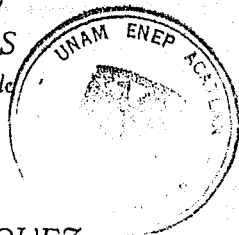
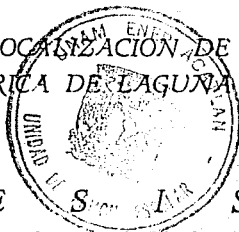


13  
2ej



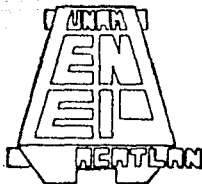
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO  
Escuela Nacional de Estudios  
Profesionales  
ACATLAN

"PLANEACION Y LOCALIZACION DE LA PLANTA  
NUCLEOELECTRICA DE LAGUNA VERDE"



T E S I S  
Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
presenta

RICARDO LANGLE VAZQUEZ



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Acatlán, Estado de México

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

## ESQUEMA DE TESIS

### INTRODUCCION

#### CAPITULO 1.- ANTECEDENTES.

- 1.1 - INDUSTRIA ELECTRICA EN MEXICO
- 1.2 - FUENTES PRIMARIAS DE ENERGIA EN MEXICO
- 1.3 - FUENTES SECUNDARIAS DE ENERGIA EN MEXICO
- 1.4 - FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA EN MEXICO
- 1.5 - DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA
  - 1.5.1 - DESARROLLO DEL ESTUDIO DE DEMANDA ELECTRICA
  - 1.5.2 - SATISFACCION DE LA DEMANDA
- 1.6 - ANEXO 1

#### CAPITULO 2.- CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

- 2.1 - CENTRALES NUCLEOELECTRICAS
  - 2.1.1 - PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS CENTRALES NUCLEOELECTRICAS
- 2.2 - RELACION BENEFICIO-COSTO
  - 2.2.1 - COSTOS
  - 2.2.2 - RELACION BENEFICIO-COSTO DIRECTO

- 2.2.3 - RELACION BENEFICIO-COSTO SIN SUBSIDIO
- 2.2.4 - ESTUDIO DE BENEFICIOS Y COSTOS  
INDIRECTOS
- 2.2.5 - CENTRALES NUCLEARES Y SU IMPACTO  
REGIONAL
- 2.2.6 - REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA  
ECONOMICA PARA CONSTRUIR CENTRALES  
NUCLEARES
- 2.2.7 - POSIBLES IMPACTOS SOBRE LA ZONA
- 2.2.8 - RESULTADOS ESTADISTICOS
- 2.2.9 - ANEXO 2

### CAPITULO 3.- LOCALIZACION DEL SITIO

- 3.1 - ESTUDIOS TECNICOS
- 3.2 - CRITERIOS EN LA ESTRUCTURA GENERAL
- 3.3 - PROCESO DE LOCALIZACION
  - 3.3.1 - ETAPA 1. SITIOS PRELIMINARES
  - 3.3.2 - ETAPA 2. SITIOS TENTATIVOS
  - 3.3.3 - ETAPA 3. SITIOS CANDIDATOS
  - 3.3.4 - ETAPA 4. SITIOS DEFINITIVOS

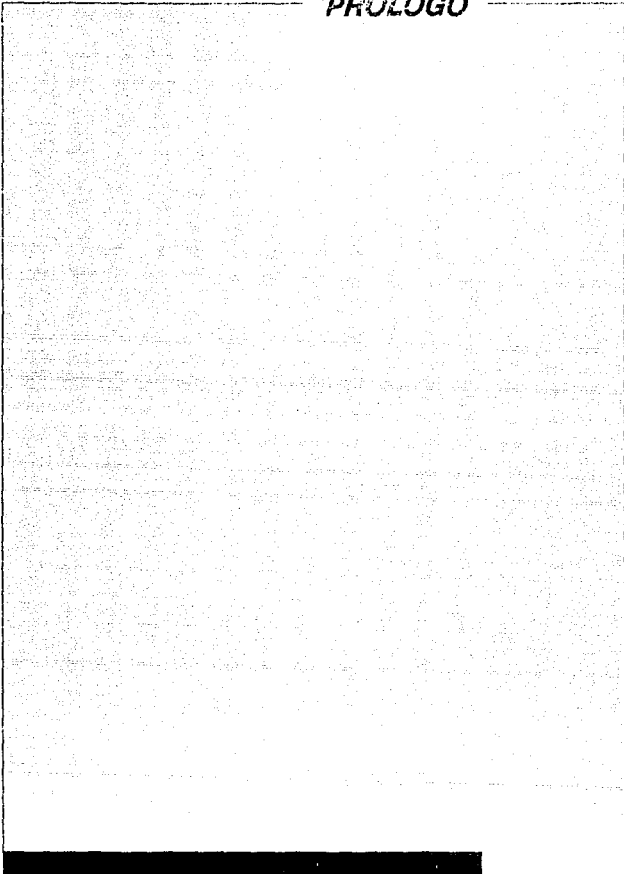
3.4 - SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PRIMERA  
CENTRAL NUCLEAR EN MEXICO

