Construcción y Montaje.
- Licenciadores, certificadores.
- Otros.

Futura Unidad Gen III en Chile

Schedule

Para una Gen III: 5 años

- Preparación del sitio: 12 a 18 meses.
- Construcción: 36 a 42 meses.
- Comisionamiento: 6 a 12 meses.

Futura Unidad Gen III en Chile

Costos

55% equipos y tecnologías

30% Ingeniería Civil y Construcción (15% Isla Nuclear y 15% Parte no nuclear).

15% Gestión y actividades de soporte

Futura Unidad Gen III en Chile

Fase Ingeniería

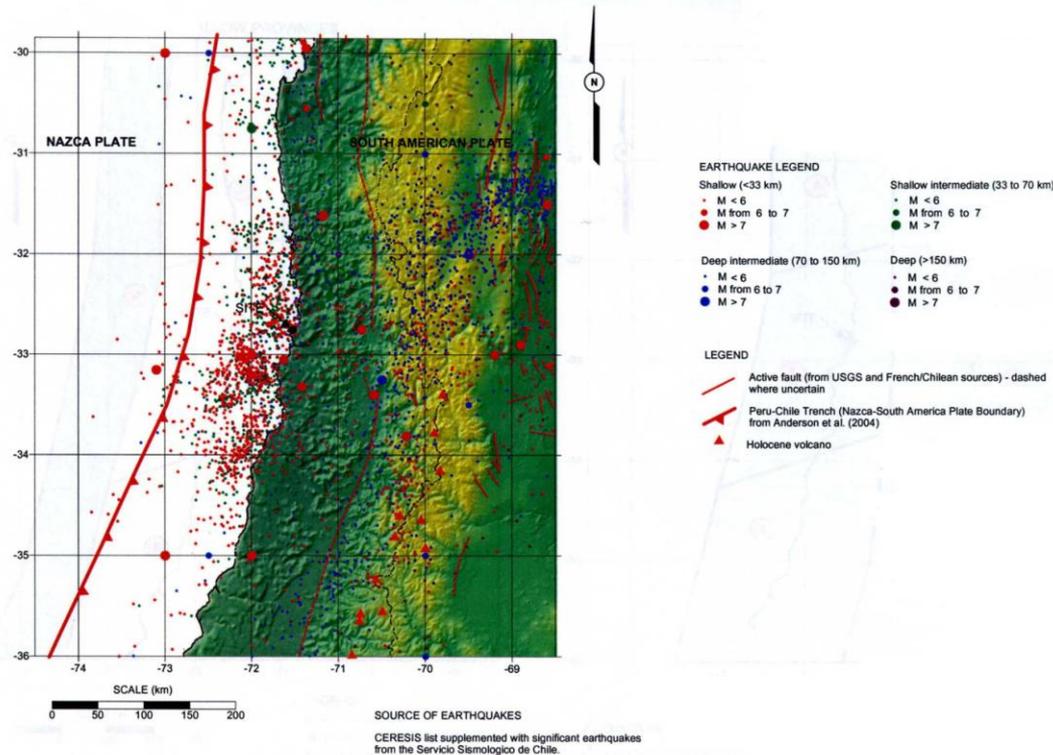
- Site Analysis
 - Económicos
 - Geotécnicos
 - Sociales
 - Ambientales
- Estudios de Riesgo Sísmico
- Ingeniería de Detalles de las Obras Civiles.
 - Se requerirá familiarizarse con software de modelos 3D

Futura Unidad Gen III en Chile Centrales Nucleares y Sismos

Dos niveles de parámetros sísmicos

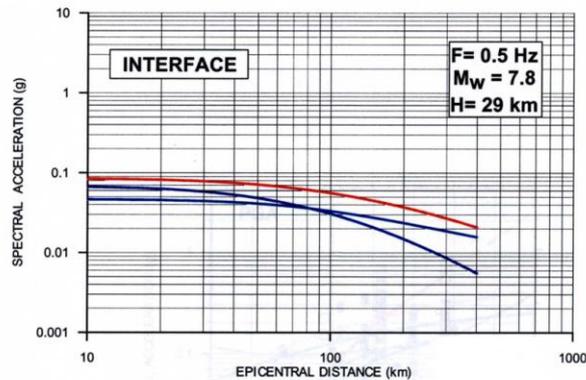
- Safe shutdown Earthquake (SSE)
- Operating Basis Earthquake (OBE)

Estructuras y Equipos se clasifican en categorías.



