

295
103



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

Garantía de Calidad en la Obra Civil de la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Veracruz

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a :

PEDRO REYES CARRAL

México, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-364

Señor PEDRO REYES CARRAL,
P r e s e n t e .

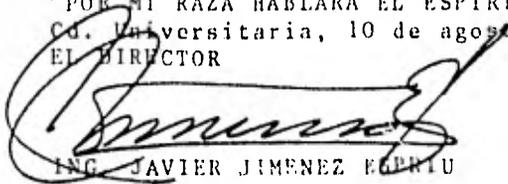
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Alberto Coria Ilizaliturri, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

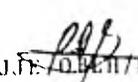
"GARANTIA DE CALIDAD EN LA OBRA CIVIL DE LA PLANTA NUCLEOELECTRICA DE LAGUNA VERDE, VERACRUZ"

- I. Consideraciones generales.
- II. Factores de localización del sitio de una planta nucleoelectrónica.
- III. Edificios que constituyen una planta nucleoelectrónica.
- IV. Diferentes tipos de reactores comerciales.
- V. Garantía de calidad nuclear.
- VI. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t o
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 10 de agosto de 1982
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


J.F. DEL REAL/ser

I N D I C E .

Pag.

C A P I T U L O I

Consideraciones Generales	1
Plantas Generadoras de Energía Eléctrica.	11
Ventajas de una Planta Nucleoeléctrica, sobre una Termoeléctrica.	18

C A P I T U L O II

Factores de Localización del sitio de una Planta Nucleoeléctrica.	27
Introducción al Diseño estructural de la Planta	38

C A P I T U L O III

Edificios que constituyen una Planta Nucleoeléctrica.	45
Descripción de los Principales Edificios de Laguna Verde.	55

C A P I T U L O I V

Diferentes tipos de Reactores Comerciales.	71
-----------------------------------------------	----

C A P I T U L O V

Garantía de Calidad Nuclear.	85
Seguridad Nuclear.	88
Documentación.	96
Criterios de Garantía de Calidad para Plantas Nucleares y Plantas de Reprocesamiento de Combustible.	103
Procedimiento de Colocación de Concreto.	122

C A P I T U L O V I

Conclusiones.	134
---------------	-----

BIBLIOGRAFIA.	136
---------------	-----

C A P I T U L O I

CONSIDERACIONES GENERALES

Desde el descubrimiento de la fisión nuclear en 1939, el hombre ha hecho rápidos progresos en el descubrimiento de medios para usar esta poderosa fuente de energía. En 1942, científicos e ingenieros norteamericanos lograron construir el primer Reactor Nuclear, en el que se pudo producir una reacción en cadena automantenida. Debido a la Segunda Guerra Mundial, los primeros esfuerzos para aplicar esta nueva fuente de energía, se dirigieron hacia el desarrollo de la bomba atómica. Inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial, -- fue ampliamente aceptado que la energía nuclear o atómica podría tener importantes aplicaciones en beneficio de la humanidad. Este reconocimiento fue el resultado de que Estados Unidos haya ganado la guerra, con relati

vos conocimientos de los procesos nucleares.

Se pensó que además de las aplicaciones de la energía nuclear en la investigación científica, en medicina, agricultura y en la industria, la energía nuclear podría ser benéfica en las aplicaciones industriales como la generación de energía eléctrica. Se reconoció -- también que la energía nuclear sería un importante recurso cuya introducción inmediata ayudaría a conservar y dar mejores usos a las reservas de combustibles fósiles.

Actualmente, la electricidad comercial se puede producir principalmente, gracias a:

- La energía del agua en una planta hidroelétrica.
- El calor que proviene de la combustión de hidrocarburos fósiles como el carbón, petróleo y el gas en plantas térmicas convencionales.
- El vapor que emana de las profundidades de la tierra y que es controlado por tuberías y llevado hasta un turbogenerador, el cual es movido

do por la fuerza del vapor emanante.

- El calor provocado por la fisión de átomos de uranio y plutonio, (átomo producido en los reactores nucleares a partir del uranio), en el reactor de una planta nuclear.

Existen otras fuentes de energía tales como: la solar, del viento y del oleaje. Todas éstas fuentes se encuentran en proceso de investigación y desarrollo. No se puede hablar de ellas en forma comercial, ya que el generar energía eléctrica por estos medios resulta - antieconómico, o sea, que solo nos enfocaremos a hablar de las fuentes antes mencionadas.

En las plantas térmicas convencionales o plantas termonucleares, la energía calorífica se transforma en energía mecánica y, después en energía eléctrica. La diferencia esencial entre una planta y otra, reside en la caldera donde se produce el calor y en el combustible usado en esa caldera.

Las centrales térmicas convencionales, funcionan en circuito abierto, consume además de carbón y petróleo una gran cantidad de oxígeno y, despiden a la at-

mósfera una cantidad de gases de combustión, que son un factor importante de contaminación. La caldera de una central nuclear trabaja en un circuito cerrado. Lo -- cual indica que es una energía limpia, lo que no quiere decir que esté exenta de peligro.

El concepto popular de la energía nuclear es que es esencialmente un recurso infinito, el papel actual es considerablemente más complicado. Los hechos - muestran el presente formado de reactores nucleares, - los cuales pueden proveer de energía a un costo más económico que las fuentes convencionales. Uno de los temores del uso de estos reactores radica en que no se conoce a ciencia cierta las reservas de uranio para poder - mantener en funcionamiento estos reactores que cada día adquieren más aceptación.

La tecnología de estos reactores, requiere de combustible que ha sido enriquecido por el isotopo U^{235} , el enriquecimiento de estos minerales es un proceso cosoto. Para producir energía competitiva, por este me-- dio, existe un mínimo de concentración del uranio, el - cual debe estar presente en el mineral para que pueda - ser considerado reserva.

A pesar de que se esperaba que la capacidad -- instalada de los reactores creciera en forma sorprendente en los últimos años de la década de los 70's y principio de los 80's, cientos de miles de megawatts fueron cancelados y, el crecimiento ha sido solamente de un -- 25% de los proyectado, esto en cuanto a Estados Unidos se refiere. La agencia de Energía Nuclear y la Agencia Internacional de Energía Atómica, completaron un estu--dio en 1979, el cual reportaba reservas probadas de uranio de 750 000 ton., en Norteamérica, de las cuales las dos terceras partes se localizaban en Estados Unidos de América. De esta forma se sabía que la capacidad de la industria norteamericana, tenía un nivel de 100 000 Mwe, la reserva sería suficiente solo para 30 años. Aunque la exploración para nuevas reservas de uranio continúa, es difícil saber con certitud que tanto de la capacidad nuclear cancelada es debido a este factor y, que tanto se han cancelado debido al licenciamiento e implementación de mayores medidas de seguridad.

La industria de la energía nuclear, puede dividirse en cinco categorías generales de organizaciones:

- La Comisión Nuclear Reguladora.

- Empresas Públicas.

- Ingenieros - Arquitectos y Constructores.

- Vendedores de Equipos y Sistemas'

- Compañías de Ingenieros Consultores.

Cada organización, tiene una función específica en el diseño, construcción, autorización y operación de una planta comercial nuclear de potencia. Esta función es flexible y puede variar de una planta a otra. La empresa pública, que planea una planta comercial de energía nuclear como una adición a su sistema, asume el papel del comprador y del propietario. En el caso de México, la Comisión Federal de Electricidad, es quien asume este papel para la construcción de dos unidades nucleares en Laguna Verde, Veracruz. El propietario es responsable globalmente del diseño, construcción, licencia, operación y de la seguridad de la planta nuclear. Desde la concepción de la planta, el propietario debe asumir la responsabilidad de las diversas fases de ingeniería y operación, aún cuando otra organización pueda suministrar una gran parte de la ingeniería y la planeación antes de la operación a potencia total.

El propietario, puede y en muchos casos lo hace, delegar una gran parte del diseño detallado de ingeniería y análisis, construcción y aún, fases de la preparación de la licencia. Sin embargo, el propietario no puede descargarse de la responsabilidad de la seguridad de la planta nuclear de potencia, aún si la autoridad para las decisiones pertinentes ha sido delegada.

Los planes para delegar las diversas tareas de ingeniería de construcción, es tan variado, como el número de empresas públicas. Algunas empresas, con numeroso personal de ingeniería y una o más plantas nucleares en operación, pueden hacer todo o casi todo, el diseño detallado y el análisis de la planta nuclear, así como asumir la responsabilidad para la solicitud de la licencia y la construcción. Otras empresas que apenas se han iniciado en el campo nuclear, pueden delegar todos los aspectos de ingeniería y construcción a compañías consultoras de ingeniería calificadas, pero revisarán el análisis y retendrán el poder de decisión para hacerlos.

Al delegar estas funciones, la empresa no puede descargarse de la responsabilidad global de la seguridad de la planta.

TIPOS DE REACTORES.

Hasta hoy, en los Estados Unidos, existen --- tres clases de reactores que comercialmente están dispo_nibles para usarse en una planta nuclear de potencia. Estos reactores son: El Reactor de Agua Presurizada -- (PWR), el Reactor de Agua Hirviente (BWR) y el Reactor de Elevada Temperatura, enfriado por gas (HTGR). Ade-- más el Reactor Rápido de Cría de Metal Líquido (LMFBR), se encuentra en desarrollo para aplicaciones comercia-- les.

La fuente de energía térmica, en una planta - nuclear de potencia es el reactor. Esta energía térmi- ca es transferida del núcleo del reactor a un fluído -- operante llamado el refrigerante.

El refrigerante, puede producir vapor directa_ mente al hervir o puede transferir calor a un circuito secundario de agua para producir vapor. El vapor produ_ cido se usa para mover un sistema turbina-generador, el cual convierte la energía del vapor en energía eléctri- ca. Los reactores pueden clasificarse de acuerdo con - el tipo de refrigerante, usado para transferir el calor

desde el núcleo del reactor.

Los reactores BWR y PWR, son enfriados con -- "agua ligera", de allí que se use a veces el término -- "reactores de agua ligera". El agua ligera es H_2O , ordinaria a diferencia del "agua pesada", que es óxido de deuterio (D_2O). El agua pesada ha sido usada en reactores de investigación en Estados Unidos y en reactores - de potencia comerciales en Canadá. El uso del agua pesada en una planta comercial de potencia, permite usar como combustible del reactor, uranio natural en lugar - de uranio enriquecido. No obstante, el agua pesada tiene la desventaja de ser muy cara. En las figuras 1 y 2, se muestra esquemáticamente el funcionamiento de los -- reactores PWR y BWR, respectivamente.

Alrededor de los años sesenta, florecen en Estados Unidos, Canadá, Francia, R.F.A., Gran Bretaña y - la U.R.S.S., numerosos prototipos de centrales electro- nucleares; se producían entonces en el mundo 12 000 MWE, a partir de 29 reactores nucleares. Sin embargo, diez años después, no llegaba a exceder el 3% de la producción mundial de electricidad.

En 1973, el precio del petróleo sufre considera

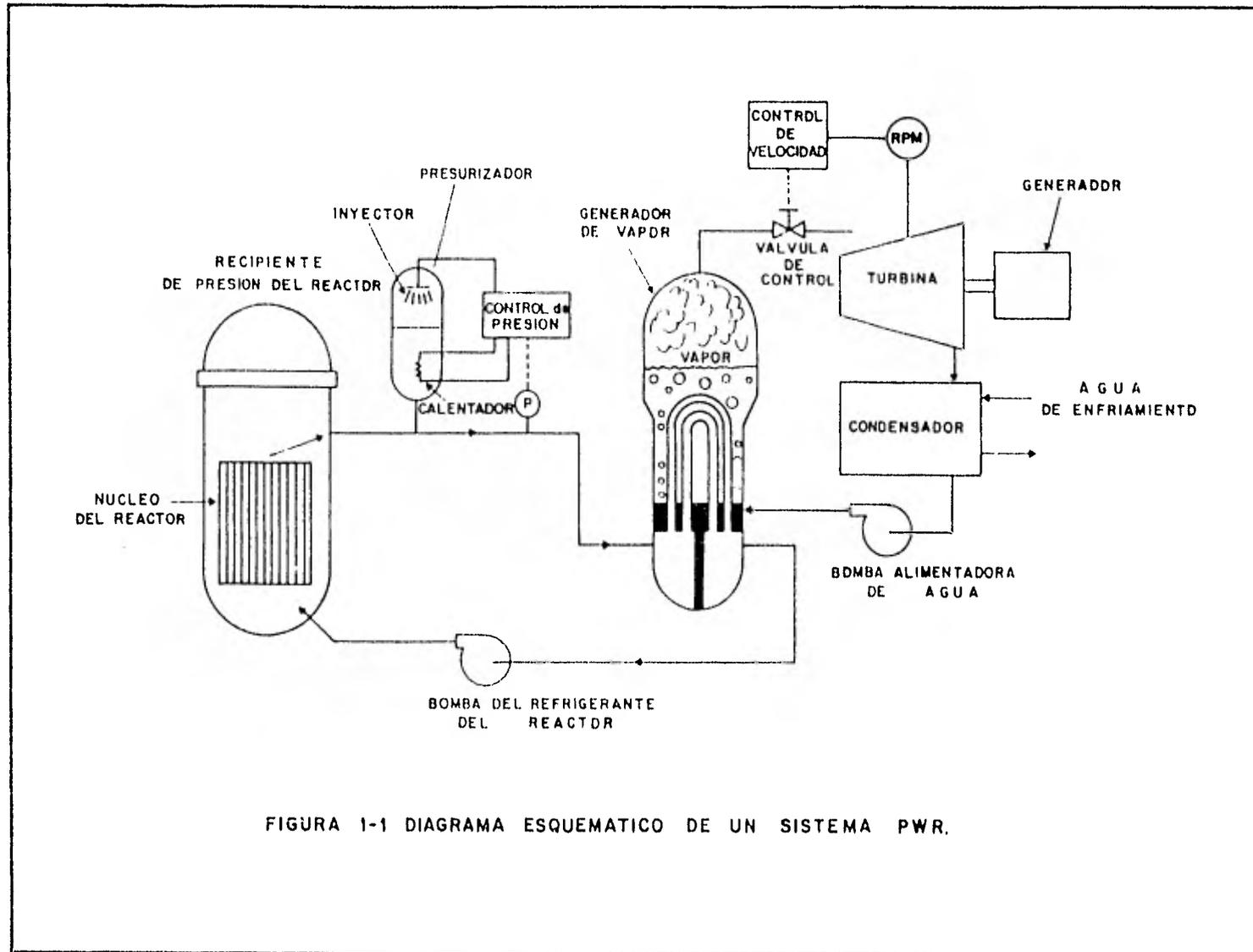


FIGURA 1-1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SISTEMA PWR.

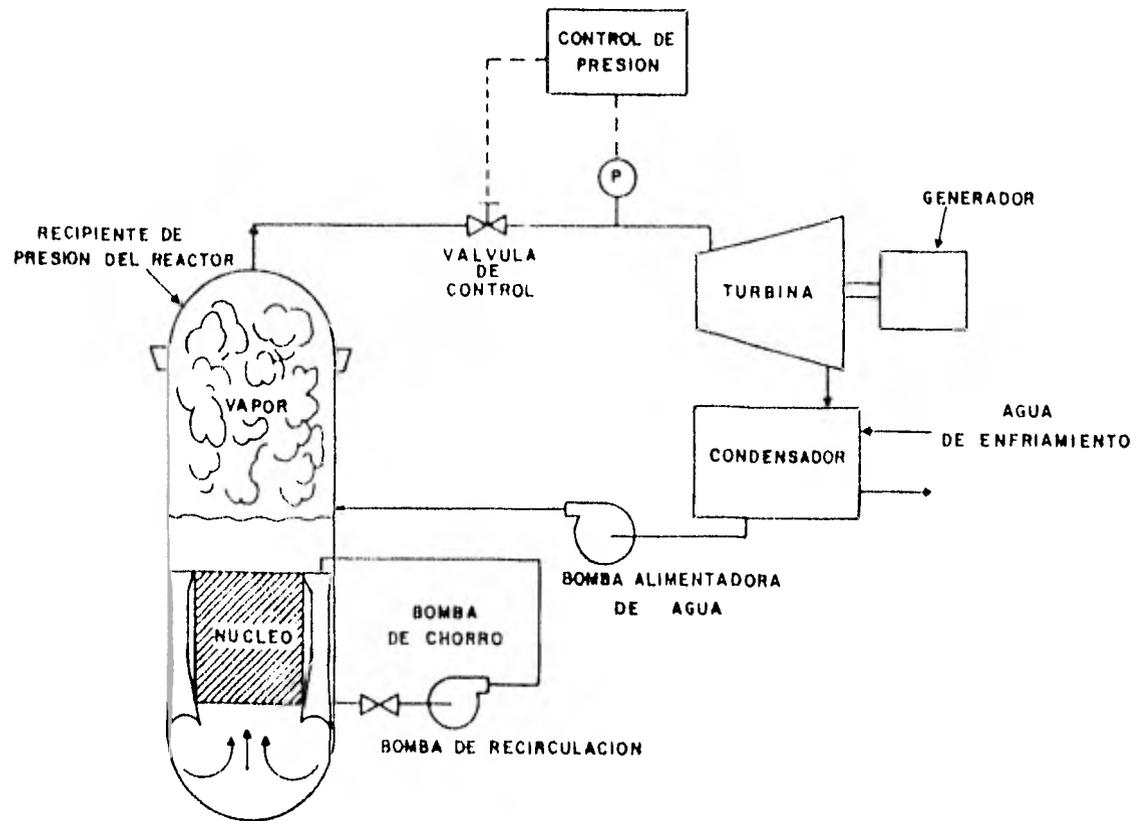


FIGURA 1-2 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SISTEMA BWR.

rables aumentos, por tanto en los países dependientes - de las importaciones de hidrocarburos, se estimuló el - desarrollo de la energía nuclear. Para 1978, se produ- cían 110 000 MWe, a partir de 219 reactores repartidos entre 22 países.

Una planta Nucleoeléctrica, está construída a prueba de terremotos, ciclones, caída de aviones y pro- tegida contra amenazas terroristas; puede resistir a -- cualquier tipo de accidentes, tanto naturales como pro- ducidos por el hombre. Su vida útil, está calculada en un mínimo de treinta años, pero, por precaución se ad- mite algunas veces una vida comercial de unos veinte -- años.

PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA ELECTRICA

Aunque cantidades limitadas de electricidad pueden ser generadas por muchos medios, incluyendo reacciones químicas y generadores de gasolina, la generación de energía eléctrica implica generalmente generación en gran escala en plantas estacionarias para ese propósito. Las unidades generadoras en estas plantas convierten energía de las caídas de agua, carbón, gas natural, petróleo y combustibles nucleares en energía eléctrica. La mayoría de los generadores son manejados, ya sea por turbinas hidráulicas para la conversión de la energía de la caída del agua, o por turbinas de gas o vapor, para la conversión de la energía del combustible. Un uso limitado de la energía geotérmica se está haciendo, y el trabajo desarrollado en el uso de energía solar está progresando, aunque no se puede hablar de cantidades industriales en ninguna de estas dos últimas formas de generación de energía eléctrica.

Las plantas generadoras de energía eléctrica, están normalmente interconectadas por un sistema de -- transmisión y distribución para servir las cargas eléctricas en una área o región dada.

La carga total sobre cualquier sistema de -- energía es raramente constante; además varía ampliamente dentro de los siguientes rangos: por hora, semana, mes y año.

Las cargas máximas, resultantes de condiciones temporales son llamadas cargas pico. La energía -- eléctrica no es factible que sea almacenada en grandes cantidades; por lo tanto la operación de plantas generadoras debe ser coordinadamente de cerca con las fluctuaciones de la carga.