3.5 - PRIMERA CENTRAL NUCLEAR EN MEXICO

3.6 - ANEXO 3

## CONCLUSIONES

## **PROLOGO**



## PROLOGO

La Planeación surge como un proceso de Proyecciones a futuro, basandose en suposiciones racionales, de tal manera que exista la posibilidad de hacer una comparación entre el futuro supuesto y la realidad, de aquí, que toda obra de infraestructura pública o privada debe estar sujeta a un proceso de Planeación, para poder determinar tanto políticas de selección de la obra de ingeniería por realizar, como su construcción y su operación, y llegar a una optimización del proyecto a realizar.

En el país es difícil encontrar que una sola dependencia de gobierno se dedique a realizar todo el proceso de planeación necesario para desarrollar proyectos de gran envergadura como lo es una central nuclear, ya que los estudios que intervienen en este son tan variados y de orígenes muy diversos; razón por la cual el análisis se vuelve multidisciplinario.

El método o proceso de planeación mostrado en esta tesis, al igual que toda metodología de planeación se basa en suposiciones fundamentadas de tal modo que den seguridad de una determinada posibilidad de ocurrencia, la cual al ser revisada determine o no la presencia de errores. Para el caso en el que se encuentren errores, se tiene la posibilidad de corrección, de tal forma que una vez corrigiendo los errores

existentes, el método propuesto tienda a apeгarse más a la realidad y de esta forma el proceso se retroalimenta para que el método vuelva a ser revisado y corregido en el caso de ser necesario.

En el país no debería ser válido el aceptar un determinado proyecto bajo el denominativo de Infraestructura Básica, el cual trae consigo posiblemente un bajo proceso de planeación detrás de él, de tal forma que no muestra un beneficio real.

La mayoría de las veces un proyecto de inversión con carácter público arrastra un importante beneficio indirecto, que al ser estudiado y valuado hace crecer importantemente la bondad de las obras, dando lugar a una mejor revisión de proyectos de inversión y por consecuencia a una más acertada toma de decisiones.

Este proceso de Planeación requiere de la necesaria suposición de los efectos socio-económicos que la obra de ingeniería o proyecto por realizar ocasiona en su región, estado, país o países según su alcance.

Estas suposiciones acerca de lo que acontecerá en el futuro como consecuencia de la ejecución y operación de la obra o proyecto en cuestión, implica la aplicación de técnicas racionales, apoyadas cuando es posible en estadísticas o experiencias de hechos similares; es por esto que la planeación



es una mezcla de ciencia con arte; el arte o don de visualizar el futuro.

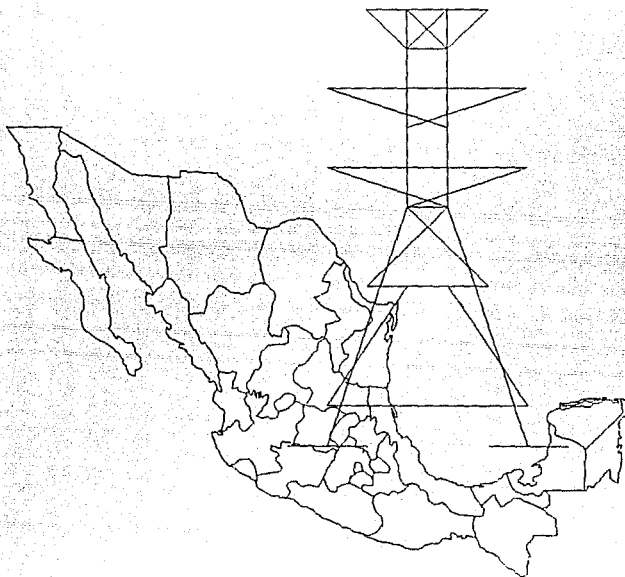
En cuanto al estudio realizado para este trabajo encontramos que el Proceso de Planeación responde en su primera etapa a las preguntas ¿ QUE, COMO y CUANDO ?, ésto es, Que necesitamos, que es lo que tenemos, como podemos satisfacer la necesidad y por último, cuando se satisfecerá la necesidad.