Futura Unidad Gen III en Chile

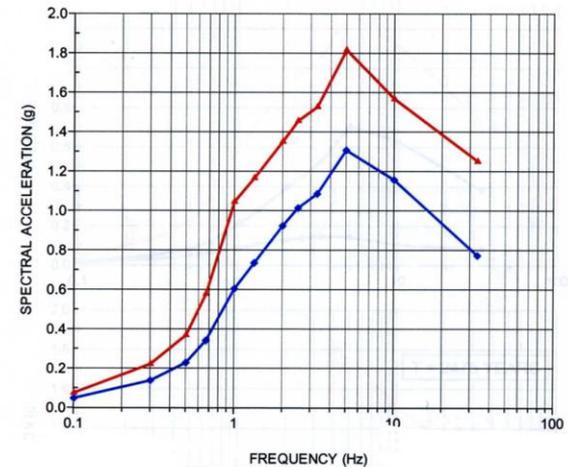
Para determinar los parámetros del OBE y SSE se efectúan Estudios de Riesgo Sísmico



LEGEND

- Crouse, 1991
- Youngs et al., 1997
- Atkinson and Boore, 2003

FIGURE 20



LEGEND

- 2475 YEAR RETURN PERIOD
- 475 YEAR RETURN PERIOD

Futura Unidad Gen III en Chile

Los espectros se definen generalmente en la roca emergente.

Se requiere adaptarlos a las condiciones reales de los suelos.

Para el estudio de equipos se requiere la Generación de los Espectros por Piso

Futura Unidad Gen III en Chile

Fase Construcción

- Construcción de obras civiles.
- Montajes electromecánicos de equipos no nucleares y parcialmente de algunos nucleares.

Se requerirá:

- Personal calificado (“Having the right people is more important than having the right number of people”).
- Capacitación y entrenamiento.
- Los NSSS vendors y el Contratista EPC exigirán el cumplimiento de Sistemas de Aseguramiento y Control de Calidad mucho más severos que los conocidos en Chile.
- Especialista de NDT.

Futura Unidad Gen III en Chile

Mano de Obra de Construcción

Craft Description	Craft Percent	Peak Personnel Average Single Unit
Mont. Caldereros	4	60
Carpinteros	10	160
Instaladores Eléctricos/Instrumentistas	18	290
Montajistas estructuras	18	290
Instaladores de aislación	2	30
Obras trabajo pesado	10	160
Albañil	2	30
Montajista mecánico	3	50
Ingenieros de terreno	8	130
Pintores	2	30
Montajista piping	17	270
Montajista revestimientos	3	50
Operadores de vehículos	3	50
Total Construction Labor	100	1600

Futura Unidad Gen III en Chile

Personal en la obra total

Personnel Description	Peak Personnel Average Single Plant
Mano de Obra	1600
Supervisión	80
Trabajos Indirectos	160
Control de calidad	40
NSS Vendor y Staffs	140
EPC Contractor's Managers, Engineers, and Schedulers	100
Owner's O&M Staff	200
Start-Up Personnel	60
NRC Inspectors	20
Total	2400

Futura Unidad Gen III en Chile

Equipos especiales de Construcción

- Grúas ultrafuertes
(VHL): 1200 Ton, $r=40$ m
- Máquinas para corte y doblaje automático de enfierraduras.
- Máquinas para doblado de tubos.