Las variaciones actuales en la carga, con el tiempo son registradas y de estas gráficas se pueden -- realizar ciertos pronósticos para conocer las probables variaciones de la carga en el futuro. Un estudio de -- gráficas de carga cada hora, indica la generación que -- puede ser requerida en una hora dada del día, semana o mes, o bajo condiciones de tiempo poco usuales. Un estudio de las gráficas de carga anuales, indica el rango

al cual nuevas plantas generativas deber ser construí--
das. Las gráficas de carga y pronósticos, son una par--
te inseparable de la operación de la planta y son las -
bases para las decisiones que profundamente afectan los
requerimientos financieros y el desarrollo total de una
planta.

PLANTAS GENERADORAS.

Son tres las principales plantas generadoras
de energía eléctrica: Hidroeléctricas, Termoeléctricas
y Nucleoeléctricas.

PLANTAS HIDROELECTRICAS.

Este tipo de planta de generación, utiliza la
energía potencial liberada por el peso del agua cayendo
a través de una distancia vertical, llamada carga hi--
drostática. Una planta consiste básicamente de una pre--
sa para almacenar el agua y crear la carga hidrostática,
una compuerta para liberar la caída del agua a la turbi

na, una turbina hidráulica para convertir la energía hidráulica liberada en energía mecánica, un generador de corriente alterna (alternador para convertir energía mecánica en energía eléctrica y todo el equipo de accesorios para controlar el flujo, voltaje y frecuencia, y - para brindar la protección requerida).

Plantas hidroeléctricas por almacenamiento de bombeo, están siendo usadas más cada vez. Bajo condiciones geográficas y geológicas, la energía eléctrica - puede, en efecto, ser almacenada por bombeo de agua de una elevación baja a una elevación alta y subsecuente-- mente liberando esta agua a la elevación más baja a través de las turbinas hidráulicas. Estas turbinas y sus generadores asociados, son reversibles. Los generadores, operando en dirección reversa como motores, manejan sus turbinas como bombas para elevar el agua. Cuando esta agua es liberada a través de las turbinas, la - energía eléctrica es producida por los generadores. Un rendimiento relativamente alto, usualmente del orden de 65-75%.

Puesto que sistemas de carga, pocos son usualmente de corta duración, la salida alta disponible por un corto tiempo desde el almacenamiento por bombeo pue-

de ser usada para suministrar este pico. Durante las horas sin pico (de 1 A.M. a 7 A.M.), la capacidad de energía sobrante de los recursos de energía de los sistemas más económicos, pueden ser usados para regresar el agua por bombeo al espacio de almacenamiento elevado para uso en el siguiente pico. Este tipo de operación, ayuda al mantenimiento del factor de capacidad alto en generación primaria, resultando más económico.

Las plantas de almacenamiento por bombeo pueden ser llevadas a cargar, mucho más rápido que grandes plantas de vapor y por esto contribuir a la confiabilidad del sistema al proveer una reserva disponible inmediatamente contra las pérdidas de otra generación no programadas.

PLANTAS ELECTRICAS DE COMBUSTIBLES FOSILES.

Este tipo de planta, utiliza la energía de combustión de carbón, petróleo o gas natural. Una planta grande típica, consiste de edificios que procesan y manejan el combustible, un horno y un calentador, para producir y calentar a grandes temperaturas al vapor,

una turbina de vapor, un alternador y el equipo de accesorios requeridos para protección de la planta y para control de voltaje, frecuencia y flujo de potencia.

Una planta de vapor, puede ser frecuentemente construída cerca de un centro de carga conveniente, provisto de un adecuado abastecimiento de agua de enfriamiento y que el combustible esté accesible y sea fácilmente adaptable, ya sea a cargas base o intermedias o cargas pico. Las restricciones del medio ambiente requieren de un control cuidadoso de emisiones contaminantes con respecto a óxidos de sulfuros y partículas. Torres de enfriamiento o estanques son requeridos a menudo para deshechos de disipación de calor. Las plantas turbogas, no requieren condensador de agua de enfriamiento (a menos que estén combinadas con un ciclo de vapor), tienen un costo capital de unidad bajo relativamente y relativamente alto del costo de combustible por unidad, y son ampliamente utilizadas por servicios picos.

Se han estado teniendo avances en el desarrollo de generadores magnetohidrodinámicos para ser usados en conjunción con turbinas de vapor normales para mejorar la eficiencia de conversión térmica total.

PLANTAS NUCLEOELECTRICAS.

En este tipo de plantas, uno o más de los com
bustibles nucleares son utilizados en un tipo convenien
te de reactor nuclear, el cual toma el lugar del horno
de combustión en las plantas eléctricas de vapor típi--
cos. Los intercambiadores de calor y calentadores (si
no están combinados en el reactor), las turbinas y gene
radores de corriente alterna, junto con controles, acce
sorios y auxiliares, forman la planta eléctrica atómica.

Las plantas de reacción de fisión a gran esca
la, han sido desarrolladas al punto donde son económica
mente competitivas.

VENTAJAS DE UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA
SOBRE UNA TERMOELECTRICA

En cualquier proceso industrial, sea complejo o simple, se originan desperdicios o deshechos, ya sea que se reprocesen para ser nuevamente utilizados o bien que sean indeseables, por lo que se abandonan a la intemperie o se entierran.

Dentro de una planta nucleo-eléctrica, también existen deshechos pero a diferencia de otros tipos de deshechos, éstos son radioactivos y por lo tanto nocivos para toda forma de vida, por lo que se someten a procesos de descontaminación en distintos grados, según sea su nivel de actividad, para que finalmente sean aprovechados o definitivamente deshechados de la planta, con lo que los niveles de contaminación no afectan a los seres vivientes.

Los desechos radioactivos de una planta nuclear, pueden ser: líquidos, sólidos o gaseosos. Dentro de las Plantas Nucleares, debe existir un Programa de Monitores Radiológicos del Medio Ambiente, el cual tiene como objetivos, determinar los niveles de radiactividad en el sitio desde antes de la operación de la planta, las trayectorias importantes a través de las cuales los materiales radiactivos atribuibles a la planta pudieran llegar a la cadena alimenticia y estimar las consecuencias y los efectos de la planta en el medio ambiente, a partir de cuando ésta entre en operación. La operación de la planta no deberá causar ninguna alteración perjudicial al medio ambiente ni afectar a la seguridad y salud públicas y por lo tanto el Programa de Monitoreo Ambiental, deberá servir para demostrar que estas alteraciones no ocurren, ya sean de origen térmico o radiactivo.

En contraste al riguroso control que se mantiene en los desechos radioactivos de una planta nuclear, para evitar la contaminación del ambiente, una planta térmica convencional, carece de control alguno para liberar sus desechos del combustible consumido, los cuales son arrojados a la atmósfera sin medir consecuencias. Por lo tanto, el humo, hollín y gases noci-

vos, que expulsan las centrales alimentadas con combustibles fósiles, constituyen un grave problema al medio ambiente de las zonas urbanas desarrolladas. Como ejemplo de esto, una central de gran potencia (350 MWe), -- alimentada con carbón, produce diariamente unas 75 ton. de dióxido de azufre, 36 ton., de óxido de nitrógeno y 5 ton., de cenizas, contribuyendo con esto al aumento constante de la contaminación atmosférica. Es por lo que la energía nuclear proporciona una solución satisfactoria, pues se puede considerar que la energía generada en una central nuclear es relativamente "limpia", con respecto a una planta térmica convencional.

COMBUSTIBLE.

México, ha sido favorecido por la naturaleza en cuanto a la riqueza de hidrocarburos. Sin embargo, se ha visto la conveniencia de que el país diversifique sus insumos energéticos primarios, reduciendo así su -- gran dependencia actual del petróleo (del orden del 90%). Esta conveniencia obedece a la necesidad universal de -- administrar prudentemente el empleo de hidrocarburos. Hay que hacer notar que aunque sean ciertas las reser--

vas que se supone tiene el país, solamente el crecimiento de la población y las necesidades consecuentes del desarrollo económico, significan que cerca del 60% del total de los recursos petroleros serían explotados en menos de 25 años.

Ahora bien, la sustitución del petróleo por otros recursos es más inmediata en la generación de energía eléctrica que en la mayoría de las aplicaciones directas de los hidrocarburos. Un plan general razonable consistiría en desarrollar los aprovechamientos hidroeléctricos factibles y construir centrales eléctricas a base de carbón y uranio. Además, con base a los precios internacionales actuales del petróleo, tanto el carbón como el uranio, generan energía eléctrica con considerable ventaja económica.

Comparando los ciclos de los combustibles fósiles y el del combustible nuclear, existe un grado de dificultad claramente mayor en la obtención de este último, ya que exige una tecnología más avanzada para la fabricación y acabado del combustible y un manejo adecuado de éste, una vez que ya ha sido utilizado, y todo esto deberá hacerse bajo un estricto control de seguridad por tratarse de material radiactivo. Pero también

se presenta un campo nuevo a México, para la explotación de sus reservas de uranio y la creación de una planta de beneficio para dicho combustible, la cual no nos haría depender de la importación del mismo, de países extranjeros.

En la actualidad, si tomamos en cuenta la dinámica de desarrollo de los sistemas eléctricos en México, tenemos la necesidad de establecer una política del uso de los energéticos a largo plazo en base a cual será la mejor combinación de las diferentes tecnologías de generación eléctrica disponible en el presente o para un futuro, teniendo en cuenta, la disponibilidad de distintos recursos energéticos, los costos de instalación y los costos de operación y mantenimiento de las unidades generadoras.

Con respecto al nivel de potencia generada, podemos decir que en México, las unidades fósiles convencionales más grandes que se están instalando son de 300 MWe., de capacidad. Por ejemplo: la termoeléctrica de Tula, Hgo., la planta del Valle de México y la Planta de Altamira, las cuales son alimentadas a base de combustóleo y gas natural; en cambio en una planta nuclear, las unidades generadoras dependiendo del tipo

de reactor utilizado puede variar de 300 a 1 200 MWe, - de capacidad por unidad.

En el caso de la Central de Laguna Verde, sus dos unidades serán de 645 MWe, cada una, las cuales serán de más del doble de capacidad que las plantas térmicas convencionales del país.

ECONOMIA.

En función del desarrollo de la ciencia y la tecnología en el mundo, no se tiene a la fecha desarrollada hasta la comercialización, ninguna otra fuente de energía adicional a las tradicionalmente utilizadas, - que no sea la energía nuclear.

Es importante hacer notar, que una vez establecidas las bases científicas, el desarrollo tecnológico y la comercialización de un método de obtención de energía, toma un tiempo considerablemente largo, por lo cual, es de preverse que la creciente demanda de energía tendrá que ser satisfecha con diferentes tipos de reactores nucleares, por lo menos en los próximos cua--

renta años.

México no podrá escapar de esta proyección de las necesidades energéticas mundiales, además de la política de utilización de energéticos del petróleo y de los recursos hidráulicos, geotérmicos y de carbón aprovechables, se podrá retrasar en alguna medida el programa de construcción de las plantas nucleares, pero finalmente se tendrá que recurrir a ellas.

Las diferencias que existen entre plantas nucleoelectricas y las convencionales de vapor desde el punto de vista económico, son: el costo de Kilowatt -- instalado y el tiempo requerido para su construcción. El costo para plantas nucleares que entren en operación en el período comprendido entre los años 1980 y 1985, -- se estima en E.U.A., \$920.00, en promedio por Kilowatt instalado, debido a diferencias particulares de las instalaciones y a la calidad del manejo de los proyectos, se estima que este valor medio, puede variar de \$800.00, como mínimo y \$1,031.00, como máximo. Este elevado costo de instalación, hace que el control del tiempo de -- ejecución de la obra sea muy importante, ya que cada -- día de atraso, genera tan solo por concepto de intereses del capital invertido y no productivo, cantidades --

muy significantes.

Es sabido, que todo trabajo requiere un grado de planeación y que de ella depende en gran medida el éxito del proyecto. Un error de planeación en un proyecto de plantas térmicas convencionales, puede dar lugar a retrasos de algunos meses dependiendo del grado de error, puede oscilar entre 2 y 6 meses, es decir, el equivalente a un máximo del 20%, que es de aproximadamente 30 meses. Ahora, dado que el precio unitario de la instalación de plantas convencionales de combustibles fósiles es del orden de un tercio que el de una nuclear, esto si hablásemos de unidades generadoras de las mismas capacidades. Sin embargo, en las plantas nucleares las unidades tienden a ser lo más grande posible y comparándolas con las plantas térmicas convencionales, éstas últimas, son de casi la mitad de capacidad como en el caso particular de nuestro país, lo cual reduce el impacto económico del error 6 veces menos en el caso de la planta convencional.

Las probabilidades de cometer errores en la planeación y dirección de proyectos nucleares, son desgraciadamente, mucho mayores que en las plantas convencionales, dada la complejidad del proyecto, lo que pro-

voca una situación muy crítica, ya que por un lado, se tiene un proyecto en que es fácil cometer errores y por otro, el costo de los mismos es muy elevado.

Los hombres-guía de ingeniería y diseño, que se requieren para un proyecto de este tipo, equivalen a 5 veces el requerido para centrales convencionales, lo cual da un indicio de la complejidad del proyecto. Cabe hacer notar que en el futuro al aprovechar la experiencia en la nucleoelectrica, se abatirán considerablemente y si además se integra una infraestructura en el área nuclear con participación nacional, los costos serían aún menores con la ventaja adicional de los empleos que esto generaría.

C A P I T U L O I I

FACTORES DE LOCALIZACION DEL SITIO DE UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA

El diseño estructural de una planta nucleo-
elétrica, requiere la coordinación de varias considera-
ciones. Para comentar el diseño detallado de la planta
y estructuras relacionadas, deben reunirse muchos datos
relacionados con el sitio y realizarse varias investiga-
ciones. Estos datos e investigaciones son esenciales -
para el análisis y evaluación necesarios para la selec-
ción del sitio, diseño estructural de la planta y el --
arreglo general del edificio en el sitio.

Los principales factores a considerar para la
localización y diseño estructural de una planta nucleo-
elétrica son:

- a) Geografía y Demografía.
- b) Meteorología.
- c) Hidrología.
- d) Sismología y Geología.

GEOGRAFIA Y DEMOGRAFIA.

La selección del sitio de la planta depende principalmente de la geografía de su localización y área circundante.

La geografía debe considerarse, para proporcionar un suministro adecuado de agua de enfriamiento, un arreglo general y funcional del edificio y acceso adecuado hacia y desde la planta, tomando en cuenta la seguridad del público en general.

La investigación de un sitio, la cual se utiliza para la aceptación del mismo y el reporte del análisis de seguridad, trata principalmente de la pobla---

ción de las áreas circundantes. La población total y las densidades de población de las áreas circundantes son dos, divididas en secciones radiales y concéntricas. El crecimiento de la población en las diversas divisiones debe predecirse para determinar densidades futuras. Los centros de población cerca del sitio propuesto son identificados y analizados para su crecimiento y características generales. Debe identificarse la zona de baja población circundante a la localización propuesta -- del reactor.

El tamaño físico exacto y el número total de gente incluida en tal zona de baja población no están especificados en las reglamentaciones. Estos criterios no están detallados debido a la posible variación en terreno, densidad de población, caminos de acceso y otros factores variables.

Las instalaciones industriales, militares y de transportación cercanas, deben considerarse cuando se evalúa el sitio propuesto. El propósito de esta evaluación es decidir si o no la planta nuclear propuesta pudiera resistir una explosión u otros accidentes potenciales que ocurrieran en una instalación cercana, o en un accidente resultante de la transportación de materia

les peligrosos almacenados y los efectos potenciales de fuego y explosiones que pudieran resultar.

Para plantas localizadas en vías navegables, la evaluación debe incluir el efecto de colisión de los barcos o lanchones con vehículos acuáticos que transi--ten normalmente la vía fluvial con las tomas de agua de enfriamiento. Las plantas en la vecindad de un aero---puerto tal vez necesiten considerar los efectos poten--ciales de un choque de avión contra la planta.

METEREOLOGIA.

La metereología de un sitio propuesto para la planta es estudiada con detalle antes de la selección y sumisión de la aplicación para el permiso de construc--ción.

Los estudios en metereología, incluyen la climatología regional y la metereología local. El estudio de la climatología regional incluye una descripción del clima general, así como también de la intensidad y frequencia con la que ocurren, precipitación fuerte, graniz

zada, tormentas de hielo, tornados, vientos fuertes, -- condiciones de alta contaminación del aire e inversio-- nes de temperatura.

El estudio local de metereología, incluye su- marios mensuales de valores normales y extremos de pará metros, tales como: temperatura, viento, vapor de agua atmosférico y precipitación. Los datos metereológicos coleccionados incluyendo temperatura, velocidad del --- viento y frecuencia de tornados, son usados como una en trada al diseño estructural de la planta. Además debe hacerse un análisis para determinar los efectos que la planta nuclear propuesta pudiera tener sobre las condi- ciones meteorológicas locales.

HIDROLOGIA.

La información relacionada con la hidrología del sitio de la planta es colectada para que el diseño de la planta se acomode a los efectos de los siguientes fenómenos:

- 1.- Inundaciones.

2.- Tsunamis.

3.- Estiaje o condiciones de sequía.

4.- Bloqueo por hielo de las fuentes de agua de enfriamiento.

5.- Canal desviador de fuentes de agua de enfriamiento.

El sitio propuesto es evaluado para aquéllos fenómenos, considerando la topología de la localización: cambios al drenaje del agua, debido a la construcción de la planta; condiciones pasadas y probables de inundación, pasados y probables huracanes y tsunamis y características del suministro de agua de enfriamiento.

Las inundaciones a considerarse, incluyen las inundaciones naturales históricas, así como aquéllas posibles de la ruptura de presas y diques.

Las inundaciones incluyen ríos o corrientes de inundación máxima posible de ríos o arroyos, así como la máxima inundación esperada de una falla en una presa.

La falla de la presa no se considera al mismo tiempo como la inundación máxima probable, debido a que cada evento uno a uno tiene una posibilidad extremadamente baja de ocurrir.

Si una planta va a localizarse sobre la línea costera del océano, los efectos de un tsunami deben considerarse.

Un tsunami, es una ola de mar producida por un terremoto submarino o erupción volcánica que puede alcanzar una altura de 30 pies o más aproximándose a las líneas costeras. Se piensa que son producidas por desplazamientos verticales sísmicos inducidas por la parte inferior del mar. Los tsunamis, deben ser evaluados por el daño potencial que representan para el reactor y sistemas asociados, así como también las estructuras de la toma de agua. La mayoría de los tsunami se originan en el Océano Pacífico donde ocurren severos terremotos a lo largo de fosas profundas. El tsunami máximo probable, es el tsunami más severo que virtualmente no tiene riesgo de estar excedido. El tsunami máximo probable, se obtiene por una evaluación de la historia de los tsunamis, así como consideración de la actividad geosísmica más severa esperada que producirían

los tsunamis.

El estiaje o condiciones de sequía, bloqueo por hielo de las estructuras de toma de agua de enfriamiento o fuentes de agua y canal desviador de agua de enfriamientos, todos deben ser considerados en el diseño de la planta. Estas evaluaciones, están basadas generalmente en condiciones pasadas meteorológicas e hidrológicas, además del análisis de las condiciones del suelo circundante. Las condiciones topológicas históricas también son evaluadas por evidencias de cambios pasados de canales de agua o desviaciones y bloqueo de causes de agua, debido a derrumbes.

Además de las consideraciones anteriores, la relación de la planta nuclear a la hidrología del agua subterránea existente debe ser investigada. Estas identifican las diversas características de la hidrología de agua subterránea, tales como el nivel y profundidad del banco de agua.

Los resultados de estas investigaciones se usan como entrada a varias condiciones hipotéticas. Por ejemplo: las consecuencias de una fuga de un tanque de almacenamiento de agua radiactiva, son evaluadas para -

determinar el efecto en pozos cercanos y otros suministros de agua requerida.

SISMOLOGIA Y GEOLOGIA.