El estudio de Beneficio-Costo que se realiza mediante las valuaciones de los beneficios directos e indirectos, responde a la pregunta crucial de cual necesidad satisfacer con prioridad; este aspecto es fundamental para garantizar una correcta aplicación de los escasos recursos ante el número ilimitado de necesidades existentes.

Mientras que la pregunta restante, ¿donde?, se responde en el último capítulo de esta tesis, en el cual se muestra el proceso de Planeación en cuanto a selección de sitio se refiere.

CAPITULO 1

**ANTECEDENTES**



## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES.

Así como en economía se mide el desarrollo económico de un país, a partir de lo que sus habitantes producen, así nosotros podemos afirmar que el desarrollo económico de un país esta ligado, sin duda alguna, a su potencialidad energética.

Es fácil entender que el consumo de energía eléctrica por habitante representa fehacientemente, el bienestar de un pueblo. Lo anterior nos conduce a deducir que una de las diferencias mayúsculas que presentan los países subdesarrollados con los desarrollados es la de su producción de energía.

Desde que el hombre aprendió a dominar el fuego y a utilizarlo en su beneficio, la humanidad ha tenido que librar una lucha constante con objeto de proporcionarse energía, sirviéndose de los elementos naturales a su alcance, de acuerdo con su etapa histórica, primero sirviéndose de la fuerza del músculo del hombre y de los animales, después de la fuerza del agua, viento , madera, carbón, petróleo, vapor proveniente del subsuelo, materiales radioactivos y del calor solar.

El consumo masivo de combustibles fósiles, carbón, petróleo, gas, su uso inmoderado y el hecho de estar constituidos con material no renovable ha tendido a acelerar su extinción.

Este consumo a gran escala, se inició a partir de los grandes descubrimientos como la máquina de vapor, la electricidad y los motores de combustión interna. Con ello el hombre se independizó de sus semejantes así como de las fuerzas naturales que le proporcionaron energía hasta entonces.

Ante las grandes necesidades actuales, debidas sobre todo al desmesurado crecimiento de la población, el hombre de nuestro tiempo ha tenido la enorme responsabilidad de continuar en la búsqueda de nuevas fuentes de energía para poder sobrevivir.

#### **INDUSTRIA ELECTRICA EN MEXICO**

La era de la electricidad empezó en México poco tiempo después de su iniciación en Estados Unidos y en Europa occidental. Hacia fines de la penúltima década del siglo XIX, apenas diez años después, más o menos, de la introducción generalizada de la energía eléctrica en las regiones más avanzadas del mundo, México podía también vanagloriarse de haber entrado en la era de la electricidad, pues varias pequeñas plantas generadoras, propiedad de mexicanos, proporcionaban energía a empresas mineras y manufactureras e iluminaban unas

cuantas zonas urbanas importantes. Pero no fué sino hasta la primera década del siglo XX cuando se tornó realmente impresionante el avance de la nueva industria.

La capacidad instalada en 1900, para toda clase de servicios, se ha estimado alrededor de 20 mil kilovatios. Así empezó la industria eléctrica, en escala muy modesta, con recursos del país en su mayor parte. Esta característica tendió a desaparecer al comenzar sus trabajos dos grupos de empresas, de capital extranjero, la Mexicana de Luz y Fuerza y la Impulsora de Empresas Eléctricas.

Entre 1902 y 1906, cinco grandes compañías británicas, canadienses y norteamericanas entraron en la industria mexicana de generación de energía eléctrica y, durante los siguientes cuarenta años, esas mismas compañías constituirían la columna vertebral de esta industria. Entre 1905 y 1911 tales empresas construyeron cuatro principales sistemas de generación en diferentes partes de la república. Ya para este entonces las pequeñas plantas generadoras habían sido adquiridas, absorbidas y modernizadas por las grandes compañías extranjeras.