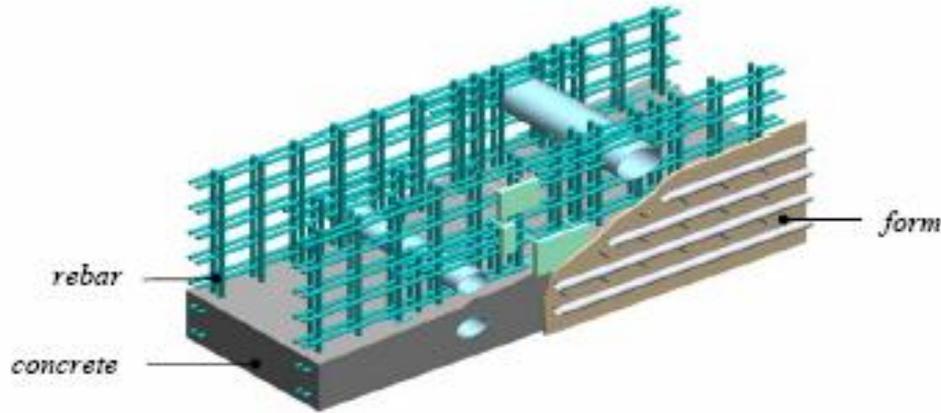
Futura Unidad Gen III en Chile

Materiales de Construcción

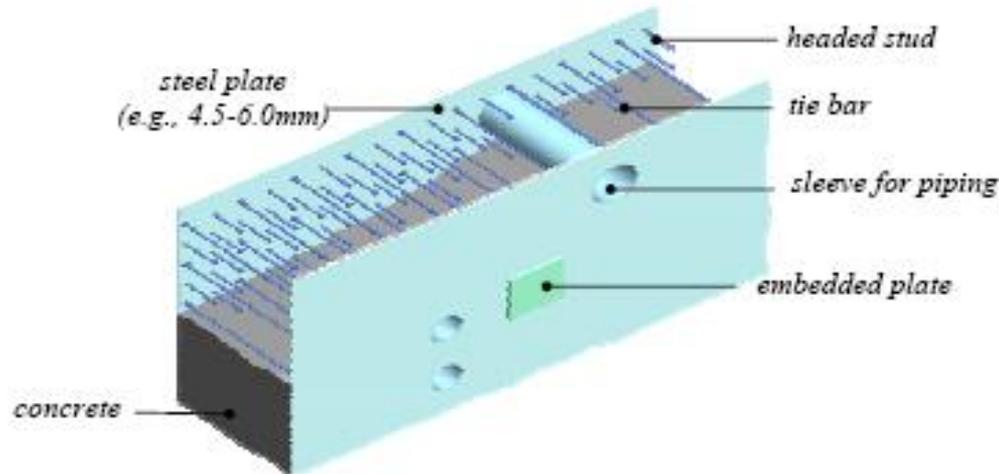
Hormigón	350.000 m ³
Acero refuerzo	30.000 ton
Acero estructural	15.000 ton
Tubo $\geq 2\frac{1}{2}$	100 Km
Tubo $< 2\frac{1}{2}$	150 Km
Bandejas cables	70 Km
Conduit	400 Km
Cable poder	450 Km
Cable Control	1800 Km

Nuevas tecnologías en Plantas Gen III

- Estructuras de concreto reforzados por planchas



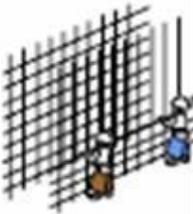
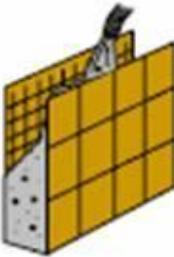
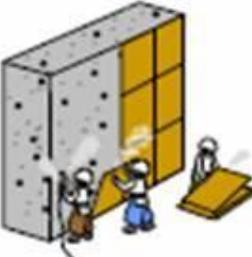
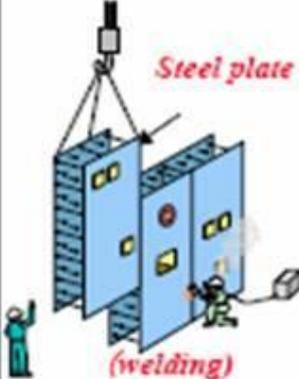
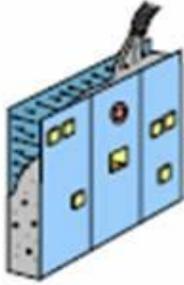
Reinforced Concrete