Los criterios del diseño básico para las consideraciones sísmicas y geológicas que afectan el diseño de la planta, se cubren en el apéndice A del 10 CFR 50 "Criterios del sitio del reactor". Estos criterios se proporcionan para establecer las condiciones sísmicas y geológicas, que cubran a la evaluación de las características geológicas y sísmicas de las bases del diseño de la planta. La evaluación de las bases del diseño geológico y sísmico, es llevado a cabo para proporcionar garantía razonable de que la planta puede ser operada sin riesgo para la salud y seguridad del público en general. Las investigaciones deben ser llevadas a cabo para obtener la información requerida para determinar la base del diseño de la planta para el movimiento vibratorio del suelo producido por un terremoto o movimiento sísmico que provoca inundaciones y oleaje. Estas investigaciones, también requieren determinar si o no la planta debe ser diseñada para un fallo superficial.

El fallo superficial, es un desplazamiento -- vertical del sitio de la superficie causada por un te-- rremoto directamente debajo del contenedor. El fallo su-- perifical, debe considerarse si una planta está locali-- zada dentro de una cierta extensión de la zona de con-- trol como se definió en 10 CFR 100 Apéndice A°. En la práctica, ninguna planta a la fecha ha sido localizada dentro de una zona de control.

La base del diseño para el movimiento vibrato-- rio máxima del suelo, es determinado a través de la eva-- luación de la historia geológica y sísmica del sitio de la planta y región circundante. Las bases del diseño - de la planta, incluyen la evaluación del terremoto que produce la parada de seguridad y terremoto desde la ope-- ración.

El terremoto que produce la parada de seguri-- dad, es aquel terremoto que produce el máximo movimien-- to vibratorio del suelo; para el cual las estructuras, sistemas y componentes importantes a la seguridad son - diseñadas para permanecer funcionales.

Estas estructuras, sistemas y componentes, -- son aquellas necesarias para asegurar lo siguiente:

- 1.- La integridad del límite de presión del refrigerante del reactor, permanece intacta.
- 2.- La capacidad de parar el reactor y mantenerlo en una condición de parado de seguridad no es afectada.
- 3.- La capacidad de prevenir o mitigar las consecuencias de accidentes que resulten en forma potencial, lejos del sitio.

El terremoto que produce una parada de seguridad, es determinado a través de la evaluación del sitio relacionado con la información geológica y sísmica. Los terremotos históricos de la mayor magnitud o intensidad se definen, donde posiblemente deban estar correlacionadas con estructuras tectónicas que están localizadas dentro de las 200 millas del sitio. La magnitud de un terremoto está relacionada con la energía liberada en forma de ondas sísmicas medidas por un número del 2 al 9 en la escala de Richter.

INTRODUCCION AL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLANTA

Las estructuras de la planta, equipo y sistemas importantes para la seguridad de la misma, deben -- ser diseñadas para satisfacer los requerimientos del -- apéndice A del 10 CFR 50, "Criterios de Diseño General para Plantas Nucleares". Estos criterios del diseño general establecen los requerimientos mínimos para el diseño de plantas nucleares enfriadas con aguas ligeras, los cuales establecen la filosofía básica para el diseño de la estructura de contención del reactor. Dentro de esta filosofía se incluyen las varias consideraciones que deben tomarse en cuenta durante el diseño de -- las estructuras de contención y otras relacionadas con seguridad.

El criterio 2 de diseño general, "Bases de Diseño para Protección contra los Fenómenos Naturales", -- requiere que las estructuras, sistemas y componentes de

la planta nuclear importantes a la seguridad, sean diseñadas para soportar los efectos del terremoto sin pérdida de capacidad para llevar a cabo su función de seguridad. El apéndice A al 10 CFR 100, requiere que todas las plantas nucleares sean diseñadas, de tal forma que todas las estructuras, sistemas y componentes importantes con la seguridad, permanezcan funcionales si ocurre el terremoto que produce la parada de seguridad por sismo (SSE).

La guía reguladora AEC 1.29, establece las estructuras, sistemas y componentes, incluyendo suscimientos y soportes, que son designados en la categoría sísmica I. Las estructuras, componentes y sistemas de categoría sísmica I, son aquéllas que deben ser diseñadas para permanecer funcionales, para efectuar una parada de seguridad del reactor si ocurre SSE.

Las siguientes estructuras y componentes se clasifican típicamente como categoría sísmica I.

- 1.- Estructura de contención del reactor.
- 2.- Edificio auxiliar (la parte que contiene los sistemas de seguridad del cuarto control y --

las instalaciones de desperdicios radioactivos).

- 3.- Instalaciones de almacenamiento de combustibles.
- 4.- Estanque de rocío de servicio nuclear.
- 5.- Soportes estructurales para sistemas y componentes de categoría I.

El diseño de una planta nuclear, debe tomar en consideración los efectos de tornados e inundaciones, así como también los terremotos, para satisfacer los criterios de diseño general y la liberación de límites de la radioactividad de accidentes previstos en el 10 CFR 100. El contenedor primario y partes de otros edificios de soporte, son diseñados como estructuras de clase I, para proteger al público de una liberación excesiva de radioactividad, en caso de un accidente o desastre natural.

La estructura de contención del Reactor, es llamado Edificio de Contención, para los sistemas nucleares de suministro de vapor para la Westinghouse y -

la Combustion Engineering. Y lo llaman, Edificio del Reactor, para los sistemas Babcock y Wilcox.

General Electric, utiliza el término Edificio del Reactor (Contenedor Primario o Pozo Seco), y la estructura circundante (Contenedor Secundario). La estructura de contención, está diseñada para contener la liberación de radiactividad y prevenir de un accidente que represente una amenaza al público en general. La estructura del contenedor contiene el sistema nuclear de suministro de vapor (NSSS) y algunos sistemas y componentes auxiliares principales.

Todas las estructuras de Clase I, que comprenden plantas nucleares comerciales, deben diseñarse para satisfacer una variedad de condiciones de carga, estas condiciones se pueden dividir en dos grupos:

- 1). Condiciones de carga esperadas durante la construcción y operación normal, y
- 2). Condiciones de carga esperadas durante situaciones de accidente, condiciones ambientales extremas o desastres naturales.

La magnitud de estas condiciones de carga, depende de muchos factores, tales como: localización y tamaño de la planta, tamaño del reactor y los parámetros ambientales del sitio.

Existen desde luego, varias estructuras de plantas nucleares que no están diseñadas como estructuras de Clase I, debido a que su función no es requerida para proteger la salud y seguridad del público. Estas estructuras de Clase II, deben diseñarse para satisfacer los requerimientos locales y profesionales de la industria de la construcción. Estas estructuras son diseñadas tomando en cuenta, muchas de las condiciones de carga que están incorporadas en el diseño de las estructuras de Clase I.

CARGAS NORMALES.

El diseño de cargas normales, son aquéllas cargas que se esperan durante la construcción y operación normal de la planta nuclear. Las cargas de construcción, incluyen cargas producidas durante la instalación del equipo, por estructuras temporales y por alma-

cenamiento del equipo de construcción y materiales.

CONDICIONES DE CARGA EN ACCIDENTES.

Existen condiciones de carga en accidentes, - que deben considerarse en el diseño de estructuras de - plantas nucleares.

Estas condiciones resultan de un gran número de accidentes posibles, considerados posibles en la ubicación particular de la planta. Los accidentes que deben considerarse, dependen de la localización geográfica de la planta con respecto a la localización de cuerpos grandes de agua, frecuencia de huracanes o tornados, proximidad de aeropuertos o plantas comerciales potencialmente peligrosas y frecuencia de terremotos. Las siguientes condiciones de carga, deben considerarse en el diseño de estructuras de plantas.

- 1.- Cargas sísmicas.
- 2.- Cargas de tornados y vientos.

- 3.- Cargas por inundaciones.
- 4.- Cargas por disparos de turbinas.
- 5.- Cargas por ruptura de tuberías.
- 6.- Cargas de presión del suelo.
- 7.- Condiciones de licuefacción.
- 8.- Cargas por impacto de aviones.

C A P I T U L O I I I

EDIFICIOS QUE CONSTITUYEN UNA PLANTA NUCLEOELECTRICA

Las centrales nucleares, en general, son proyectadas para la generación y distribución de energía eléctrica.

La producción eléctrica en una central nuclear de agua en ebullición, sigue el siguiente proceso:

- a). La energía eléctrica se genera en un alternador eléctrico, lo que exige:
 - 1.- Fuerza mecánica que mueva al alternador.
 - 2.- Sistemas disipadores de calor.

3.- Un sistema de protección de turbina.

c). El vapor se origina en la vasija del reactor, lo cual requiere:

1.- Un foco de calor que produzca el vapor, cedido a la turbina.

2.- Unos medios de conducción (tuberías).

3.- Un sistema de reposición de agua a la vasija del reactor.

4.- Un sistema de control de presión.

5.- Un sistema de extracciones para transferir calor al agua de alimentación.

d). El foco de calor en un reactor nuclear, para lo que se requiere:

1.- Un sistema de fluido refrigerante (agua de alimentación).

2.- Un sistema de control de la reactividad.

3.- Un sistema de protección del reactor.

4.- Mantener un inventario de fluido.

e). Para refrigerar el reactor y alimentar la vasija mediante el sistema de agua de alimentación, se requiere:

1.- Control del agua de alimentación.

2.- Confiabilidad en el suministro.

3.- Unos medios de conducción (tuberías).

f). Para completar y optimizar el ciclo termodinámico del lado de producción de energía mecánica, se tiene:

1.- La central nuclear trabaja en circuito cerrado.

2.- Un condensador en el que se condensa el vapor de escape de la turbina y lo reincorpora al ciclo de agua de alimentación.

3.- Calentadores del agua de alimentación, - que optimizan el ciclo y eliminan la humedad del vapor expandido en la turbina.

A continuación, haré una breve exposición de la localización de la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Veracruz. El sitio para la Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde, está localizado en la costa del Golfo de México en el Municipio de Alto Lucero del Estado de Veracruz, a 70 Kms., al NNO de la Ciudad de Veracruz y a 60 Kms., al ENE de la Ciudad de Jalapa, capital del Estado. Las vías de acceso al sitio consisten en la carretera federal No. 180, que une José Cardel y Nautla, la cual pasa a 2 Kms., aproximadamente del sitio y en ese tramo tiene una longitud de 132 Kms.

Para dar acomodo a todos los sistemas y equipos necesarios para que se realicen las actividades enumeradas anteriormente y para el buen funcionamiento de la planta en general, incluyo los edificios y estructuras que se requieren en una central nuclear. En cuanto a los edificios que constituyen las nucleoeléctricas, - son algunas las variaciones que existen, ya que los edificios de mayor importancia, siempre estarán presentes, como son: el Edificio del Reactor, Edificio del Turbo-

generador, Edificio de Control, Edificio de Deshechos Radioactivos, Edificio de Generadores Diesel.

ARREGLO GENERAL DE ESTRUCTURAS Y EQUIPO DE LA PLANTA NUCLEOELECTRICA DE LAGUNA VERDE.

Las principales estructuras a localizarse en el sitio de la planta, son como siguen:

a). Edificio del Reactor (2 edificios)

Este es el edificio que aloja la mayor porción del Sistema de Abastecimiento de Vapor Nuclear, el contenedor primario, la alberca de combustible gastado, el almacén de combustible nuevo, el equipo de recarga y el centro de emergencia de los sistemas de enfriamiento.

b). Edificio de la Turbina (2 edificios).

Este es el edificio que aloja el equipo de conversión de energía.

- c). Edificio de Control (2 edificios).

Este edificio hospeda el cuarto de control.

- d). Edificio de Generadores Diesel (2 edificios).

Este es el edificio que aloja los generadores Diesel, tanques de aceite y controles asociados e instrumentación.

- e). Almacén Diesel (2 estructuras).

Esta es la estructura que hospeda los tanques de almacenamiento para los generadores Diesel.

- f). Edificio de Deshechos Radioactivos (1 edificio).

Este es el edificio que aloja los sistemas de procesamiento de desechos radioactivos líquidos y sólidos y componentes del sistema de tratamiento de desalojo de gases para las unidades 1 y 2. También aloja los filtros desmineralizadores, el Sistema de Limpieza de las Albercas de combustible gastado y el filtro desmineralizador para el Sistema de Limpieza

de agua del Reactor.

g). Este es el edificio que aloja el Sistema de Limpieza de la Alberca de Combustible Gastado y el Sistema de Limpieza de Agua del Reactor y algunas partes del Sistema de Procesamiento de Deshechos Líquidos.

h). Estructura de Agua de Circulación (1 estructura).

Este es el edificio que aloja las bombas de agua de circulación y bombas de agua de servicio para el Edificio del Turbogenerador. Sirviendo para las unidades 1 y 2.

i). Estructura de Agua de Servicio Nuclear (1 estructura).

Esta estructura aloja las bombas para agua de servicio nuclear, sirviendo a las unidades 1 y 2.

j). Casa de Bombas contra Incendios (1 estructura).

Este edificio aloja las bombas contra incendios para el sistema de protección del sitio.

- k). Edificio de Tratamiento de Aguas (1 estructura).

Este edificio provee de agua desmineralizada a las unidades 1 y 2.

- l). Taller de Maquinaria (1 estructura).

Este taller sirve para las 2 unidades y se usará para reparaciones de la planta.

- m). Tanques de Almacenamiento de Condensados (4 estructuras).

Existen 2 tanques por unidad para almacenar condensados.

- n). Torre Meteorológica (1 estructura).

Esta torre provee contínuos datos meteorológicos para las unidades 1 y 2.

- o). Sub-estación (2 estructuras).

Existe una subestación para el sistema de 230 KV y otra para el sistema de 400 Kv.

- p). Edificio de Control de la Subestación (1 estructura).

Sirviendo a ambas unidades.

- q). Estación Central de Alarmas (1 estructura).

Este edificio es para seguridad de la Planta.

- r). Tanques de Agua contra Incendio.

Estos tanques son para el sistema de protección contra incendios en el sitio.

- s). Cuartel de Guardia (1 estructura).

Será para el acceso de personal al Sitio.

- t). Edificio de Administración (1 estructura).

Este edificio servirá al personal laborando -
en el sitio.

- u). Tanques de Almacenamiento de Agua Desmineralizada.

Estos tanques sirven a ambas unidades.

- v). Tanques de Almacenamiento de Aceite de Combustible.

Estos tanques sirven a las unidades 1 y 2.

DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES EDIFICIOS DE
LAGUNA VERDE

EDIFICIO DEL REACTOR.

Este edificio pertenece a la Categoría Sísmica I, el cual encierra completamente el Contenedor Primario - Principal Estructura en una Planta Nuclear- El Edificio del Reactor, aloja el equipo del combustible - nuevo y gastado y otros auxiliares del reactor y equipo de servicio.

La estructura. provee un contenedor secunda--rio cuando el contenedor primario está cerrado y en servicio y provee contención primaria, al tiempo en que el contenedor primario está abierto así como, durante la - operación de recarga.

Las paredes del Edificio del Reactor, encierra un área de 43.60 m., por 41.90 m. Las paredes son de concreto reforzado y llegan hasta el nivel del piso de recarga de combustible a la elevación 49.90 m. Abajo de la elevación 10.00 m. Las paredes son de 1.20 m., de grueso y arriba de esa misma elevación son de 0.60 m. de grueso. El área desde el nivel del piso de recarga al techo del edificio, aproximadamente 20.10 m.

Todos los pisos forman diafragmas dentro del Edificio del Reactor y proveen soporte y acceso al equipo. Las losas están hechas de concreto reforzado y descansan sobre vigas de acero estructural.

El piso de recarga, está a la elevación de 49.90 m., y contiene las albercas de combustible, la cual está soportada por la pared del Edificio del Reactor y las paredes de la alberca de combustible. La alberca de combustible está revestida con acero inoxidable.

TUNEL DE VAPOR PRINCIPAL

El túnel de vapor principal, es una estructu-

tura de concreto reforzado y acero de Categoría Sísmica I, la cual se localiza entre la pared del Contenedor -- Primario y la pared exterior del Edificio del Reactor. El túnel de vapor, es una cerca biológica, para las cuatro líneas de vapor y las dos líneas de agua de alimentación que van del Edificio del Reactor al Edificio del Turbogenerador.

EDIFICIO DE CONTROL

El Edificio de Control., es una estructura de concreto reforzado de Categoría Sísmica I, de aproximadamente 49.80 m., de largo por 31.85 m., de ancho y 28 m., de altura. El edificio está soportado sobre una parrilla de concreto reforzado de 1.70 m., de ancho. El edificio está construido de concreto reforzado colado en el sitio.

El Edificio de Control, tiene cuatro (4) principales pisos y un techo como sigue:

- a). La planta baja y el mezzanine a las elevacio-

nes 10.15 m., y 14.05 m., respectivamente guardan los tableros de distribución y baterías.

- b). El piso a la elevación 18.10 m., hospeda el área de tendido de cables.
- c). El nivel a la elevación 25.10 m., es de operación básica, hospeda el área de tableros de control principal, oficinas y cuarto de control.
- d). El piso a la elevación 32.80., hospeda el equipo de ventilación y aire acondicionado.
- e). La elevación del techo, con la excepción de el cuarto del elevador, está a la elevación 38.43 m.

EDIFICIO DE GENERADORES DIESEL.

El Edificio de Generadores Diesel, descansa sobre roca. El edificio es de concreto reforzado, midiendo 46.84 m., de largo por 27.21 m., de ancho y ----

14.15 m., de altura. El edificio, está soportado sobre una parrilla de concreto reforzado de aproximadamente - 1.40 m., de espesor.

Este edificio, cae dentro de las estructuras de Categoría Sísmica I, diseñada para tornados y proyectiles.

El nivel de la planta baja del edificio, está a la elevación +10.15 m. El nivel del mezzanine, está a la elevación +14.50 m., y la parte superior del techo llega a la elevación 20.00.

El nivel de la planta baja, elevación 10.15 m. aloja los generadores Diesel, tableros de control de -- los generadores Diesel, centros de control de motores y tableros de control de ingeniería.

El nivel del mezzanine, elevación 14.50 m., - aloja las unidades de ventilación y aire acondicionado. silenciadores de toma de aire, filtros de toma de aire y monorrieles.

ALMACEN DE DIESEL

El almacén subterráneo de Diesel, es una estructura de concreto reforzado, descansando sobre roca. La estructura está diseñada para satisfacer las necesidades de estructuras de Categoría Sísmica I. El almacén subterráneo mide 8.82 m., por 43.14 m., con la parte superior de la losa de cimentación a la elevación --0.25 m. La parte superior de la losa de techo, está a la elevación 10.15 m.

La losa de techo, está diseñada para contrarrestar huracanes, tornados y proyectiles militares. La entrada localizada a la elevación 12.89 m., está protegida por barreras contra proyectiles militares.

El almacén subterráneo, aloja tres tanques de combustible.

EDIFICIO DE AGUA DE SERVICIO NUCLEAR.

Existe un Edificio de Agua de Servicio Nu---

clear común, para las dos unidades que funcionarán en Laguna Verde. El edificio es de concreto reforzado Categoría Sísmica I.

Este edificio, aloja las bombas de agua de servicio, Bombas de Agua de Servicio de Rocío de Alta Presión, bombas de lavado y equipo asociado.

ESTRUCTURA DE DESCARGA DE AGUA DE SERVICIO NUCLEAR.

Esta estructura, recibe agua de descarga del agua de circulación, el sistema de agua de servicio nuclear y el sistema de agua de servicio de Rocío de Alta Presión. Esta estructura, está diseñada para satisfacer los requerimientos de las estructuras de Categoría Sísmica I.

EDIFICIO DEL TURBOGENERADOR

El Edificio del Turbogenerador, no está clasificado como Categoría Sísmica I, pero debido a su --

proximidad con el Reactor y el Edificio de Control (estructuras de Categoría Sísmica I), el edificio es revisado para efectos sísmicos utilizando un análisis dinámico de la estructura, para garantizar la integridad de las estructuras que se encuentran junto al Turbogenerador.

La estructura mide 46.80 m., por 99.10 m., -- por 42.98 m., de altura. Esta estructura la componen -- concreto reforzado y acero estructural. El acero es-- tructural se desplanta desde el nivel de operación.