La capacidad instalada pasó de 120 mil kilovatios en 1920, a unos 350 mil kilovatios en 1926, y a 510 mil kilovatios en 1930. Para este último año, los ingleses como los canadienses poseían

el 80 % de la capacidad total disponible en el país.

Durante casi todo este período de crecimiento, hasta 1926, no existió reglamentación específica y de regulación alguna de la industria eléctrica, hubo construcción de plantas eléctricas, pero no una política para electrificar el país. Esto se tradujo en defectos que, influidos posteriormente por factores ajenos a la industria, se perpetuaron y aún se acentuaron, hasta bien entrada la quinta década, esto debido a que se expidió la Ley de la Industria Eléctrica en 1933. En el período comprendido entre 1937 - 1943 la capacidad instalada no creció ni el 1 por ciento, la inversión que se realizó fué prácticamente sólo en trabajos de mantenimiento indispensables.

Para 1960 la industria de energía eléctrica pasó a ser una actividad pública del más completo carácter nacional. El estado adquirió los bienes de los dos grupos de empresas privadas que operaban en el país; pasaron así a poder de la nación 954 mil kilovatios de capacidad y un porcentaje elevado de los sistemas de distribución existentes. En 1963 la Comisión Federal de Electricidad, publica en su boletín de Diciembre, que cuenta ya con 2 167 143 kilovatios, lo que representa más de 120 % de incremento en casi cuatro años.

La generación de energía eléctrica en nuestro país se ha basado principalmente en la utilización de hidrocarburos, habiendo otros recursos que no han sido explotados en la medida en que su generosa condición geológica hace esperar, y se espera que dure ésta situación por lo menos hasta finales de este siglo. Hay en marcha, en función de eso, un programa de producción que permite no sólo satisfacer la demanda de energía, sino contribuir, además, al fortalecimiento económico de México a través de un ambicioso plan de explotación de derivados del petróleo. Simultáneamente, se trabaja en el desarrollo de otras

- (1) Tabla tomada del "Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1987".

fuentes disponibles, tales como la hidroelectricidad, el carbón, la geotermia y el uranio.

Vale aclarar que si los hidrocarburos son los recursos no renovables que más han sido explotados en México, aún así las estimaciones que se han hecho, relacionadas con el potencial total existente, hacen ver que este oscila entre 5 y más de 10 veces sobre las reservas medidas, calculadas en 11,000 millones de barriles de petróleo crudo.

Por lo que se refiere al carbón, la magnitud de las reservas medidas es de mil millones de toneladas. Según algunos expertos, el potencial carbonifero del país no es superior a tres veces esta cantidad; sin embargo hay quienes estiman que este potencial puede ser superior a catorce mil millones de toneladas. Lo notable en este caso, es que, la relación entre la producción anual actual, contra lo medido actualmente como reservas es superior a 120 veces (tomando estas reservas en sus cálculos más pesimistas), en tanto que en el caso de los hidrocarburos, ésta relación a reservas de producción se sitúa en 30 aproximadamente, ( misma relación anterior ).

Respecto a la geotermia, que de acuerdo con la tecnología actual debe ser clasificada más bien como recurso no renovable, el rango de las estimaciones va de mil a diez mil megawatts, aprovechables durante 30 años.



Las reservas medidas de combustible nuclear se han reportado en una cantidad aproximada de ocho mil toneladas de óxido de uranio. En este caso, varios peritos han calculado que el potencial uranífero del país puede ser desde dos o tres veces esta cifra, hasta más de cien veces el monto de las reservas medidas.

Con todas las salvedades del caso, lo que resulta evidente es que las incertidumbres que se presentan en cuanto al potencial existente de los distintos energéticos están en función de los niveles en que varían las estimaciones: 1 a 2 en el caso de hidrocarburos; 1 a 5 en el caso del carbón; 1 a 10 en el caso de la energía geotérmica y 1 a 33 en el caso del uranio.

MEDIOS DE GENERACION	RESERVAS MEDIDAS	PREDICCIONES EXPERTOS	
		CFE	
hidrocarburos	11 mil millones de barriles	5 - 10 veces	1 - 2
carbón	mil millones de toneladas	3 veces	1 - 5
geotermia	mil megawatts	1 - 10 veces	1 - 10
uranio	8 mil toneladas	2 - 140 veces	1 - 33

## **LAS FUENTES PRIMARIAS DE ENERGIA EN MEXICO.**

Es fácil entender que el hecho de requerir suficiente energía eléctrica ya representa un serio problema económico para cualquier país y el nuestro no puede sustraerse a esa dificultad, lo anterior nos obliga a plantear programas de desarrollo basados en la utilización racional de los recursos energéticos con que contamos, tarea nada fácil si consideramos los problemas político-económicos por los que atravesamos.