Steel-Plate Reinforced Concrete

Nuevas tecnologías en Plantas Gen III

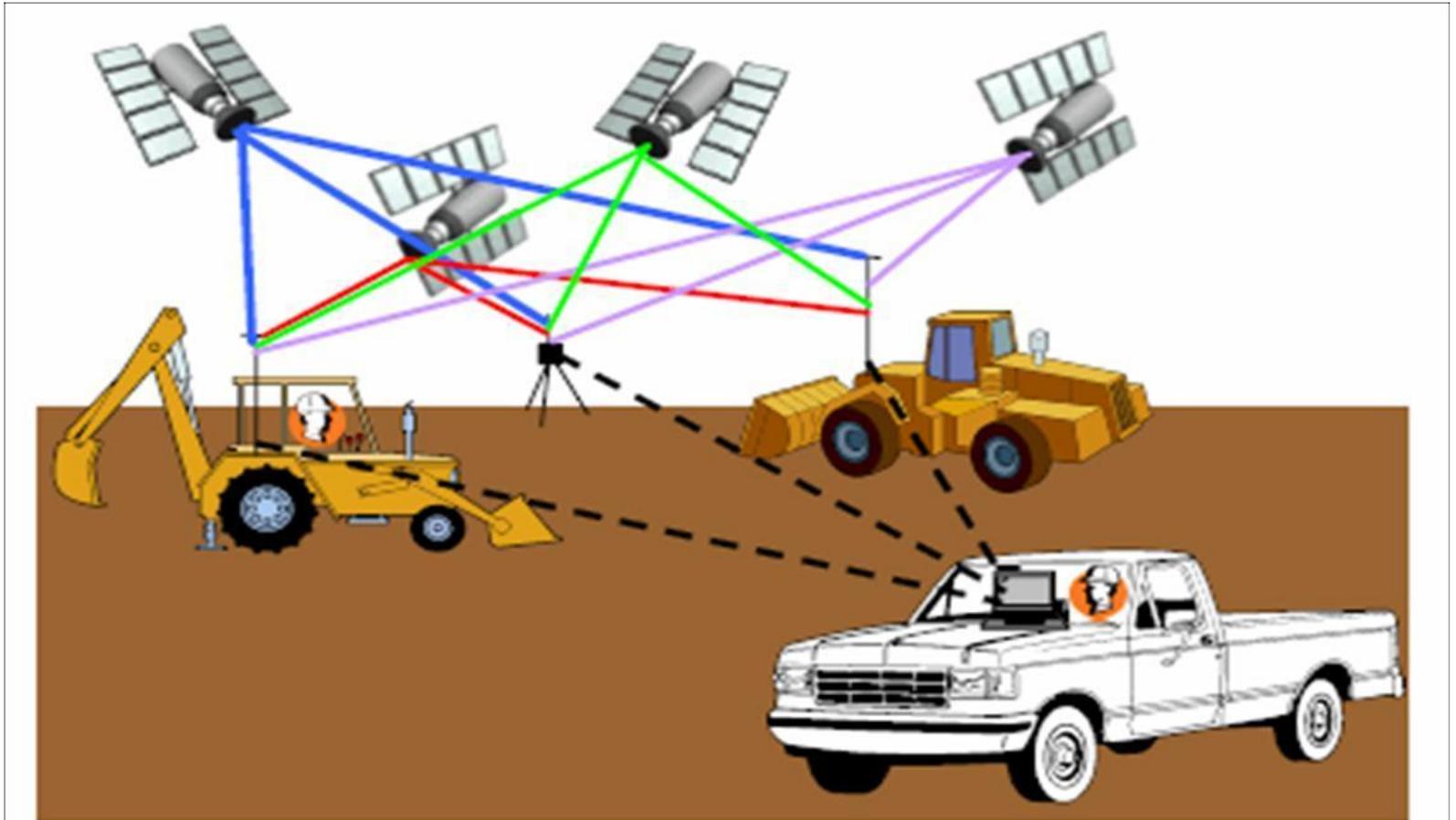
- Estructuras de concreto reforzados por planchas