El Edificio del Turbogenerador, tiene 3 niveles principales y el techo como sigue:

- 1). El nivel del sótano, está en la parte supe--- rior del emparrillado de cimentación, se en--- cuentra a la elevación +1.90 m.
- 2). El piso del mezzanine está a la elevación --- +10.15 m.
- 3). El piso de operación que está a la elevación

+18.70 m.

- 4). El techo, parte superior del acero estructural, está a la elevación +44.05 m.

La turbina y el generador, están soportados sobre un pedestal de concreto, el cual está soportado sobre la cimentación del edificio y se extiende hasta el nivel de operación.

El pedestal del turbogenerador, está aislado del edificio en los pisos del mezzanine y de operación.

El edificio está provisto de una grúa viajera de 150 toneladas con un claro de 30.50 m., centrado sobre la turbina. La grúa viajera está soportada sobre las mismas columnas de acero estructural que soporta el techo.

El edificio aloja el turbogenerador y auxiliares asociados, incluyendo el equipo de condensado. Existe espacio en el edificio para otros equipos auxiliares, equipo de ventilación y aire acondicionado.

EDIFICIO DE DESHECHOS RADIOACTIVOS.

El Edificio de Deshechos Radioactivos, está localizado en la unidad 1. Es una estructura común a ambas unidades, no es Categoría Sísmica I. Debido a su proximidad al Edificio del Reactor, el diseño de este Edificio, es revisado para garantizar que puede resistir sismos sin dañar la integridad estructural del Edificio del Reactor.

La estructura mide 52.52 m., por 56.37 m., y 33.68 m., de altura.

El edificio está construido de losas y vigas de concreto reforzado y está cimentado sobre una losa descansando sobre roca. En adición a la integridad estructural, estos elementos son diseñados para proveer blindaje contra la radiación y protección para el equipo contra los efectos de condiciones atmosféricas adversas.

A fin de eliminar cualquier efecto de acoplamiento debido a sismos, el Edificio de Deshechos Radioactivos, está separado del Turbogenerador y del Reactor. Las estructuras que se juntan con ambos edificios están

unidas por un relleno.

El edificio tiene 4 pisos principales, un mezzanine y un techo como sigue:

- 1). El sótano localizado a la elevación -0.55 m.
- 2). El piso del mezzanine a la elevación +4.00 m.
+5.20m., y +6.90 m.
- 3). Piso de almacenaje a la elevación +10.15 m.
- 4). Piso del Area de Control a la elevación ----
+18.70 m.
- 5). Nivel Superior a la elevación +25.10 m.
- 6). Azotea Norte a la elevación +20.70 m.
- 7). Azotea Sur a la elevación +33.00 m.

EDIFICIO DE PURIFICACION

El Edificio de Purificación, está localizado

en la unidad 2 y es una estructura de vigas y columnas de concreto reforzado, con una losa de cimentación descansando sobre roca. El edificio tiene 56.37 m., de largo por 27.02 m., de ancho y 34.23 m., de altura. La losa de cimentación tiene 1.52 m., de espesor.

Este edificio, no es Categoría Sísmica I. Tiene 4 pisos principales, un mezzanine y azoteas como sigue:

- 1). El nivel del sótano, el cual se localiza a la elevación -0.55 m.
- 2). Nivel del mezzanine a la elevación +5.20 m.
- 3). Piso de entrada a la elevación +10.15 m.
- 4). Area de Control, a la elevación +18.70 m.
- 5). Ultimo Piso a la elevación +25.10 m.
- 6). Azotea a la elevación +33.00 m.

El Edificio de Purificación, está diseñado para hospedar el equipo de los sistemas de desechos radioactivos, los cuales son usados para el procesamiento y disposición de los desechos generados durante la operación de la planta.

A fin de eliminar cualquier efecto de acoplamiento debido a temblores, el Edificio de Purificación, está separado del Turbogenerador y del Reactor.

AREA PARA TALLER DE MAQUINARIA Y TRATAMIENTO DE AGUAS.

Este edificio, está localizado en la unidad - No. 1. No es una estructura de Categoría Sísmica I, y está diseñada como tal, pero debido a su proximidad al Edificio de Control, es revisado para efectos sísmicos, utilizando un análisis sísmico para la estructura, esto con el fin de garantizar la integridad estructural del Edificio de Control.

La estructura mide 33.57 m., de ancho por -- 40.87 m., de largo con el techo de acero estructural a la elevación +26.50 m. Arriba de la losa de cimenta--

ción de concreto reforzado, el edificio consiste de armaduras de acero estructural y pisos de concreto soportados sobre vigas de acero.

El Area del Taller de Maquinaria y Tratamiento de Aguas, tiene dos pisos principales y una azotea - como sigue:

- 1). El piso del sótano, que se encuentra a la elevación +10.15 m.
- 2). El piso del mezzanine, localizado a la elevación +18.80 m.
- 3). La azotea que se encuentra a la elevación --- +26.10 m.

El edificio está provisto con una grúa de 5 toneladas con un claro de 8.8 m., en el área del Taller de Maquinaria.

La grúa, está soportada sobre las columnas de acero estructural que soportan la losa del primer piso

y el techo.

El Area del Taller de Maquinaria y Agua de -- Tratamiento, aloja el Cuarto de Soldadura, Taller de Maquinaria, Talleres de Carpintería y Eléctricos, Silo de Cal, Cuarto de Almacenamiento Químico y Area del -- Equipo de Ventilación y Aire Acondicionado. También se considera espacio para otros equipos auxiliares.

CASA DE BOMBAS PARA AGUA DE RECIRCULACION

Este edificio, está construido de concreto re^uforzado hasta la elevación +3.90 m., y armaduras de ace^uro estructural arriba de esta elevación.

El edificio mide aproximadamente 31.10 m., -- por 61.5 m. La parte de abajo del nivel de operación -- está dividido por paredes de concreto reforzado en ocho tomas de agua, 4 para cada unidad. Cada toma de agua -- contiene una bomba de agua de circulación.

El edificio está provisto con una grúa viaje-
ra de 35 toneladas, con un claro de aproximadamente ---

24.30 m.

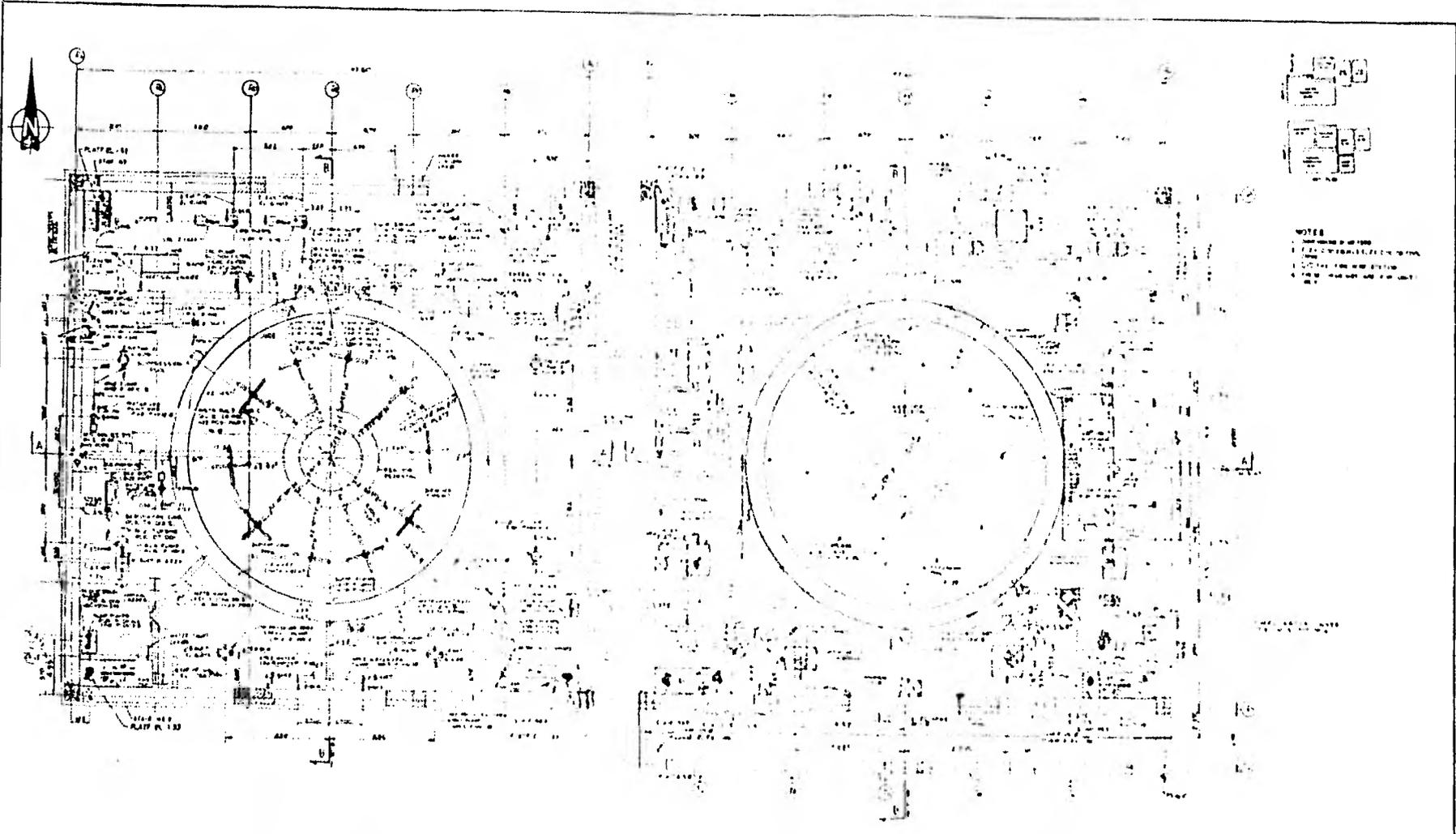
La porción de acero estructural del edificio, es analizado y diseñado para contrarrestar todas las -- fuerzas sísmicas para evitar colapsos y por tanto, da-- ños a la integridad estructural del edificio adyacente de Agua de Servicio Nuclear. Cabe aclarar que esta es-- tructura no es Categoría Sísmica I.



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Laguna Verde Nuclear Power Station Units 1 & 2

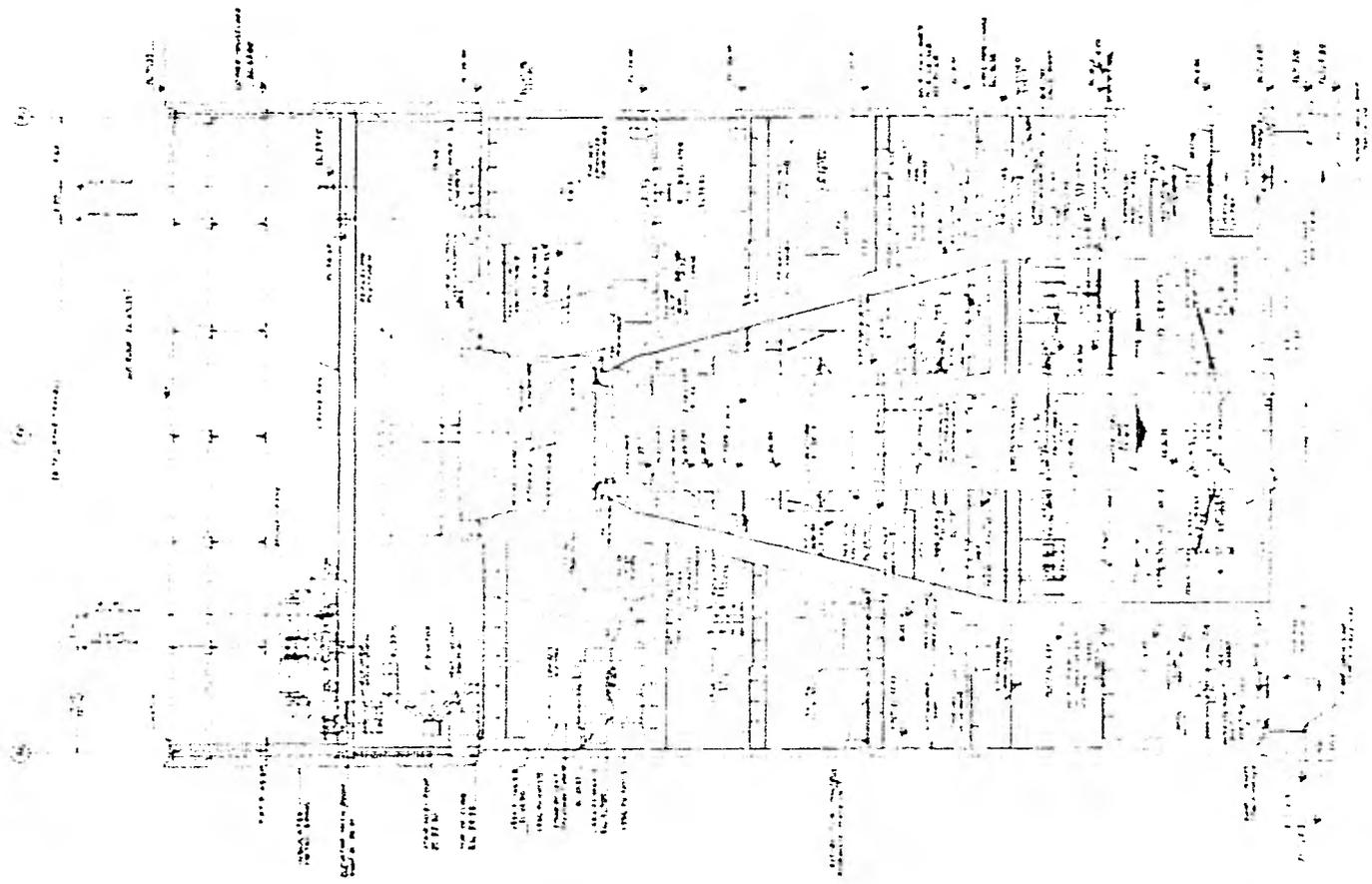
FIG. A-1.1. SITE PLAN

FSAR
Figuro



PLAN TITV 2-67

PLAN TITV 2-67

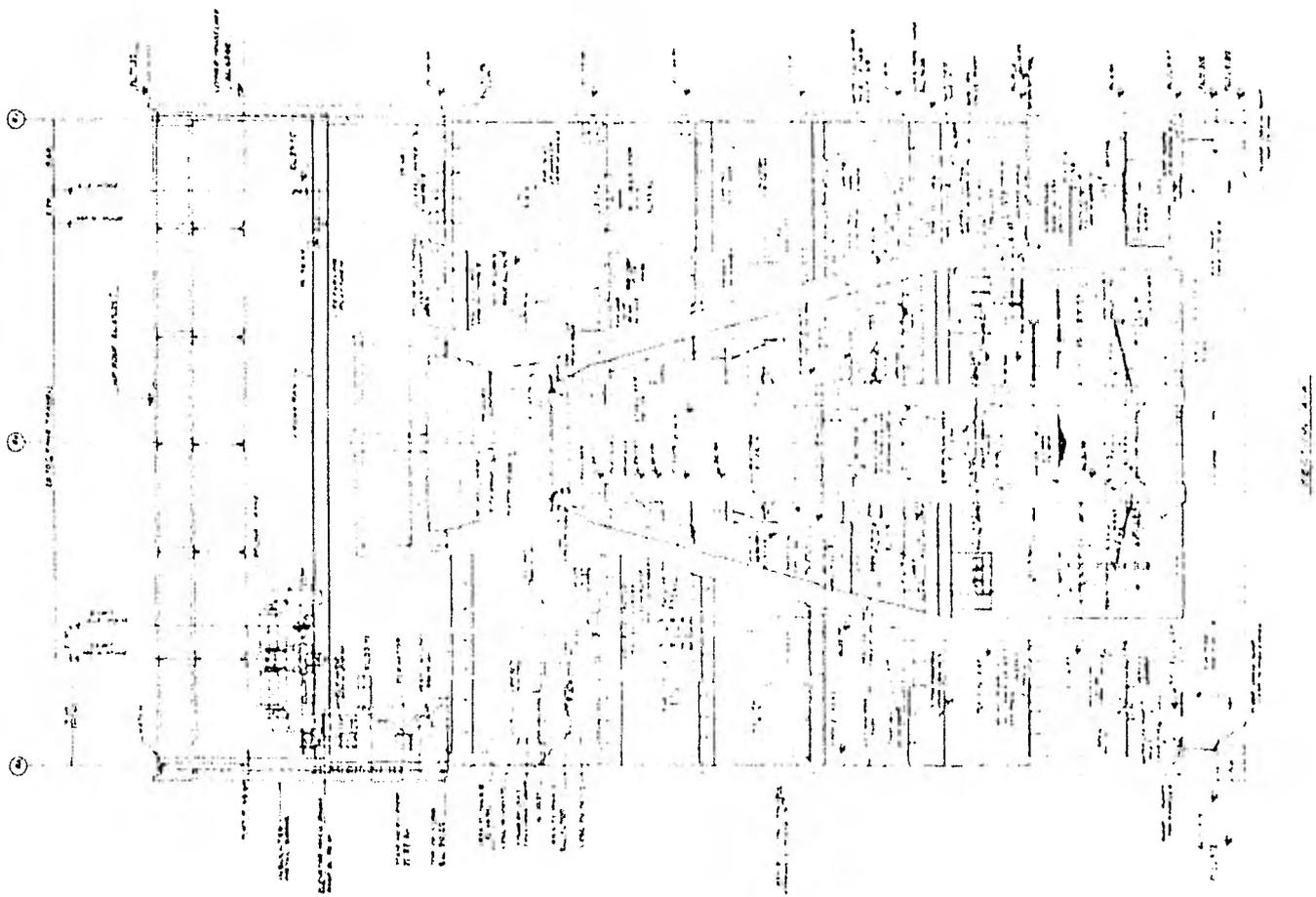


SECTION 4.4



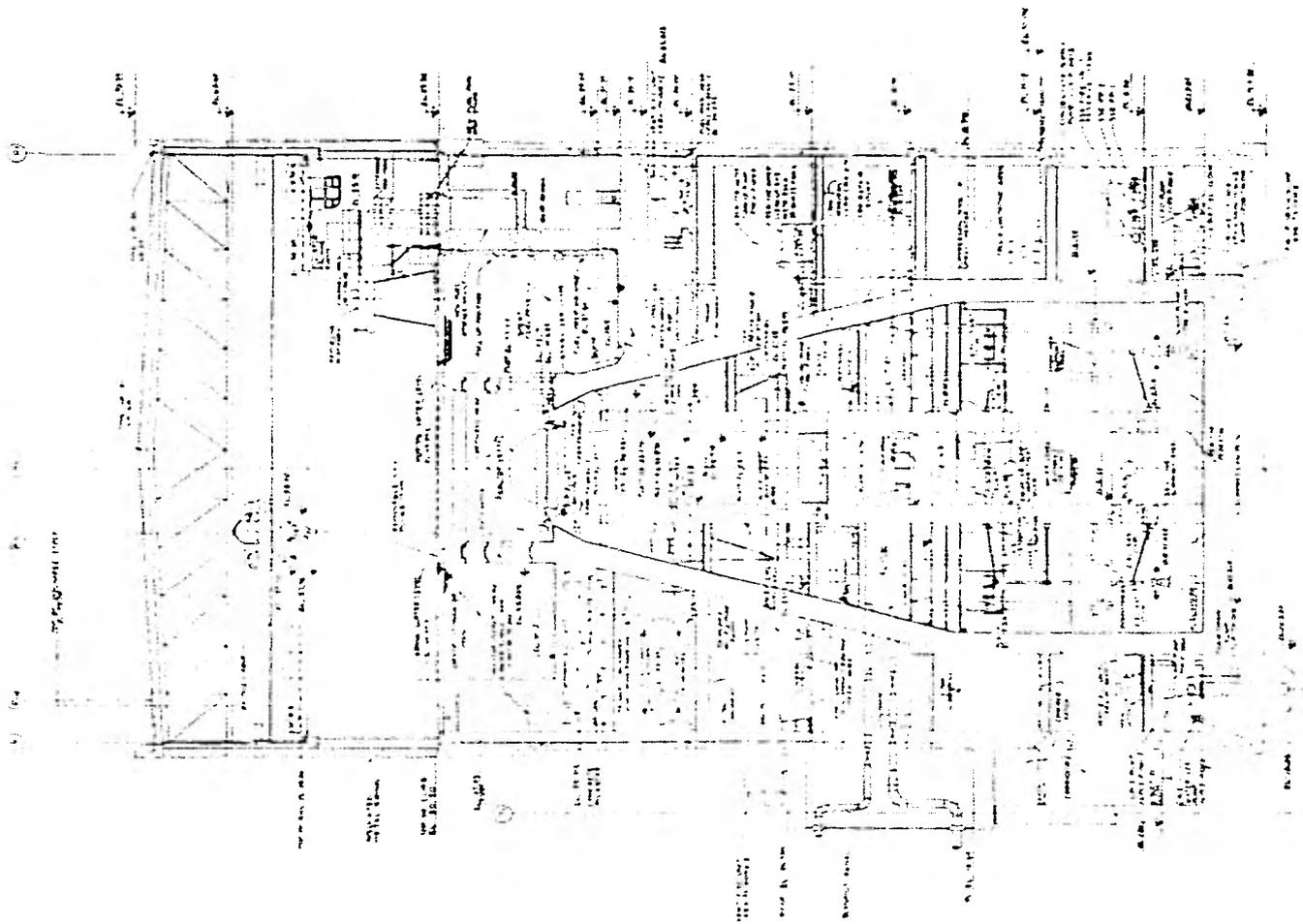
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Laguna Verde Nuclear Power Station Units 1 & 2