Nuestro país cuenta, afortunadamente, con recursos geotérmicos, carboníferos e hidroeléctricos, capaces de cubrir una parte de la demanda de energía, combinados dichos recursos con los que proporcionan los hidrocarburos podemos afirmar que todavía alcanzamos a cubrir nuestras necesidades en la década de los ochentas. El panorama se presenta desalentador si miramos hacia el futuro.

### **Energía Geotérmica.**

Nuestro país ofrece posibilidades de aprovechamiento del vapor natural del subsuelo lo que hace factible predecir una generación de energía eléctrica de 8.4 TWH año de 1991.

El aprovechamiento de éste recurso significará ahorrar para finales del año 1991, alrededor de 16 millones de barriles brutos de petróleo crudo, por año. Actualmente, en 1989 se cuenta con una capacidad instalada de 650 MW por medios geotérmicos.

Los recursos geotérmicos se encuentran en varias formas en la naturaleza; las principales son los yacimientos de vapor dominante, los yacimientos de agua caliente, los geopresurizados y las formaciones compuestas por roca seca muy caliente.

Los mantos geotérmicos de nuestro país se pueden localizar, especialmente, en la península de Baja California, en la Sierra Madre Occidental, en el Eje Neovolcánico y en el Macizo de Chiapas.

Para alcanzar la meta prevista para el año de 1991 será necesario cuadruplicar, desde ahora, las inversiones económicas aplicadas a estudios y perforaciones simultáneamente en varias zonas del país, proyecto muy ambicioso, esto es, el realizar exploraciones y estudios para concluir los proyectos de los Húmeros y la Primavera entre otros, con los cuales se tendrá una capacidad programada de 545 MW.

(El proyecto La Primavera fué Cancelado por SEDUE en 1990)

Energía del Carbón.

De acuerdo con los datos existentes que parten de

exploraciones realizadas por la C.F.E., se prevé que para el año 2000 se pueden generar, utilizando el carbón mineral, cerca de 40 TWH.<sup>(1)</sup>

México cuenta con yacimientos de importancia en el estado de Coahuila y con reservas menos importantes en los estados de Sonora y Oaxaca, aún sin evaluar la totalidad de los mantos existentes puesto que equivale a realizar cuantiosas inversiones económicas, tanto para detectar como para cuantificar el material energético. Aunado lo anterior a los altos costos de explotación nos vemos impedidos en acudir a su utilización en gran escala, por ello, para el año de 1991 únicamente se tiene previsto producir 18 TWH ahorrandonos con ello cerca de 35 millones de barriles brutos de petróleo crudo anualmente.

En 1985 se conto, apenas, con una capacidad efectiva de 1200 MW, que produjo, al finalizar dicho año, 8.4 TWH.

#### Energía Hidroeléctrica.

De acuerdo con el inventario de recursos de CFE se desprende que el potencial hidroeléctrico con que cuenta nuestro país es tal que se pueden extraer cerca de 160 TWH, sabiendo que en el año de 1985 apenas tuvimos una capacidad efectiva de 7656 MW, es

fácil calcular, considerando que aprovechamos dicho potencial en toda su capacidad, que obtendríamos cerca de tres veces lo que actualmente extraemos.

Hay factores que justifican la construcción de centrales hidroeléctricas, principalmente que no agotamos nuestras reservas de materiales energéticos como son los hidrocarburos, contamos con la tecnología adecuada sin tener que depender del extranjero y tenemos importantes caídas de agua; a últimas fechas se ha considerado un factor negativo que ha tomado mucha fuerza, éste es el del impacto ecológico que tiene la construcción de una presa, ya que se ven inundadas grandes superficies, con lo que se ve afectada la flora como la fauna, entre otros.

No obstante, también existen factores desfavorables que frenan la realización inmediata de los proyectos, un proyecto hidroeléctrico exige tiempo para concretarlo; es básico y necesario contar con la información estadística completa que nos permita predecir con la mayor exactitud el comportamiento hidrológico de la cuenca, son necesarios, también, estudios complejos de geología, mecánica de suelos, sismología, etc., que reclaman tiempo y recursos económicos considerables.