<i>Work Structure</i>	<i>Rebar arrangement</i>	<i>Form work (assembling)</i>	<i>Placing concrete</i>	<i>Form work (removal)</i>
RC		 <i>Wooden form</i>		
<i>28days</i>	<i>13days</i>	<i>7days</i>	<i>4days</i>	<i>4days</i>
SC	—	 <i>Steel plate</i> <i>(welding)</i>		—
<i>14days</i>	—	<i>10days</i>	<i>4days</i>	—

Comparison of Construction Schedules for Reinforced Concrete

Nuevas tecnologías en Plantas Gen III

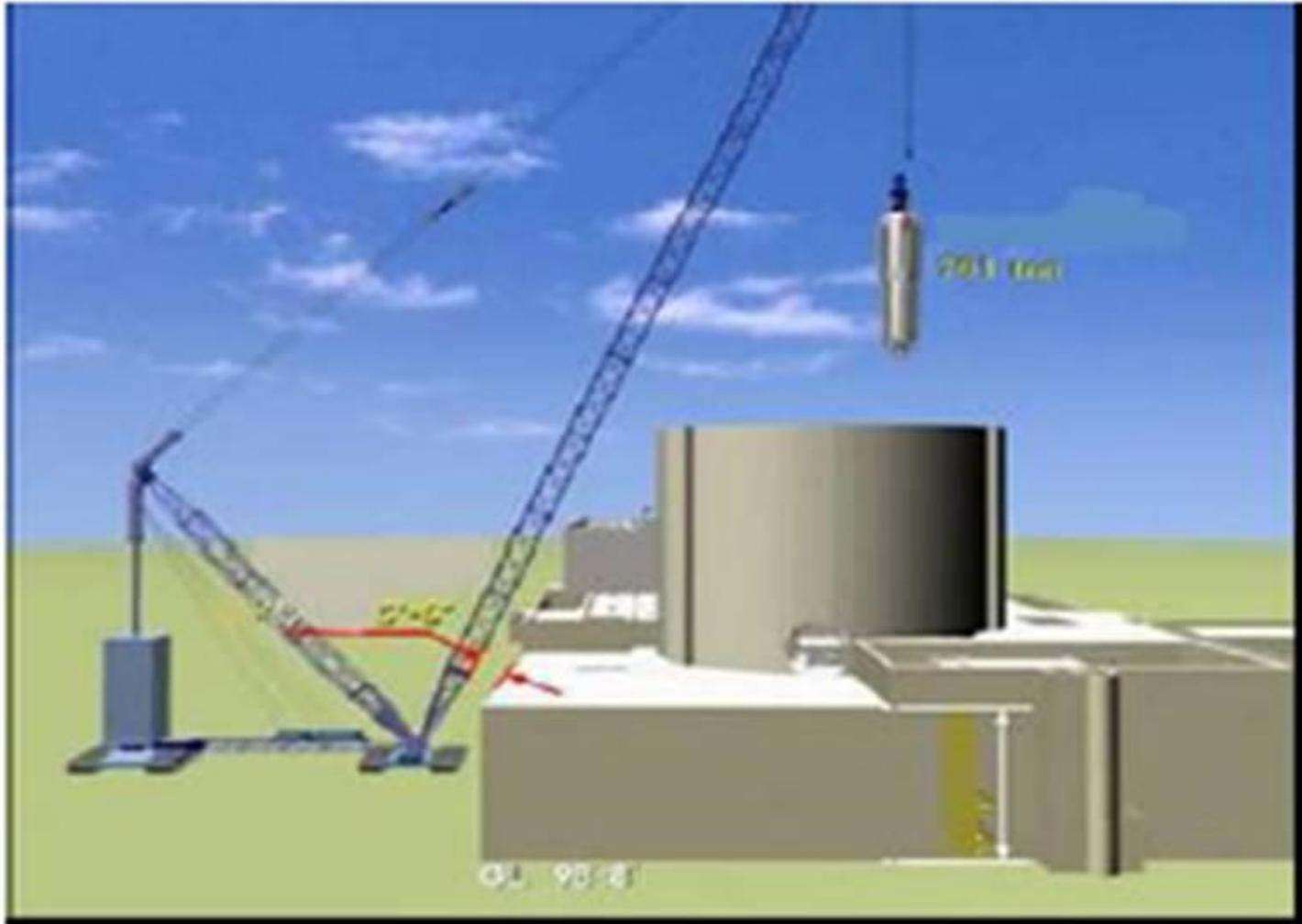
- Técnicas en base a GPS



GPS Information Tracking During Site Land Development

Nuevas tecnologías en Plantas Gen III

- Instalación Open Top

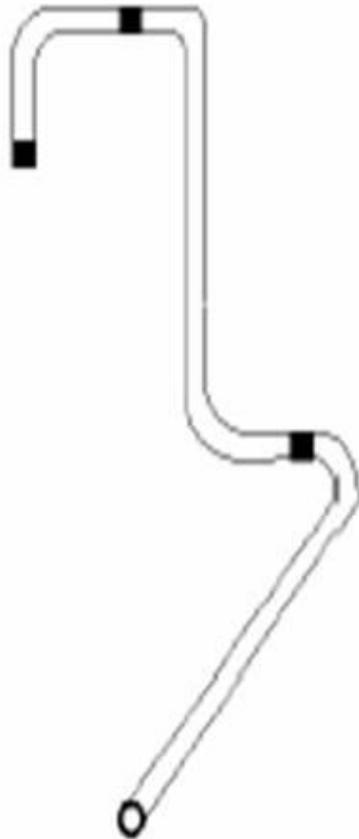


Open-Top Installation

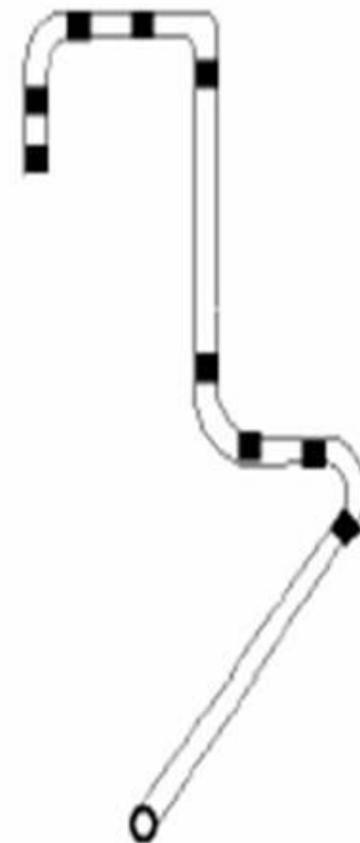
Nuevas Tecnologías en plantas Gen III

- Doblado de tubos.