GENERAL ARRANGEMENT - REACTOR BUILDING
SECTION 4.4



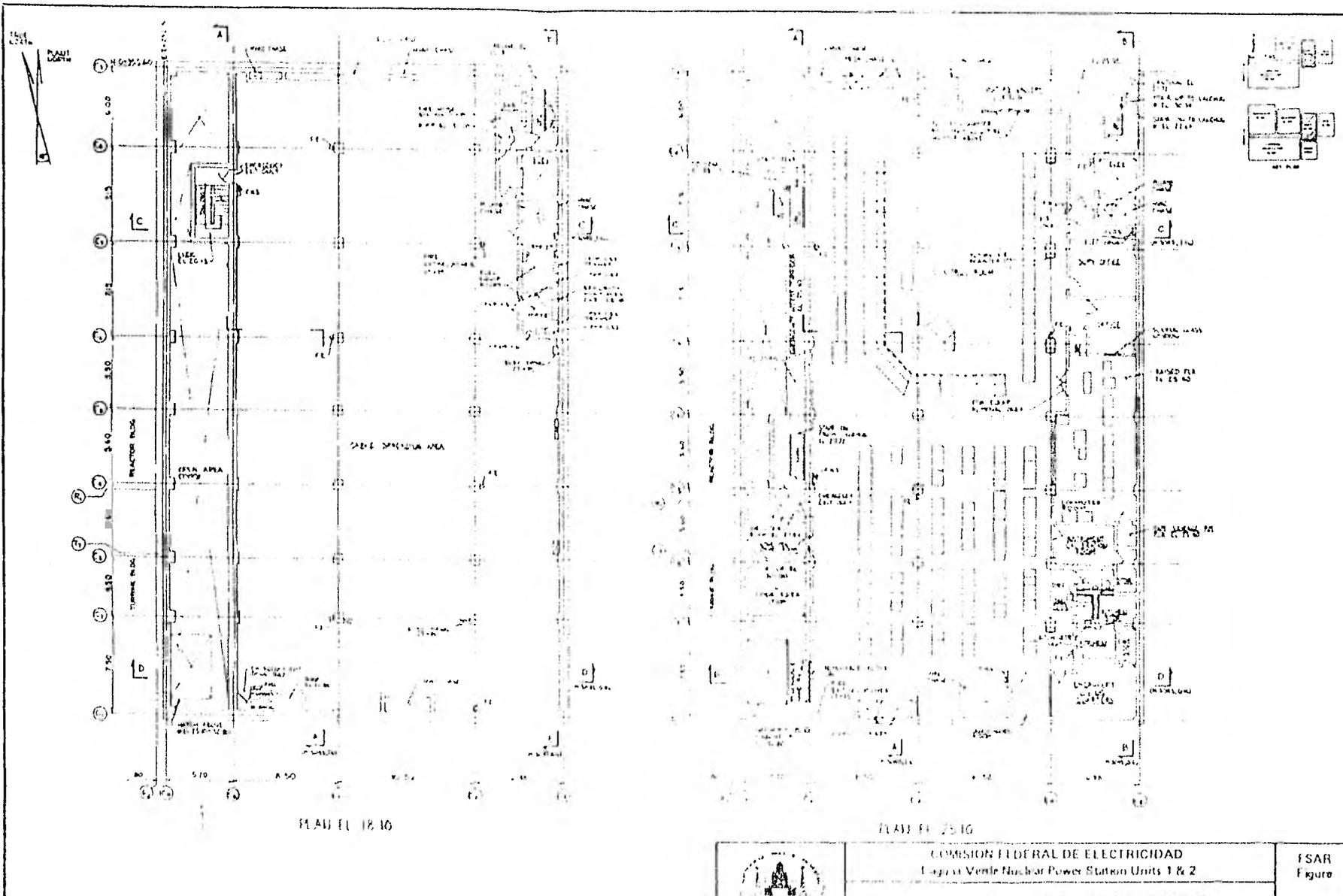
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 Laguna Verde Nuclear Power Station Units 1 & 2

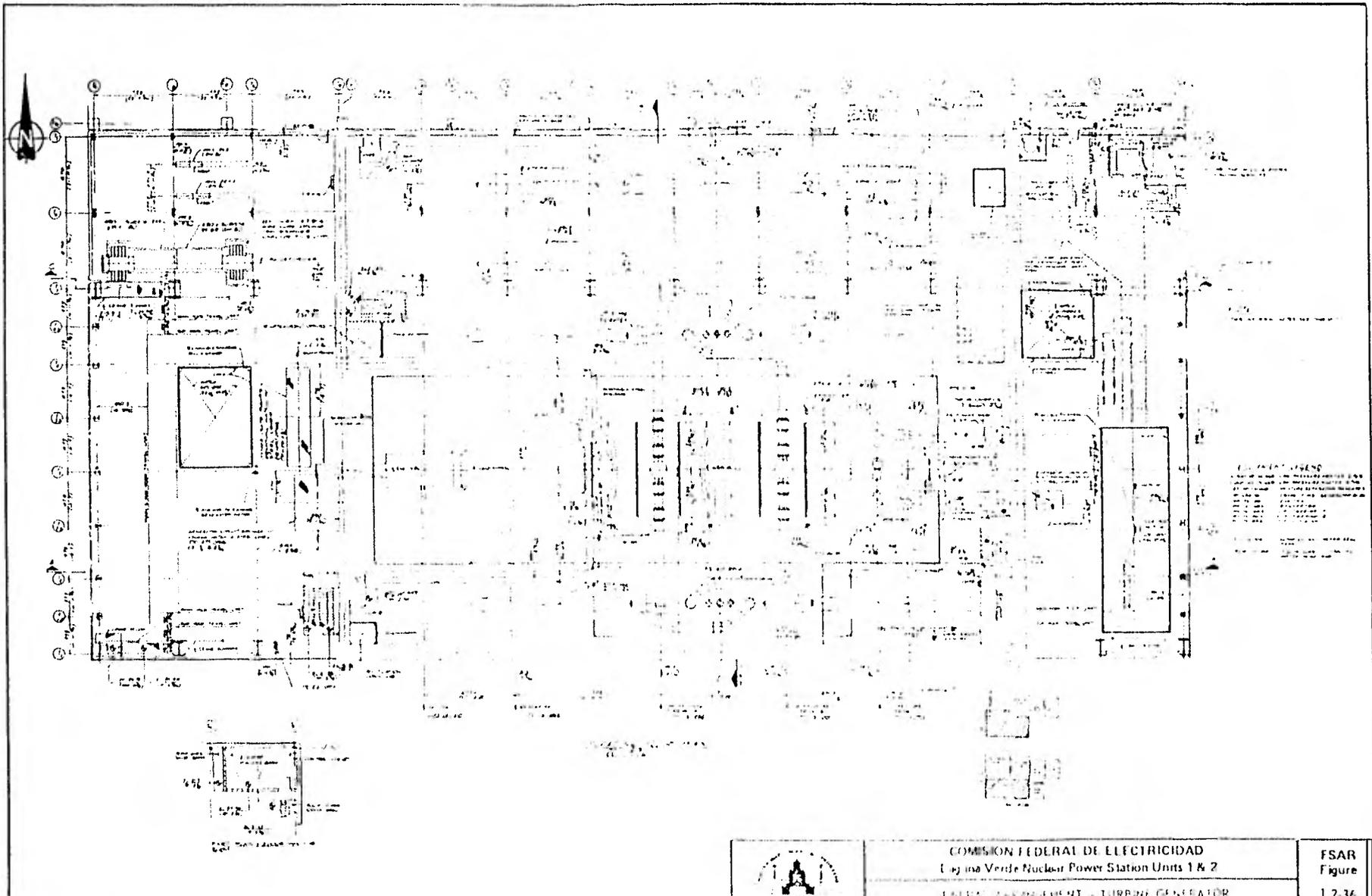
ESAR
 Figure



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Laguna Verde Nuclear Power Station Units 1 & 2

GENERAL ARRANGEMENT - REACTOR BUILDING
SECTION B-B





COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 Laguna Verde Nuclear Power Station Units 1 & 2
 TURBINE GENERATOR - TURBINE GENERATOR

FSAR
 Figure
 1.2.36

C A P I T U L O I V

DIFERENTES TIPOS DE REACTORES COMERCIALES

En la actualidad existen 5 tipos de reactores nucleares, además existen algunos otros en los que siguen siendo experimentados y que no cuentan con la aprobación oficial para entrar en operación comercial. Las características principales que distinguen a un reactor de otro, son las siguientes:

- Tipo de combustible.
- Material fértil empleado.
- Refrigerante.
- Moderador.

- Naturaleza del combustible.

Entre los reactores mencionados anteriormente, tenemos:

- a). PWR - Pressurized Water Reactor - Reactor de agua a presión.
- b). BWR - Boiling Water Reactor - Reactor de agua hirviendo.
- c). CANDU - Canadian Deuterium Uranium - Reactor de agua pesada a presión.
- d). HTGR - High temperature gas cooled reactor - Reactor de alta temperatura enfriado por gas.
- e). Reactores Rápidos de Cría.

- a). REACTOR TIPO PWR.

El reactor de agua a presión, usa agua como -

moderador y refrigerante el uranio enriquecido como combustible. El uranio U^{235} tiene un enriquecimiento del 0.7% en su estado natural y por medios industriales es llevado a un enriquecimiento del 2 ó 3%.

La razón del enriquecimiento se basa en el hecho de que el agua (ligera), actúa como moderador teniendo una alta probabilidad de absorción de neutrones. Al enriquecerse el combustible, se tienen más neutrones por el mayor número de fisiones en el uranio 235, compensándose el efecto que tiene el agua ligera de atrapar neutrones.

El refrigerante que circula a través del núcleo se mantiene a una presión alta de forma tal que el agua no hierve, circulando el agua por bombeo en un circuito cerrado. Esta agua absorbe el calor generado por la reacción en cadena, saliendo de la vasija (lugar donde se aloja el uranio) y pasando por tuberías de los circuitos de enfriamiento hasta los generadores de vapor, en los cuales se calienta el agua de alimentación de la caldera, produciéndose el vapor que hace funcionar a la turbina.

Considerando en el BWR que un ciclo directo -

es usado en el cual el vapor procedente del reactor es conducido a la turbina, el PWR, emplea un ciclo cerrado. El agua de enfriamiento en el sistema primario es bombeada a través de la vasija, transporta el calor a un generador de vapor y es recirculado en un sistema primario cerrado. Un sistema separado secundario de agua es usado en el generador de vapor para generarlo, el cual es llevado a la turbina, después condensado y reciclado de regreso al generador de vapor. Un presurizador es usado en el sistema primario para mantener una presión de 150 atm., para suprimir ebullición en el enfriador primario. La vasija del reactor tiene aproximadamente 44 ft. de alto, 14.5 ft. de diámetro y sus paredes tienen un espesor de por lo menos 22 cms., en la región del núcleo. La longitud de los ensambles del combustible puede variar de 3.7 m., a 4.3 m., y diferentes configuraciones son usadas por los fabricantes. Por ejemplo, un tipo de ensambles de combustible contiene 264 barras de combustible. El diámetro exterior de las barras de combustible es de 9.5 mm. Para este arreglo, las barras de control están agrupadas en ramilletes de 24 barras por ramillete. En el PWR, las barras de control entran desde la parte superior del núcleo. El control de las operaciones del reactor son llevadas a cabo por el uso ya sea de las barras de control o de

un sistema para incrementar o disminuir el contenido de ácido bórico del enfriador primario.

b). REACTOR TIPO BWR.

El reactor está controlado por las barras de control de forma cruciforme, este tipo de reactor está provisto de 177 barras de control. Dentro de estas barras se alojan las pastillas de uranio. Por lo general, el combustible es cambiado cada año, aunque existen diferencias en Laguna Verde, se hará una carga y después se cambiará la tercera parte del combustible a los 21 meses. Luego cada año se renovará la cuarta parte del combustible.

El agua de enfriamiento es circulada a través de los ensambles del combustible por 20 bombas "jet", a una presión de 70 atm., y el calentamiento ocurre dentro del "corazón" del reactor. El vapor es llevado por medio de 4 tuberías de 26" de diámetro a la turbina.

Alrededor de un tercio de la energía liberada

por fisión es convertida en energía eléctrica y el calor sobrante es llevado al condensador. Las operaciones del condensador son típicas, tanto para plantas nucleoelectricas como para plantas que emplean combustibles fósiles, con el calor siendo removido por el condensador teniendo que ser disipado al medio ambiente. Algunos usos limitados de la fuente de calor de baja temperatura proveniente del condensador es posible. El vapor producido en el sistema nuclear será a más bajas temperaturas y presión que el proveniente de plantas fósiles, y aunque la eficiencia de la planta nuclear en producir energía eléctrica es menor, se dota de blindaje para reducir niveles de radiación y albercas de agua son usadas para almacenar combustible y también se dota de la protección necesaria para transferencia de combustible. Entre las medidas de seguridad de ingeniería para minimizar de accidentes del reactor está el contenedor. La función del contenedor es enfrentar la energía liberada por despresurización del refrigerante y contener la radioactividad en una posible falla de las líneas primarias de vapor y proveer una cerca segura para minimizar un derrame de material radiactivo a los alrededores. El reactor BWR, utiliza una alberca de agua para condensar el vapor producido por la despresurización del agua refrigerante. Varios arreglos han sido usados

para la alberca de supresión. Otras medidas de seguridad de ingeniería son usadas incluyendo los sistemas de emergencia de enfriamiento del núcleo.

c). REACTORES TIPO CANDU.

Los canadienses son los creadores y diseñadores de estos reactores, los cuales utilizan como combustible el uranio natural. Siendo ellos los principales fabricantes y exportadores de los reactores CANDU. Ya que los ingleses también han incursionado en este tipo de reactores. Otra de sus diferencias es que usan como moderador y refrigerante el agua pesada: D_2O , siendo D el isótopo deuterio del hidrógeno.

La causa de que estos reactores usen agua pesada como moderador y refrigerante, es la siguiente:

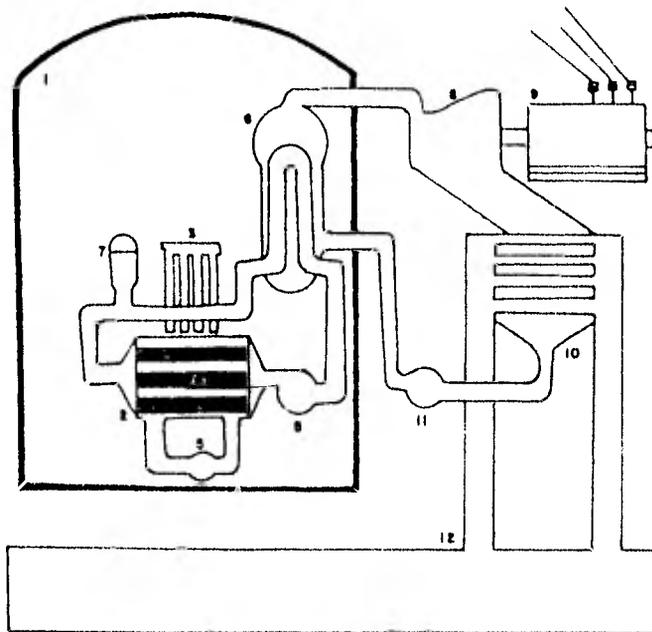
"El poder de enfrenamiento representa la capacidad del moderador para termalizar el neutrón, por lo que es claro que cuanto mayor sea el poder de enfrenamiento, mejor será el moderador, desde este punto de vista, el mejor moderador

es el agua ligera, después el agua pesada y finalmente el grafito. Por otro lado se tiene - que la sección de captura representa la probabilidad que tiene el neutrón de ser absorbido en el transcurso de su termalización, de aquí que se busque un moderador que tenga una sección de captura lo más baja que se pueda, desde este otro punto de vista, resulta que el mejor moderador es el agua pesada y el peor el - agua ligera". Ref. 2.

Uno de sus principales problemas es la obtención del agua pesada, esta existe en estado natural. Esta se encuentra en el agua ordinaria en una proporción aproximada de una parte de agua pesada por 7 000 partes de agua ligera.

El hidrógeno y el oxígeno se unen para formar agua (H_2O). El deuterio y el oxígeno a su vez forman - el agua pesada (D_2O). Ya que el hidrógeno existe en 3 formas o isótopos se les pudo haber dado los nombres de hidrógeno, deuterio y tritio, respectivamente. Al existir un neutrón de más, el átomo de deuterio es más pesado que el átomo de hidrógeno, esta es la razón por la - cual se le llama agua pesada al óxido de deuterio.

REACTOR DE AGUA PESADA (CANDU)



- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1 CONTENEDOR PRIMARIO | 7 PRESURIZADOR |
| 2 VASIJAS (CALANDRIA) | 8 TURBINA |
| 3 BARRAS DE CONTROL | 9 ALTERNADOR |
| 4 NUCLEO DEL REACTOR | 10 CONDENSADOR |
| 5 BOMBAS DE AGUA PESADA | 11 BOMBA DE ALIMENTACION |
| 6 GENERADOR DE VAPOR | 12 AGUA DE ENFRIAMIENTO |

Además de las ya mencionadas anteriormente, - la principal causa por la que se usa agua pesada, es que permite usar el uranio en su forma natural, sin tener - que enriquecerlo. Esto implica que el combustible em-- pleado en los reactores tipo CANDU, sea más económico - que el empleado en otro tipo de reactores.

Para la obtención de agua pesada, es necesaa-- rio la construcción de plantas que llevan a cabo el pro-- ceso para conseguir dicha agua. Este proceso represen-- ta una inversión de aproximadamente el 15% de la inver-- sión total de la planta.

Como dato adicional, mencionaré que la poten-- cia eléctrica de los reactores CANDU, es de 600 MWe, -- aproximadamente.

d). REACTORES DE ALTA TEMPERATURA ENFRIADO POR GAS.

Estos reactores utilizan como moderador el -- grafito y como refrigerante el helio o gas carbónico. Como combustible se usa uranio en forma de óxido y enri-- quecido aproximadamente al 2%.

"El combustible está constituido por uranio altamente enriquecido y torio en forma de carburos, aunque la proporción de material fisiónable en el núcleo no es tan alta, es del 4% aproximadamente. El combustible está rodeado por una cubierta de pirocarbono que resiste temperaturas mucho más altas que los combustibles metálicos y puede permanecer mucho tiempo en el reactor".
Ref. 2.

Aunque en Estados Unidos existe solo un reactor de este tipo, se considera que su eficiencia es mayor que los reactores de agua ligera, los cuales generan el 11% de la electricidad que necesita Estados Unidos.

Las virtudes de estos reactores han sido ampliamente reconocidas en varias partes del mundo. En 1950 y 1960, cuando Estados Unidos había escogido por los reactores de agua ligera, Gran Bretaña y Francia desarrollaron los reactores enfriados por gas. Ahora Gran Bretaña tiene más de 40 reactores enfriados por gas en operación y otros bajo construcción. Francia tiene 7 reactores e Italia, España y Japón, tienen uno cada uno. Más de 600 años-reactor de experiencia en operación han

sido adquiridos con los reactores europeos enfriados por gas.

Las atractivas características de los reactores HTGR, fueron resumidas por Joseph M. Hendrie, Presidente de la Comisión Nuclear Reguladora. Dijo "Tales reactores tienen eficiencias tan buenas como las mejores plantas de combustible fósil y son sustancialmente más eficaces que los reactores enfriados por agua. Se considera que se tiene un 15 ó 20% más de eficiencia que en los reactores de agua ligera".

Los HTGR, tienen también algunas ventajas en cuanto a seguridad. Son máquinas en las cuales no se tiene que hacer muchas operaciones en caso de emergencia. Se dice de estas plantas que en caso de peligro, se tiene mayor tiempo para pensar en la descompostura y arreglo de la misma, que en reactores de agua ligera.

La primer serie de reactores enfriados por gas y construídos en Gran Bretaña, fueron llamados Magnox, debido a las barras de combustible, las cuales usan una funda de una mezcla de magnesio.

El núcleo del reactor, incorporando muchas to

neladas de grafito, estaba hospedado en una vasija de -
acero, larga y costosa, muchas veces más grandes que --
las vasijas necesarias para reactores de agua ligera.
En 1958, ingenieros franceses demuestran que la vasija
de acero podría ser reemplazada por una vasija de con--
creto presforzado que podría ser construída en tamaños
de un largo suficiente para hospedar el sistema total -
del reactor, incluyendo los generadores de vapor. La -
vasija del reactor de concreto presforzado, es manteni-
da a compresión todo tiempo por una red de cables de --
acero tensionados y que pueden ser monitoreados y reten-
sionados o aún reemplazados si se considera necesario.

e). REACTORES RAPIDOS DE CRIA.

Se puede considerar que estos reactores toda-
vía están en una etapa de desarrollo, aunque algunos --
países como Francia y la U.R.S.S., han instalado reacto-
res en forma comercial.

En este tipo de reactor no existe moderador y
su núcleo es de pequeñas dimensiones, además el combus-
tible usado tiene una combinación de óxidos mixtos de -

plutonio y óxido de uranio.

La importancia primordial de estos reactores radica en que las reservas de uranio natural son inciertas, ya que el proceso que usan es con el fin de generar un nuevo material fisionable, a partir del original. Esto se puede explicar de la siguiente manera, durante la fisión nuclear existe una liberación de neutrones de alta velocidad, los cuales pueden iniciar otras fisiones y que son absorbidos por el generador. Como se dijo anteriormente estos reactores no tienen moderador, - esto permite que los neutrones anteriormente desperdiciados, inicien una nueva producción de material fisionable. De aquí el nombre de Reactores Rápidos de Cría. Se puede decir que se produce más combustible del que se consume.

Los franceses tienen gran prestigio en el uso de estos reactores, al igual que los rusos. Francia -- cuenta con una central experimental llamada Phenix, y tiene una capacidad de 250 MWe. Además de otros que es tán en construcción. Como comentario adicional menciono que se considera a Francia como el país con mejor -- tecnología nuclear en el mundo.

La U.R.S.S., cuenta con reactores de cría en forma comercial, siendo en 1973 cuando se inaugura el primer reactor de este tipo. Tratando de buscar otros usos industriales al proceso que se desarrolla en esas plantas.

Se considera que estos reactores tendrán gran impulso en los próximos años, sobre todo en países en los que tiene necesidad de importar combustibles fósiles.

C A P I T U L O V

GARANTIA DE CALIDAD NUCLEAR

La industria nuclear de hoy no puede permitirse una calidad pobre o regular, necesita esforzarse por la perfección; necesitándose profesionales con conciencia, conocimiento, dedicación y herramientas, para alcanzar la perfección y esta meta tiene que ser alcanzada bajo condiciones tan rigurosas y bajo requisitos de Garantía de Calidad, tan estrictos que cubren la mayoría de los aspectos del diseño y construcción de plantas nucleares de potencia.

Es necesario que un ingeniero capaz en construcción debe tener un programa de Garantía de Calidad que implemente completamente los diversos requisitos reguladores y las normas de calidad propias de la compa-

ña que realizó el diseño de la planta.

Debido a que México empieza a incursionar en el campo de plantas nucleoelectricas, se han adaptado reglamentos que se usan en Estados Unidos y que se puede decir están actualizados, ya que ese país cuenta con gran experiencia en ese campo. El documento de gobierno más importante que proporciona una guía para cualquier programa de garantía de calidad para el diseño y construcción de una planta nuclear es el 10 CFR 50, Apéndice B, titulado "Criterios de Garantía de Calidad para Plantas Nucleares y Plantas de Reprocesamiento de Combustible".

El significado de 10 CFR 50, apéndice B, es el siguiente: Título 10 del Código de Reglamentaciones Federales, Parte 50, Apéndice B. El Código de Reglamentaciones Federales, es el mecanismo básico por medio del cual se dan a conocer oficialmente las leyes en Estados Unidos.

En la introducción del documento, encontramos la definición de "Garantía de Calidad", la cual dice: Garantía de Calidad, comprende todas aquellas acciones planeadas y sistemáticas necesarias para proporcionar -

una confianza adecuada de que una estructura, sistema o componente, funcionará satisfactoriamente en servicio. Garantía de Calidad, incluye Control de Calidad, el -- cual comprende aquellas acciones de Garantía de Calidad relacionadas con las características físicas de un material, una estructura, un componente o un sistema que suministran medios para controlar la calidad del material, estructura componente o sistema de acuerdo con los re--quisitos predeterminados. La Garantía de Calidad, es - una buena práctica de dirección. La Garantía de Cali--dad debidamente practicada, no cuesta nada. Puede ahorrrar tiempo y dinero y aumentar la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia. La Garantía de Calidad indebidamente practicada, puede dar por resultado costos considerables, no sólo en fallas en la realización de objetivos positivos, sino provocando restricciones y cargas negativas en otros aspectos del trabajo. Si se deja -- que la Garantía de Calidad se vuelva sólo papeleo, nada se habrá logrado, sino desperdicio.

SEGURIDAD NUCLEAR

Los procedimientos para el licenciamiento de una planta nuclear para construcción y operación, dan lugar a las grandes medidas de seguridad que existen en este tipo de plantas. Al solicitante, en nuestro caso particular, Comisión Federal de Electricidad, se le pide entregue a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), un grupo de documentos llamados Reporte Preliminar de Análisis de Seguridad (PSAR, siglas en ingles), el cual debe estar conforme a un formato prescrito y detallado. Además, un reporte ambiental es preparado. La CNSNS, lleva a cabo una revisión intensiva del PSAR, que se extiende más allá de un período de cerca de un año, incluyendo juntas con el solicitante y sus contratistas y consultantes. Al principio en el proceso de revisión, la CNSNS, intenta identificar problemas a ser resueltos en la región involucrada con la situación de la planta. Preguntas formales son

dadas al aplicante y las respuestas son incluidas como enmiendas al PSAR.

INFORME DEL IMPACTO AMBIENTAL

Acciones federales mayores que significativamente afecten la calidad del medio ambiente humano, requieren la preparación de un Informe del Impacto Ambiental (EIS). El EIS, presenta (1), el impacto ambiental de la acción propuesta; (2) cualesquiera efectos adversos que no pueden ser evitados si fuera la propuesta a ser implementada; (3) alternativas a la acción propuesta.

Para mejor lograr estos objetivos, la CNSNS, suplementa la solicitud del aplicante con sus propias investigaciones y análisis y emite un borrador del EIS, para obtener el beneficio de los comentarios de las -- agencias gubernamentales locales, del estado y de todas las partes interesadas. Un EIS final, es preparado el cual refleja la consideración de todos los compromisos.

REPORTE DE LA EVALUACION DE SEGURIDAD.

Un segundo reporte mayor emitido por la CNSNS, es el Reporte de Evaluación de Seguridad, el cual contiene las conclusiones del staff en los muchos conceptos detallados de seguridad, incluyendo discusiones sobre las características del sitio, criterios de diseño para estructuras, sistemas y componentes, diseño del reactor, sistemas de enfriamiento y combustible, características de seguridad de ingeniería, instrumentación y control, sistemas de agua y sistemas de protección contra incendio, manejo de desechos radioactivos, protección radioactiva para los empleados, calificación del solicitante y contratistas, programas de entrenamiento, revisión y auditoría, seguridad industrial, planeación para emergencias, análisis de accidentes y garantía de calidad.

AUTORIZACION

Una licencia de permiso de construcción, no es emitida hasta que las revisiones de la CNSNS han si-

do terminadas y la solicitud ha sido aprobada, incluyendo condiciones ha ser cumplidas durante la fase de revisión de construcción. Dependiendo de la justificación sobre la necesidad, una Autorización de Trabajo Limitado, puede ser concedida para actividades de construc---ción limitadas, siguiendo una revisión satisfactoria --del EIS. La construcción de una planta nuclear puede -tomar de 5 a 6 años o más, durante dicho tiempo la ---CNSNS, está involucrada en programas de inspección y monitoreos. Varios años antes a la terminación de la ---construcción, un Reporte Final de Análisis de Seguridad (FSAR), es entregado por el solicitante (CFE), y otra -vez una revisión independientes es hecha por la CNSNS. Si todos los conceptos han sido satisfactoriamente re--suelto y las pruebas de construcción y pre-operacionales han sido terminadas, una licencia para operación --hasta la potencia completa es concedida por la CNSNS. Especificaciones técnicas acompañan la licencia de operación y dan límites detallados de como la planta puede ser operada. En algunas situaciones donde información adicional es solicitada, menos de la potencia completa es autorizada.

ESTUDIO DE SEGURIDAD DEL REACTOR.

Un asentamiento detallado y cuantitativo de riesgos de accidente y consecuencias en plantas nucleares comerciales de los Estados Unidos, ha sido llevado a cabo (WASH-1400, Oct. 1975). El reporte final ha tenido el beneplácito de comentarios y críticas sobre un borrador previo de agencias gubernamentales, grupos ambientales, industria, sociedades profesionales y un consejo de otras partes interesadas. Aunque el estudio -- fué iniciado por la AEC (Comisión de Energía Atómica), y continuado por la NRC (Comisión Nuclear Reguladora), el grupo dirigido por N. C. Rasmussen del Instituto de Tecnología de Massachusetts, llevó a cabo un asentamiento independiente. Aparte de los muy significantes avances técnicos hechos en el método de asentamiento de -- riesgos, el "Estudio de Seguridad del Reactor", representa un avance para tratar con una fase del impacto -- controversial de la tecnología sobre la sociedad. El estudio presenta riesgos estimados de accidentes con -- reactores de plantas nucleares y los compara con riesgos que la sociedad enfrenta de ambos eventos naturales y accidentes no nucleares causados por la gente. El -- juicio de hasta que nivel de riesgo puede ser aceptable

para los riesgos nucleares aún permanece sin ser hecho. Las figuras 5.1 y 5.2, ilustran que la frecuencia de accidentes no nucleares causados por humanos y eventos naturales es cerca de 10 000 veces más probable de producir un gran número de desgracias que los accidentes en plantas nucleares. El estudio examinó 2 tipos representativos de reactores nucleares de 50 reactores en operación y ha considerado que la estimación de una base de 100 reactores es una representación razonable. El mejoramiento en el diseño, construcción, operación y mantenimiento se espera reducirán los riesgos para una expansión más adelante en operaciones de reactores nucleares. Las desgracias expuestas en las figuras 5.1 y 5.2, no incluyen daños potenciales y efectos de salud a largo término ya sea de accidentes nucleares o no nucleares. Para los accidentes nucleares, las consecuencias serían 10 veces más probables en comparación a cerca de 8 000 daños, causados anualmente por otros accidentes. Los efectos de salud a largo término, tales como cáncer y efectos genéticos se predicen como menores que los rangos de incidencias normal, con incrementos en incidencia difícil de detectar aún en grandes accidentes.

La enfermedad de la tiroides, la que raramente lleva a consecuencias serias, empieza a acercarse a

los rangos de incidencia normal solo para accidentes grandes.

La probabilidad y el valor de los daños de propiedades resultantes de accidentes nucleares y no nucleares se ilustran en la figura 5.3. Ambos eventos naturales (huracanes, tornados, terremotos) y eventos causados por el hombre (incendios, explosiones, fallas de presas, expuestos químicos), podrían causar daños a propiedades en billones de dólares a frecuencias hasta de 1 000 veces mayor que por accidentes resultantes de la operación de 100 plantas nucleares.

Las figuras 5.1, 5.2 y 5.3, representan una información general sobre riesgos. Los riesgos a personas que han sido fatalmente afectados a través de varias causas se resume en la tabla No. 1. Los resultados del estudio indican que los accidentes nucleares predichos, son muy pequeños en comparación con otras posibles causas de daños fatales. La probabilidad de un accidente que conduzca a la fundición del núcleo de combustible, fué estimada en una por 20 000 años-reactor de operación. Las consecuencias de una fundición del núcleo, depende de un número de factores subsecuentes, incluyendo fallas adicionales que llevan a la liberación

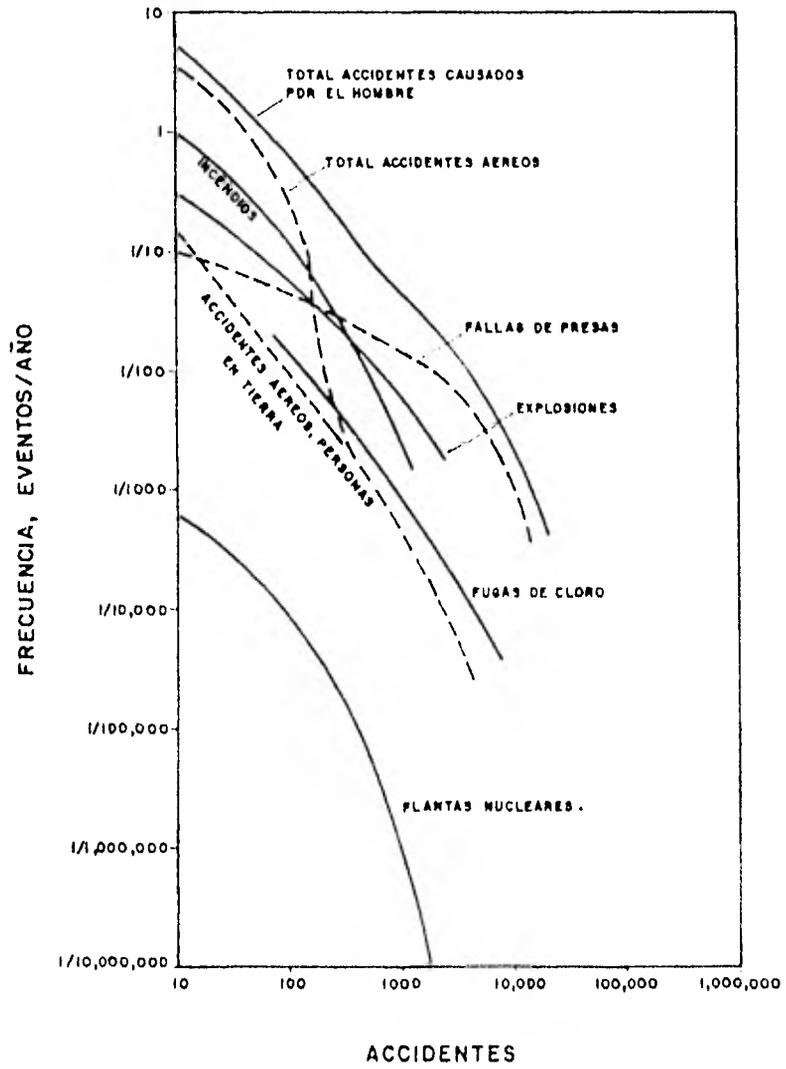


Fig. 5-1 Frecuencia estimada de accidentes debido a eventos causados por el hombre.

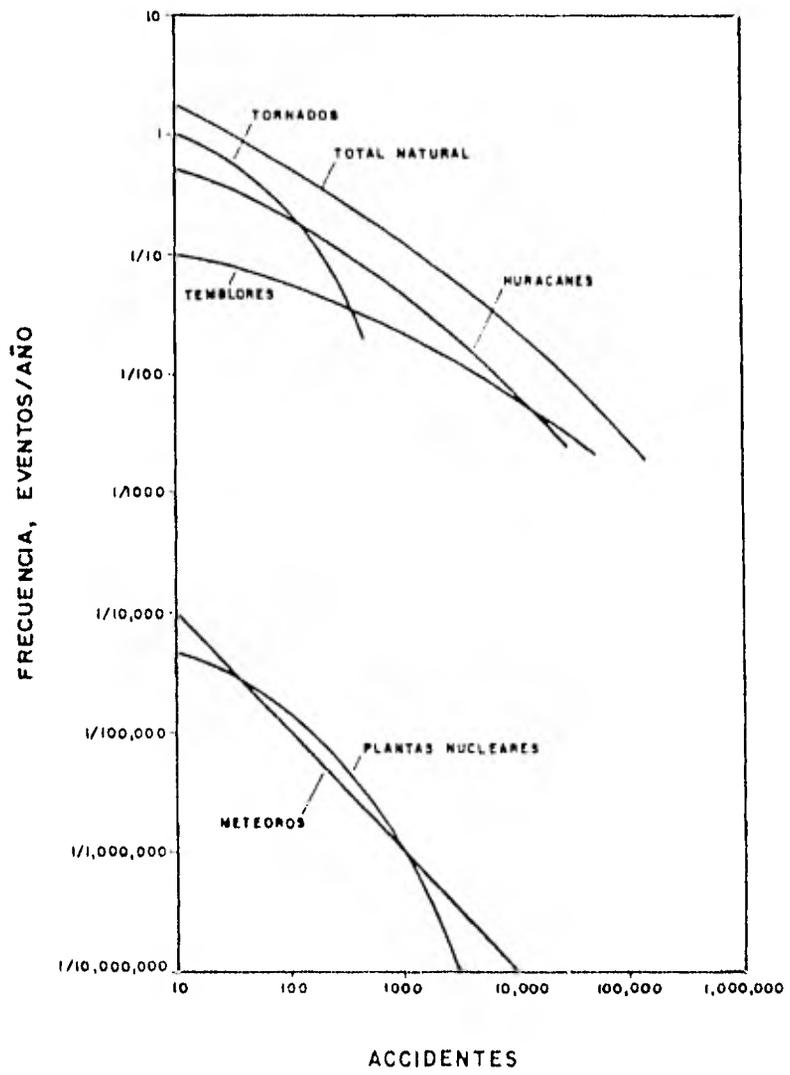


Fig. 5-2 Frecuencia estimada de accidentes debido a eventos naturales

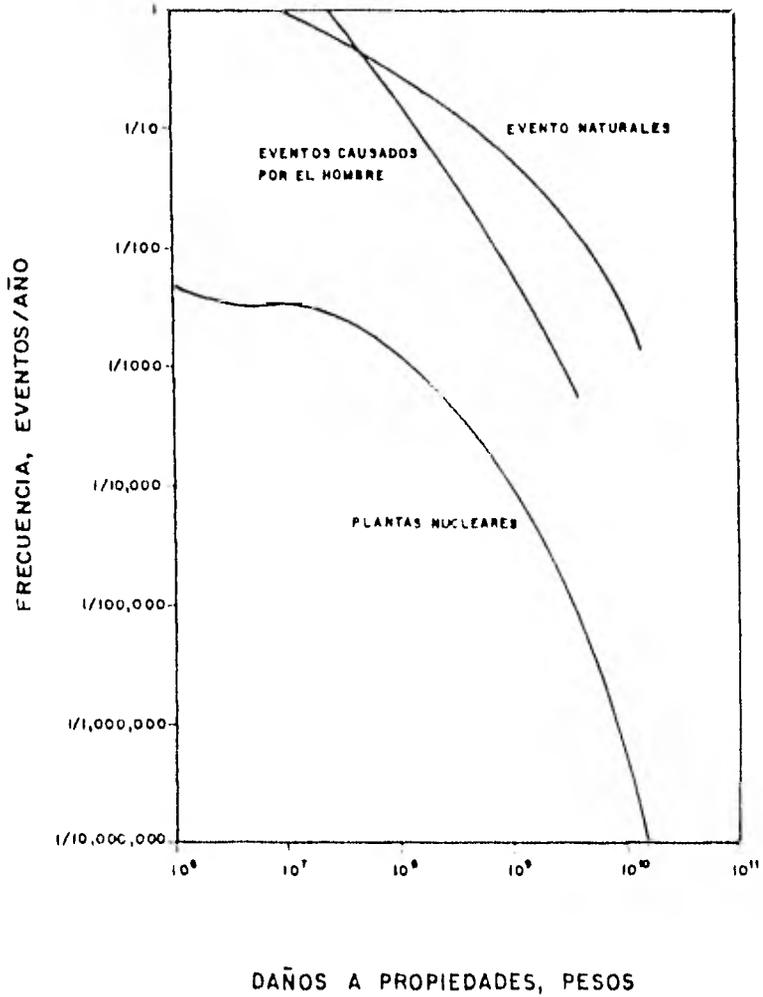


Fig. 5-3 Frecuencia estimada de daños a propiedades debido a eventos naturales y eventos causados por el hombre

T A B L A 1

<u>TIPO DE ACCIDENTE</u>	<u>NUMERO TOTAL.</u>	<u>RIESGO INDIVIDUAL POR AÑO</u>
Automóvil	55 791	1 en 4 000
Incendios y Substancias Calientes	7 451	1 en 25 000
Ahogados	6 181	1 en 30 000
Armas de Fuego	2 309	1 en 100 000
Viajes Aéreos	1 778	1 en 100 000
Objetos Cayentes	1 271	1 en 160 000
Electrocutados	1 148	1 en 160 000
Relámpagos	160	1 en 2 000 000
Tornados	91	1 en 2 500 000
Huracanes	93	1 en 2 500 000
Todos los accidentes	111 992	1 en 1 600
Accidentes de Reactores Nucleares (100 Plantas)	- ---	1 en 5 000 000 000

de radioactividad y distribución de la población en el sitio en particular.