elbowless piping



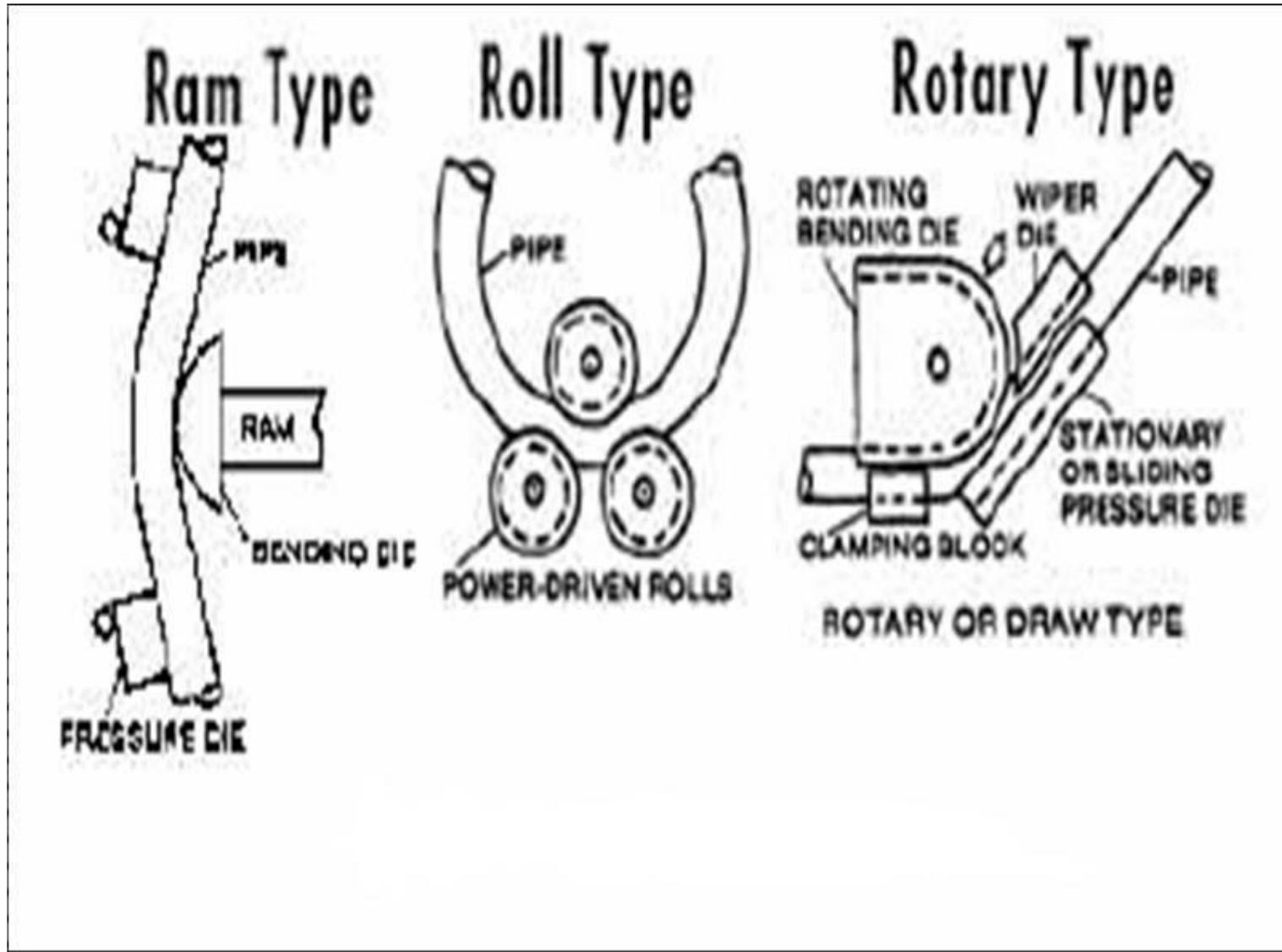
elbow piping



Comparison of Piping System Construction Pipe Bends vs. Welded Elbows

Nuevas Tecnologías en plantas Gen III

- Doblado de tubos.



CONCLUSIONES

- La ingeniería chilena está en condiciones para desarrollar la Ingeniería de Detalles de las Obras Civiles de una Planta Nuclear.
- Para las fases de Construcción y sobretodo montaje existirá una demanda de personal calificado que será más difícil de cubrir. La experiencia de otras centrales en sudamérica indican lo mismo.

REFERENCIAS PRINCIPALES

- Constructora Norbert Odebrecht “Civil Construction Experience with Nuclear Power Plants”.
- MPR-2610, MPR-2776, Dot.
- Nuclear, KWM, “Reactor a Agua Pressurizada”
- NRC, Regulatory Guide 1.165