Los factores tendrían que ocurrir en sus peores condiciones para producir severas consecuencias.

DOCUMENTACION

Debido a la complejidad de la construcción de una planta nuclear y a los cambios y modificaciones que se presentan en ella, es indispensable llevar a cabo un estricto control de documentos que dan constancia a dichos cambios de diseño. Para el control de cambios de diseño, existen procedimientos ya establecidos en otros proyectos nucleares y que pueden ser modificados y mejorados de acuerdo a las necesidades de cada planta. A continuación explico el procedimiento usado en Laguna Verde, Veracruz, y hago mención de los documentos usados para el control de dichos cambios.

PROPOSITO.

El propósito de este procedimiento es imple--

mentar los controles requeridos para la coordinación de Requisiciones de Cambio por parte del campo (Construcción), (FCR Field Change Request); y Avisos de Cambio de Diseño (DCN Design Change Notice), entre las disciplinas de Construcción, Ingeniería y Control de Calidad.

ALCANCE.

Este procedimiento establece los criterios, responsabilidades y métodos requeridos para garantizar que todas las requisiciones del campo (Construcción) para cambio de diseño y el grupo de Ingeniería cumpla cada uno con su responsabilidad.

FCR.- Es un documento hecho por el campo (Construcción), en el cual se solicita información sobre un problema técnico o de construcción. También se solicitan cambios de diseño, ya que en el campo es imposible realizar la construcción o colocación de ciertas piezas. Ya que no se pueden hacer cambios sin tomar en cuenta a Ingeniería y Garantía de Calidad, todos estos cambios deberán ser aprobados por -

estos últimos dos grupos y distribuidos estos documentos a las disciplinas que afecte.

DCN.- Es un aviso a Construcción, contratista o venedor que un documento de diseño ha sido o está en proceso de ser alterado por la compañía que hizo el diseño de la planta.

La contestación a un FCR, puede ocasionar un Cambio Mayor o un Cambio Menor. Un Cambio Mayor, afecta la intensidad del diseño original, incluyendo equipo, componente, sistema o estructura que esté relacionada con las funciones de operación o seguridad de la planta y seguridad del personal de operación o futura extensión de la planta, a juicio del grupo de Ingeniería encargado de contestar el documento.

Cambio Menor es un cambio que no modifica características tales como flujo, volumen, presión, resistencia, sistemas, estructuras o integridad, la cual está relacionada con la operación y seguridad o extensión futura de la planta.

RESPONSABLES.

Todas las disciplinas de Ingeniería, Disciplinas de Construcción y las Superintendencias de las Areas de Construcción son responsables para la implementación de este procedimiento.

ORIGINADOR.

Un ingeniero de Construcción en la organiza--ción de campo dentro de la superintendencia del "área"-o disciplina, reporta al Jefe de Obra o Superintendente, sobre una duda en el campo y por eso se deberá consul--tar a Ingeniería para que resuelva el problema.

El ingeniero de Construcción, preparará el documento en una forma como la que anexamos.

Cada FCR, listará las razones específicas por las cuales se solicita el cambio, algunas de ellas podrían ser:

BRASCO SERVICES INCORPORATED
FIELD CHANGE REQUEST

REV. 4
ATTN: "A"

PROJECT PROYECTO NUCLEO ELECTRICO LAGUNA VERDE	<input type="checkbox"/> UNIT 1 <input type="checkbox"/> UNIT 2	DES. No. CFE-7648	FIELD CHANGE No. FCR
------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	----------------------	-------------------------

BY PROJECT ENGINEER _____ Dept. _____ Location _____ Date _____

FOR Drawing No. _____ Title _____
 Spec No. _____ Title _____
 Other _____

DESCRIPTION (Items involved, submit sketch if applicable)

REASONS FOR CHANGE (If from disposition of nonconformance report, list report number)

ORIGINATOR (Const.)	DATE	SUPERVISOR (Const.)	DATE
<input type="checkbox"/> DOS BOCAS DISPOSITION		<input type="checkbox"/> NON QA	
<input type="checkbox"/> ON-SITE DISPOSITION		<input type="checkbox"/> QA	

RECOMMENDED DISPOSITION (submit sketch if applicable)

DISPOSITION Approved per Recommended Disposition-Design Documents will not be formally revised
field to maintain as-built records

Considered Minor Change
 Considered Major Change-SITE MANAGER NOTIFIED-Action will be taken as prescribed on DCN
 Not Approved (give reason) _____

DESIGN RESPONS. ENG.	DATE	SUPV. ENG. OR LDE	DATE	PE OR DESIGNER	DATE
----------------------	------	-------------------	------	----------------	------

FCR IMPLEMENTED BY CONSTRUCTION YES NOT _____ DATE _____
 PAGE _____ OF _____

- a). Problemas de interferencias descubiertas durante la construcción.
- b). Modificaciones requeridas al diseño o especificaciones.
- c). Revisión a FCR ya emitidos.
- e). Sustitución de materiales por no existir en el mercado.

De ser necesario se anexa un dibujo indicando la siguiente información:

- a). Flecha indicando el norte.
- b). Elevaciones.
- c). Localización de los ejes de las columnas entre las cuales se encuentra el problema.
- d). Dimensiones completas.

e). Secciones.

f). Todos los cambios al diseño original, serán encerrados en un círculo para identificar la revisión.

El documento en tales condiciones es enviado al grupo de Ingeniería, el cual dará un número al FCR, de acuerdo a la nomenclatura usada en la hoja siguiente.

Ahí mismo es estudiado el problema por un supervisor, si amerita un Cambio Menor, el procedimiento es más sencillo. Se da la solución y es aprobado por el Jefe de Ingeniería. Después es enviado a Garantía de Calidad, donde se aprobará la disposición y regresará a Ingeniería.

De ahí, es enviado al Departamento de Control de Documentos, para ser distribuido a todas las áreas afectadas.

Si el Departamento de Ingeniería considera -- que el documento (FCR) requiere un Cambio Mayor, ese documento será entregado al representante en el sitio de

TABLA DE PARRAFO 8.2.2 (a)

AREA DISCIPLINA	REACTOR	CONTROL & GEN. DIESEL	TURBO- GENERADOR	SUBESTACION	EDIFICIOS AUXILIARES	AREAS EXTERIORES	SUPERINTEN- DENCIAS DE-- DISCIPLINAS.
CIVIL	RC	CC	TGC	SEC	EAC	AEC	SDC
MECANICA	RM/RMI*	CGM/CGMI*	TGM/TGMI*	SEM/SEMI*	EAM/EAMI*	AEM/EAMI*	SDM/SDMI*
ELECTRICA	RE	CGE	TGE	SFE	FAE	AEE	SDE
TUBERIAS	RT	CGT	TGT	SET	EAT	AET	SDT
INSTRUMENT Y CONTROL	RI	CGI	TGI	SEI	EAI	AEI	SDI
SOLDADURA	RS	CGS	TGS	SES	EAS	AES	SDS

* ADICIONAR UNA "H" A LA DISCIPLINA MECANICA "M" CUANDO EL DOCUMENTO ES RELACIONADO CON LA DISCIPLINA DE HVAC.

la compañía que diseñó y al Superintendente General de Construcción.

Después de su aprobación por parte de Ingeniería y Garantía de Calidad, se generará un DCN, el cual estará registrado con un número en el mismo FCR.

Los DCN's, pueden ser originados por Ingeniería o la compañía encargada del diseño y enviados a Control de Documentos, para ser distribuidos a las áreas afectadas. Estos cambios deberán ser hechos por Construcción. Siendo Garantía de Calidad, la encargada de supervisar que estos cambios sean llevados a cabo.

CRITERIOS DE GARANTIA DE CALIDAD PARA PLANTAS NUCLEARES
Y PLANTAS DE REPROCESAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Se requiere que cada solicitante para permiso de construcción, según las provisiones del artículo --- 50.34, incluya en su Reporte Preliminar de Análisis de Seguridad, una descripción del programa de Garantía de Calidad, para ser aplicado al diseño, fabricación, construcción y prueba de las estructuras, sistemas y componentes en la instalación. Se requiere que cada solicitante para una licencia de operación incluya, en su Reporte Final de Análisis de Seguridad, la información correspondiente a los controles directivos y administrativos a emplear para garantizar la operación segura. Las plantas nucleoelectricas, así como plantas para reproceso de combustible nuclear incluye estructuras, sistemas y componentes para prevenir o disminuir las consecuencias de accidentes posteriores, los cuales podrían causar daños excesivos a la salud y seguridad pública.

Este apéndice establece los requerimientos de Garantía de Calidad para el diseño, construcción y operación de dichas estructuras, sistemas y componentes. Los requerimientos pertinentes de este apéndice se aplican a todas las actividades que afectan las estructuras, sistemas y componentes, cuyas funciones están relacionadas con seguridad, tales actividades incluyen: diseño, compra, fabricación, manejo, embarque, almacenaje, limpieza, montaje, instalación, inspección, prueba, operación, mantenimiento, reparación, reabastecimiento de combustible y modificación.

Como es empleado en este apéndice, "Garantía de Calidad", comprende todas aquellas acciones planeadas y sistemáticas necesarias, para proporcionar la confiabilidad indispensable durante el servicio de las estructuras, sistemas o componentes. Garantía de Calidad incluye Control de Calidad, relacionadas con las características físicas de un material, estructura, componente o sistema y además proporciona los medios para el control de la calidad bajo requerimientos preestablecidos.

ORGANIZACION

El solicitante debe ser responsable del establecimiento y ejecución del programa de Garantía de Calidad. El solicitante podrá delegar a terceros, tales como contratistas, agentes o consultores, el trabajo de establecer y ejecutar el programa de Garantía de Calidad o cualquier parte del mismo, pero mantendrá la responsabilidad completa. La autoridad y deberes de personas y organizaciones quienes desarrollen actividades -- que afecten a estructuras, sistemas y componentes con funciones relacionadas con seguridad, deberán ser claramente establecidas y delimitadas por escrito. Dichas actividades incluyen tanto el desarrollo de funciones para el logro de los objetivos de calidad, así como las funciones de Garantía de Calidad. Dichas funciones son aquellas para:

- a). Garantizar que un programa de Garantía de Calidad apropiado sea establecido y efectivamente ejecutado.
- b). Verificar mediante chequeo, auditoría e ins--

pección, que las actividades, las cuales afectan las funciones relacionadas con seguridad hayan sido correctamente desarrolladas, las personas y organizaciones que desarrollen funciones de Garantía de Calidad, deben tener suficiente autoridad y libertad de dirección para identificar los problemas de calidad, para iniciar, recomendar o proporcionar soluciones y; para verificar la implementación de tales soluciones.

Cuando el término "solicitante" es mencionado en los criterios, los requerimientos son, por supuesto, aplicables después de que dicha persona ha recibido una licencia para construir y operar una planta nucleoelectrica. Estos criterios también serán empleados como lineamiento en la evaluación conveniente de los programas de Garantía de Calidad, empleados por los poseedores de permisos de construcción y licencias de operación.

PROGRAMA DE GARANTIA DE CALIDAD.

El solicitante debe establecer a la brevedad

posible, de una manera consistente con el programa de obra, un Programa de Garantía de Calidad, que satisfaga los requerimientos de este apéndice.

Este programa debe ser documentado mediante políticas, procedimientos o instrucciones escritas y debe implementarse durante la construcción de la planta.

El solicitante debe identificar las estructuras, sistemas y componentes que sean cubiertos por el programa de Garantía de Calidad, así como las principales organizaciones participantes en el programa conjuntamente con las funciones designadas a dichas organizaciones. El programa de Garantía de Calidad, debe proporcionar control sobre las actividades que afecte la calidad de las estructuras, sistemas y componentes, en forma consistente con la seguridad. Las actividades que afecten la calidad, deben ser realizadas bajo convenientes condiciones de control. Las condiciones controladas incluyen el uso de equipo apropiado, condiciones de control. Las condiciones controladas incluyen el uso de equipo apropiado, condiciones ambientales adecuadas para el cumplimiento de la actividad, tales como: limpieza requerida y certeza de que todos los requisitos para una actividad dada han sido satisfactorios.

El programa deberá proporcionar adocctrinación y adies--
tramiento para el personal que desarrolle actividades -
relacionadas con Calidad, tantas veces como sea necesa--
rio para garantizar que la adecuada pericia sea lograda
y mantenida. El solicitante deberá revisar periódica--
mente el estado y aplicabilidad del Programa de Garan--
tía de Calidad.

CONTROL DE DISEÑO.

Se deberán establecer medidas para garantizar
que los requerimientos de regulaciones y conceptos de -
diseño aplicables y especificados en la licencia de --
aplicación, para aquellas estructuras, sistemas y compo--
nentes a los cuales este apéndice es aplicable, sean co--
rrectamente traducidas en especificaciones, dibujos, --
procedimientos e instrucciones. Estas medidas deberán
incluir disposiciones para garantizar que las normas --
apropiadas de Calidad, sean especificadas e incluídas -
en los documentos de diseño y que las desviaciones de -
tales normas sean controladas. Se establecerán también
medidas para la selección y revisión de materiales, par--
tes, equipo y procesos aplicables, los cuales sean es--

cenciales para las funciones relacionadas con seguridad de las estructuras, sistemas y componentes. Deben establecerse medidas para la identificación y control de -- las interacciones de diseño y para la coordinación entre organizaciones participantes en el diseño. Tales - medidas deben incluir el establecimiento de procedimientos entre las organizaciones participantes en el diseño para revisar, aprobar y distribuir la última versión de los documentos involucrados en las interacciones de diseño.

Las medidas para control de diseño, deberán - proveer métodos para verificar o comprobar la conveniencia del diseño, así como el desarrollo de las revisio-- nes del mismo, mediante el empleo de métodos alternados a cálculos simplificados o por el desarrollo de programas de prueba conveniente. Los procesos de verificación o comprobación deberán ser desarrollados por grupos o - individuos independientes de aquellos quienes originalmente realizaron el diseño, pero podrán formar parte de la misma organización. Cuando se ha empleado un programa para verificar la conveniencia de algún aspecto específico del diseño, en lugar de algún otro proceso de verificación o comprobación, éste deberá incluir la calificación conveniente de las pruebas de un prototipo ba-

jo condiciones adversas de diseño. Las medidas para el control del diseño deberán ser aplicadas a conceptos tales como los siguientes: Física del Reactor, esfuerzos, termodinámica, hidráulica y análisis de accidentes; compatibilidad de materiales, accesibilidad para inspección durante la operación, mantenimiento y reparación y limitación de los criterios para aceptación de inspecciones y pruebas.

Los cambios de diseño, incluyendo los cambios de campo deben estar sujetos a las medidas de control de diseño acordes con las aplicadas en el diseño original y deben ser aprobados por la organización quién desarrolló el diseño original, a menos que el solicitante designe otra organización como responsable.

CONTROL DE DOCUMENTOS DE COMPRA.

Se deberán establecer medidas para garantizar que los requerimientos aplicables de regulaciones, conceptos de diseño y otros requerimientos, los cuales son necesarios para garantizar que la calidad adecuada sea considerada o referida en los documentos para la compra

de materiales, equipo y servicios, así sean adquiridos por el solicitante, contratista o subcontratistas. Dentro del alcance correspondiente, los documentos de compra deberán requerir que los contratistas o subcontratistas proporcionen un programa de Garantía de Calidad, consistente con las disposiciones pertinentes de este apéndice.

INSTRUCCIONES, PROCEDIMIENTOS Y PLANOS.

Las actividades relacionadas con calidad, deberán determinarse y cumplirse de acuerdo con instrucciones, procedimientos o planos documentados, apropiados a las circunstancias. Las instrucciones, procedimientos o planos, deberán incluir el apropiado criterio de aceptación cuantitativa para determinar que las actividades importantes hayan sido satisfactoriamente cumplidas.

CONTROL DE DOCUMENTOS.

Deberán establecerse medidas para el control

de la emisión de documentos, tales como: Instrucciones, procedimientos y planos, incluyendo cambio en los mismos, los cuales indiquen todas las actividades relacionadas con Calidad. Dichas medidas deberán garantizar que los documentos, incluyendo los cambios, sean revisados para su aplicabilidad y aprobados para emisión y distribución por personal autorizado y sean empleados en el sitio donde la actividad señalada sea desarrollada. Los cambios de documentos deben revisarse y aprobarse por la misma organización quien desarrolló la revisión y aprobación original, a menos que, el solicitante designe a otra organización como responsable.

CONTROL DE MATERIALES, EQUIPO Y SERVICIOS ADQUIRIDOS.

Deberán establecerse medidas para garantizar que los materiales, equipo y servicios adquiridos, ya sea directamente a través de contratistas y subcontratistas, cumplan con los documentos de compra. Dichas medidas deberán incluir disposiciones apropiadas para la evaluación y selección de la fuente, la evidencia objetiva de la calidad proporcionada por el contratista o subcontratista, la inspección a la fuente del contratis

ta o subcontratista y la examinación de los productos - al momento de su envío. Previamente a la instalación o empleo de tales materiales o equipo se deberá contar en el sitio de la planta nucleoelectrica con la evidencia documentada de que los materiales y equipo cumplan con los requerimientos de compra. Tal evidencia documentada debe retenerse en el sitio de la planta nucleoelectrica y ser suficiente para identificar que aquellos requerimientos específicos tales como: códigos, normas o especificaciones, corresponden al material y equipo adquirido. La efectividad de Control de Calidad por parte de contratistas o subcontratistas, deberá evaluarla el solicitante o su designado, a intervalos consecuentes con la importancia, complejidad y cantidad de los - servicios o productos.

IDENTIFICACION Y CONTROL DE MATERIALES, PARTE Y COMPONENTES.

Deberán establecerse medidas para la identificación y control de materiales, partes y componentes, - incluyendo ensambles parcialmente fabricados. Estas medas deberán garantizar que la identificación del ar-

tículo sea mantenida mediante un número de horneada, número de serie u otros medios apropiados, ya sea indicado en el artículo o en el registro para rastreo del artículo. Estas medidas de identificación y control deben diseñarse para prevenir el uso de materiales, partes y componentes defectuosos o incorrectos.

CONTROL DE PROCESOS ESPECIALES.

Deberán establecerse medidas para garantizar que los procesos especiales, incluyendo soldadura, tratamiento térmico y pruebas no destructivas, sean controlados y ejecutados por personas o personal calificado - empleando procedimientos calificados y en cumplimiento con los códigos, normas, especificaciones, criterios y otros requerimientos especiales aplicables.

INSPECCION.

Deberá establecerse un programa para la inspección de aquellas actividades relacionadas con Cali-

dad y ejecutadas por o para la organización que desarrolla la actividad y verificar el cumplimiento de las instrucciones, procedimientos y planos documentados para - su ejecución. Dichas inspecciones deberán desarrollarlas otros individuos que no sean aquéllos quienes participaron en la actividad inspeccionada. Deberán desarrolllarse para cada operación de trabajo, exámenes medidas o pruebas a materiales o productos procesados cuando -- sea necesario garantizar la Calidad. Si la inspección de materiales o productos procesados es imposible o inconveniente, deberán proveerse controles indirectos mediante análisis de procesos, equipo y personal. Debeerrán aplicarse inspecciones y análisis de procesos cuando el control sea inadecuado sin ambos. Si existen puntos de suspensión obligatorios, los cuales requieran la presencia o inspección del solicitante o representante designado, el trabajo no podrá ser procesado más allá - del punto de suspensión sin el consentimiento del solicitante o representante designado, los puntos de suspensión específicos deben indicarse en documentos apropiados.

CONTROL DE PRUEBAS.

Deberá establecerse un programa y garantizar que todas las pruebas necesarias para demostrar que las estructuras, sistemas y componentes se desarrollarán satisfactoriamente durante su operación y, que estas pruebas sean identificadas e implementadas de acuerdo con procedimientos de pruebas escritas, las cuales incluyan los requerimientos y límites contenidos en los documentos de diseño aplicables. El programa de pruebas debe incluir, cuando se requiera, pruebas de certificación previas a la instalación, pruebas preoperacionales y pruebas durante la operación de estructuras, sistemas y componentes en plantas nucleoelectricas o plantas para procesamiento de combustible. Los procedimientos de prueba, deberán incluir medidas para garantizar que todos los requisitos de la prueba dada hayan sido logrados; que se cuente y se use con la instrumentación adecuada para la prueba y que la prueba sea desarrollada bajo condiciones ambientales convenientes. Los resultados de prueba deben evaluarse y documentarse para garantizar que los requerimientos han sido satisfactorios.

CONTROL DE EQUIPO PARA MEDICION Y PRUEBAS.

Deberán establecerse medidas para garantizar que las herramientas, indicadores, instrumentos y otros dispositivos para medición y prueba utilizados en actividades relacionadas con calidad, sean adecuadamente controlados, calibrados y ajustados dentro de períodos de tiempo específicos para mantener la exactitud dentro de los límites necesarios.

MANEJO, ALMACENAJE Y EMBARQUE.

Deberán establecerse medidas para controlar el manejo, almacenaje, embarque, limpieza y preservación de materiales y equipo, de acuerdo con las instrucciones de inspección para prevenir daños o deterioración. Cuando sea necesario y para productos en particular, se deberá especificar y proporcionar el ambiente especial de protección, tal como atmósfera de gas inerte, rangos específicos de contenido de humedad y rangos de temperatura.

INSPECCION, PRUEBA Y ESTADO DE OPERACION.

Deberán establecer medidas para indicar, por medio del uso de marcas, tales como sellos, etiquetas, marbetes, tarjetas de rastreo u otros medios convenientes, el estado de inspección y prueba desarrollada en artículos particulares de la planta nucleoelectrica o para reprocesamiento de combustible. Tales medidas deberán proporcionarse para la identificación de artículos, los cuales han aprobado satisfactoriamente las inspecciones y pruebas requeridas, siempre que sea necesario para prevenir la inadvertida repetición de dichas inspecciones y pruebas. También deberán establecerse medidas para indicar el estado de funcionamiento de las estructuras, sistemas o componentes de la planta nucleoelectrica o para reprocesamiento de combustible, tales como etiquetado de válvulas e interruptores para prevenir su operación inadvertida.

MATERIALES, PARTES O COMPONENTES NO CONFORMES.

Deberán establecerse medidas para el control

de materiales, partes o componentes los cuales no cumplen con los requerimientos y prevenir su uso o instalación inadvertida. Estas medidas deberán incluir, cuando sea pertinente, procedimientos para identificación, documentación, segregación, disposición y notificación a las organizaciones afectadas. Los artículos no conformes deberán revisarse y aceptarse, rechazarse, repararse o reconstruirse de acuerdo con procedimientos documentados.

ACCION CORRECTIVA.

Deberán establecerse medidas para garantizar que las condiciones adversas a Calidad, tales como: fallas, mal funcionamiento, deficiencias, desviaciones, material o equipo defectuoso y no conformidades sean rápidamente identificadas y corregidas. En caso de condiciones significantes y adversas a la calidad, las medidas deberán garantizar que el origen de la condición sea determinada y la acción correctiva tomada para evitar recurrencia. La identificación de la condición significativa y adversa a la calidad, el origen de la condición y la acción correctiva tomada, deberán documentar-

se y reportarse oportunamente a los niveles de dirección.

REGISTROS DE GARANTIA DE CALIDAD.

Deberán mantenerse suficientes registros para proporcionar evidencia de las actividades relacionadas con calidad. El archivo debe incluir por lo menos lo siguiente: Registros de operación y los resultados de las revisiones, inspecciones, pruebas, auditorías, comprobación del desarrollo de los trabajos y análisis de materiales. Los registros deberán incluir también datos estrechamente relacionados, tales como calificación de personal, procedimientos y equipo. Los registros de inspección y pruebas deberán como mínimo identificar a el inspector o registrador de datos, el tipo de observación, los resultados, la aceptación y la acción tomada en relación con cualquier deficiencia observada. Los registros deberán ser identificables y recuperables. De acuerdo con las regulaciones aplicables, el solicitante deberá establecer requerimientos relativos a la retención de los registros, tales como duración, localización y responsabilidad asignada.

AUDITORIAS.

Deberá llevarse un amplio sistema de auditorías periódicas y planeadas a efecto de verificar el cumplimiento de todos los aspectos del programa de Garantía de Calidad y determinar la efectividad del mismo. Las auditorías deberán desarrollarse de acuerdo con los procedimientos escritos o listas de chequeo mediante personal convenientemente adiestrado y quien no tiene responsabilidad directa en las áreas auditadas. Los resultados de las auditorías deben documentarse y revisarse por la gerencia responsable en el área auditada. La acción de investigar, incluye re-auditorías de áreas deficientes, debe efectuarse cuando se indique.

PROCEDIMIENTO DE COLOCACION DE CONCRETO

LA CAPA DE MORTERO.

Cuando el concreto va a ser colocado sobre y unido a roca o sobre concreto endurecido, el concreto fresco deberá ser precedido por una capa de mortero, -- que cubrirá la superficie de la junta. Las superficies de unión de la roca o del concreto deberán ser superficies secas y libres de agua remanente cuando el recubrimiento de mortero sea aplicado. El mortero debe ser el mismo que el empleado en el concreto sin el agregado -- grueso y deberá incluir la misma cantidad de aire inyectado. El mortero deberá ser suficientemente suave para ser fácilmente esparcido sobre la superficie de la junta hasta un espesor aproximado de 3/8" de pulgada. Esta consistencia suave es usualmente posible dentro de -- las limitaciones especificadas para la relación agua-ce

mento. El mortero demasiado húmedo tiende a segregarse. El recubrimiento de mortero deberá ser perfectamente esparcido en las superficies de la junta, cuando sea posible. En juntas inaccesibles, se deberá tener cuidado de asegurar la distribución del mortero sobre el área total de la junta. Se han utilizado chorros de aire para esparcir el mortero en tales lugares. La impermeabilidad entre el concreto nuevo y el viejo puede obtenerse solamente por contacto completo y unión a través de la superficie de la junta. Bajo condiciones ideales, con una superficie de la junta suficientemente limpia y con una adecuada vibración del nuevo concreto en toda el área de contacto, un recubrimiento de mortero no sería necesario. Sin embargo, tales condiciones raramente se presentarán.

SEGREGACION.

El concreto colocado apropiadamente está libre de segregación y el mortero está en contacto íntimo con el agregado grueso, el acero de refuerzo y otras partes embebidas. Uno de los detalles más importantes que se debe tomar en cuenta es el de evitar la segrega-

ción durante el colado de concreto.

La razón básica para segregación es que el --concreto no es un producto homogéneo, sino un agregado de materiales con partículas de diferentes tamaños. Como una consecuencia desde el momento en que el concreto sale de la mezcladora, existen fuerzas internas y externas que actúan para separar los diferentes constituyentes. Si hay movimiento lateral, como en la descarga a un ángulo o en el depósito continúa en un punto, permitiendo al concreto a fluir, el agregado grueso y el mortero tienden a separarse; o si el concreto está confinado lateralmente, como cimbras limitadas, existe una tendencia para las partículas gruesas y pesadas a depositarse o asentarse. Y, para los materiales finos y ligeros, especialmente el agua, a subir o flotar. La segregación del agregado grueso del mortero puede minimizarse, evitando o controlando el movimiento lateral del --concreto, durante el manejo y colocación del mismo. Algunas especificaciones requieren que el concreto sea depositado tan cerca como sea posible, a su posición final para evitar el uso de métodos de colocación que permitirían o causarían el flujo de concreto en las cimbras. Estos métodos dan por resultado la concentración de un mortero menos durable en los extremos y esquinas

de muros, donde la durabilidad es muy importante y obliga al uso de una mezcla que esté más húmeda de lo necesario para una adecuada compactación del concreto con vibración.

CAPAS.

Algunas especificaciones, también establecen que el concreto sea colocado en capas horizontales, excepto cuando tal procedimiento sea impráctico. Cada capa deberá estar suave cuando una nueva capa sea colocada sobre ella. Este requerimiento puede determinar las profundidades de las capas. Las profundidades usuales de capas para concreto masivo son de 15 a 24 pulgadas y para concreto estructural de 12 a 20 pulgadas. Se deberán tomar precauciones para evitar atrapar aire dentro de espacios parcialmente cerrados que van a ser llenados con concreto.

Las tolvas y canalones de descarga, pueden ser o no requeridos para la colocación de concreto en muros. Si el concreto puede ser colocado directamente desde una bacha de grúa moviéndolo a lo largo de la par

te superior de las cimbras a medida de descarga, además el colado será más rápido. Cualquier método es aceptable si el concreto queda colocado cerca de su posición final, sin una separación inadecuada del agregado grueso.

JUNTA DE CONSTRUCCION.

Cuando se coloque concreto en superficies de juntas de construcción, donde una vibración adecuada es impracticable, el concreto u otros medios efectivos para asegurar la compactación del concreto en la superficie de las juntas. Dicho trabajo manual podrá ser necesario en juntas de muros delgados fuertemente reforzados, particularmente donde la junta está inclinada y en muros.

Cuando las losas y vigas y los muros y columnas de soporte están fundidas monolíticamente, el concreto en la parte superior a una distancia de 60 a 90 cms., de los muros y columnas deberá tener el más bajo revenimiento de tal manera que puede ser vibrado adecuadamente y deberá estar totalmente consolidado en la su-

perficie. Antes de colocar concreto en los filetes superiores, losas y vigas, el concreto deberá dejarse reposar tanto tiempo como sea posible sin permitir que se endurezca demasiado, de tal manera que un vibrador pueda penetrar por su propio peso. Esto será de 1 a 3 horas o más, dependiendo de la temperatura. Durante este tiempo, se deberá tener cuidado de conservar las superficies del concreto limpias y libres de materiales extraños. Tales materiales con frecuencia se desprenden de las cimbras de la losa hacia los muros. Excepto cuando la cantidad es excesiva o está contaminada con suciedad u otros desperdicios, es generalmente permisible ignorar las gotas frescas de concreto, ya que serán absorbidas por el concreto fresco colocado sobre ellas.

Después de colar los filetes, vigas y losas de concreto, el vibrador deberá penetrar y revibrar el concreto en la parte superior de los muros y columnas.

MANUABILIDAD.

El control efectivo de las operaciones de colocación del concreto hace posible el uso de mezclas --

más eficientes. El concreto más eficiente es el que contiene la menor cantidad de agua y cemento compatible con la manuableidad suficiente y la calidad adecuada. La más alta calidad está asociada con la menor relación agua-cemento, pero esto se logrará más bien como un resultado del bajo contenido de agua que como un resultado del alto contenido de cemento. Con el contenido de cemento mantenido en una cantidad normal, la más baja relación agua-cemento, puede obtenerse por el uso de: (1) el más bajo revenimiento razonable, (2) el máximo tamaño posible del agregado grueso, (3) el más bajo porcentaje de arena consistente con buen funcionamiento, entrada de aire en la cantidad adecuada. Una mejora posterior puede obtenerse algunas veces con el uso de humedad y agentes retardadores del fraguado.

Un juicio práctico y razonable de que tan bajo deberá ser el revenimiento, no estará influenciado por criterios como el de la capacidad del concreto de fluir fuera de cierta bacha, por un canalón determinado o a través de la salida de cierta tolva.

Si el revenimiento es suficiente para permitir una buena compactación en las cimbras por medio de una amplia vibración, es responsabilidad del contratis-

proporcionar el equipo de manejo y colocación, para colocar este concreto en las cimbras listo para la acción del vibrador. De hecho, las especificaciones prohíben al contratista usar bachas, canalones, tolvas o cualquier otro equipo que no sirva para manejar y colocar el concreto del más bajo revenimiento fácilmente.

También se requiere que el contratista maneje y coloque el concreto que contiene el agregado del máximo tamaño manejable, dentro del rango del tamaño especificado. Ya que todas las mezclas que contienen demasiada arena son manejables, no se tiene la seguridad de -- que la mezcla no contenga demasiada arena hasta que se han hecho las reducciones sucesivas en el contenido de arena y se ha alcanzado el porcentaje de arena determinado que representa el límite en el cual existe un riesgo definido para la manuabilidad y el trabajo. Con la restauración del 1 ó 2 por ciento de arena para un márgen de manuabilidad, se habrá establecido la mezcla correcta. Debe determinarse en el trabajo si es aconsejable o practicable cambiar el tamaño máximo del agregado o la cantidad de arena para las partes de un colado de concreto que tenga diferentes dimensiones, refuerzos o accesibilidad. Por lo general es factible reducir el revenimiento para las partes más accesibles del trabajo.

Esto es correcto en los colados de los muros y columnas donde el revenimiento deberá reducirse cuando el nivel del concreto aumenta para reducir la ganancia de agua, - la cual debilitaría la parte superior del concreto y lo haría menos resistente.

Deberán emplearse todos los medios disponibles para mejorar la durabilidad de este concreto durante la construcción.

CLIMA.

El ingeniero o supervisor a cargo del colado de concreto, a veces se enfrenta con el problema de decidir si el colado puede continuarse durante la lluvia y si continúa, cuales precauciones son necesarias. Cuando debe tomarse una decisión rápida, el problema puede evitarse mediante un plan adecuado basado en las condiciones de trabajo y los reportes actuales del tiempo. Un suministro razonable de cubierta protectora deberá estar disponible para uso inmediato. Si la lluvia periódica o prolongada es inminente, la escala y el arreglo de las operaciones deberán ser diseñadas para faci-

litar la protección del trabajo. La mayor dificultad - en la colocación del concreto masivo durante la lluvia es al comenzar, ya que la capa delgada de mortero se -- destruye rápidamente por el agua que se acumula sobre - el concreto viejo al igual que por la lluvia. El mejor procedimiento cuando el trabajo debe continuar es secar completamente los charcos en un área relativamente pe-- queña, colocar la capa de mortero y colocar rápidamente el concreto. La superficie del concreto fresco deberá mantenerse sobre una pendiente suficiente para el drenaje de agua de lluvia.

El apisonado del concreto superficial demasiado húmedo al remover los charcos manualmente en superficies planas es definitivamente perjudicial. Debido a - la variedad de las condiciones de trabajo, no puede incluirse en este procedimiento un método adecuado y definitivo para colocar el concreto en tiempo lluvioso. Sin embargo, se puede decir que el trabajo deberá interrumpirse cuando la lluvia es tan severa que no sea factible prevenir que el agua se acumule formando charcos o que lave la superficie del concreto fresco.

Todos los grandes proyectos nucleares deberán tener un control sobre los colados de concreto durante

el mal tiempo. Esto deberá escribirse siguiendo la base del proyecto porque cada sitio tiene diferentes condiciones climatológicas.

Las tormentas de polvo en las regiones semiáridas ocurren de improviso y pueden dañar seriamente la calidad de las superficies acabadas o el concreto no vibrado. Generalmente el concreto puede colocarse en las cimbras de un área expuesta limitada durante una tormenta de polvo sin ningún daño serio, pero la sedimentación del polvo fino sobre el trabajo más expuesto rápidamente adultera el concreto superficial y hace que el acabado sea prácticamente imposible.

Bajo estas condiciones el trabajo deberá interrumpirse inmediatamente.

La colocación de concreto deberá continuarse sin las interrupciones evitables hasta que se termine -- el colado o hasta que puedan hacerse juntas de construcción satisfactoriamente. La rapidez de colocación del concreto no deberá ser mayor que la rapidez a la que -- pueda ser compactada con el equipo vibrador adecuadamente; sin embargo, entre más rápido pueda colocarse sin provocar daño a las cimbras y con amplia vibración, se

obtendrán mejores resultados. Al colar los miembros y las columnas delgadas, la subida del concreto no deberá ser tan rápida que de por resultado el movimiento o el fallo de las cimbras.

C A P I T U L O V I

C O N C L U S I O N E S

Debido a que los recursos hidráulicos cada -- vez son menores para generar electricidad a gran escala y los energéticos extraídos del petróleo son recursos -- no renovables, los cuales pueden ser utilizados en otras necesidades. Creo que el uso e implantación de plantas nucleoelectricas en el país es justificado.

Debemos estar concientes del gran desafío que significa construir una planta nucleoelectrica y de la gran responsabilidad para operar una planta nuclear. Sabemos que una planta nuclear tiene riesgos fuera de -- lo común y que para superar esos riesgos la calidad de la construcción debe ser fuera de lo común. Concientizar y dar seguridad a la opinión pública de que las --

plantas nucleoelectricas funcionan y son construidas bajo un altisimo control de calidad, garantizando al minimo un posible accidente.

Debido a que no es conveniente depender de un solo pais para la compra de reactores nucleares, Mexico debera estar preparado para comprar los reactores que ofrezcan mejor seguridad y economia.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Encyclopedia Of Energy
Mc Graw-Hill
Second Edition
1977

- 2.- Los Reactores Nucleares y la Producción
de Electricidad
Enrique García y García.
C.F.E.

- 3.- Revista Scientific American
Volumen 244 Número 6
Junio 1981

- 4.- Safety series No. 50-SG-S1
Earthquakes and Associated
Topic in Relation to Nuclear
Power Plant Siting