El Programa de Obras de Inversión del Sector Eléctrico (POISE), prevé una capacidad efectiva para 1991 de 11,417 MW, lo

que equivale a una generación de 80 TWH con un ahorro de barriles brutos de petróleo crudo de 153 millones anuales. La meta de 1985 fué producir 54 TWH, la cual fué superada.

#### FUENTES SECUNDARIAS DE ENERGIA EN MEXICO.

Los hidrocarburos, también considerados como fuentes convencionales de energía, junto con los combustibles nucleares, denominados entre las fuentes no convencionales, vienen a constituir el grupo de fuentes secundarias de energía, de acuerdo con la clasificación que hace la Comisión Federal de Electricidad.

#### LOS HIDROCARBUROS.

En nuestro país se utilizan dos tipos de combustibles, el combustóleo y el gas natural. El primero es un residuo de la destilación del petróleo, el segundo proviene de los campos productores de gas seco ubicados en el noreste del país, así como del que se encuentra asociado en la extracción del petróleo

crudo y se obtiene de todas las zonas en donde existe éste.

Con objeto de preveer la variación en el suministro de combustible, una cantidad considerable de centrales termoeléctricas de nuestro país funciona indistintamente con combustóleo o gas natural , a éste tipo de centrales se les denomina de CICLO COMBINADO. En el año, de 1986, se contó con una capacidad efectiva de 13758 MW, cantidad que para 1991 deberá incrementarse a 21915, representando un crecimiento, en tan solo 6 años, de 8,000 MW, previendo que para el año 2000 los hidrocarburos proporcionen el 50 % del total generado con otros medios energéticos, incluyendo los nucleares.

Los hidrocarburos, que proceden de reservas limitadas, cuyos costos de exploración y explotación van en constante aumento, son de hecho insuficientes y, por ende, están creando todo tipo de disputas y conflagraciones entre las naciones que las poseen y las que no los tienen. Actualmente nuestro país depende, casi exclusivamente, del petróleo y del gas para la satisfacción de las necesidades internas de energía.

Con la actual estructura político-social que padecemos a nivel mundial, así como con los problemas económicos graves que nuestro país tiene, corremos el riesgo de que el suministro de combustible se vea afectado en forma mayúscula y modifique

desfavorablemente el desarrollo nacional en los próximos años, no obstante el alarde que ahora hacemos de tener grandes reservas probadas y potenciales de petróleo, distribuidas a lo largo y ancho de nuestro subsuelo.

#### ENERGIA NUCLEAR

En esta alternativa figura como energético el URANIO, material que no tiene, aún, otras aplicaciones adicionales al de combustible para centrales nucleoelectricas.

La energía es obtenida a partir del proceso de fisión del núcleo de uranio; en México no se ha profundizado lo suficiente la exploración de este recurso energético, pero se han comprobado existencias considerables como para ser utilizadas en nuestras plantas nucleares.

En nuestro país se estiman reservas probadas de más de tres mil toneladas de óxido de uranio. De las características geológicas de nuestro sub-suelo se supone la existencia de yacimientos adicionales de éste material en sitios que aun no han sido debidamente explorados. Es importante, sin embargo, observar lo siguiente: un proyecto nucleoelectrico requiere personal de alta especialización técnica, la cual no la tiene



nuestro país y ha sido necesario importar la tecnología de las plantas nucleares a un costo muy alto.

El volumen de materiales, equipo y mano de obra que necesita cada proyecto beneficia a innumerables prestadores de servicios, estructuras, sistemas y componentes nacionales, proporcionando a la vez la posibilidad de introducirnos a una tecnología más avanzada lo que coadyuva al desarrollo tecnológico de nuestro país. En este renglón es bueno resaltar que, gracias a la aplicación de la Garantía de Calidad,<sup>(2)</sup> en los suministros nucleares, algunas industrias han tenido que cambiar sus políticas de producción para adaptarse a las exigencias de Garantía de Calidad, lo que ha provocado una mejor calidad en los productos de dichas empresas y en la especialización de sus técnicos. No obstante, la aplicación de programas de garantía de calidad es muy costosa.

<sup>(3)</sup>  
La obtención de licenciamiento para la aplicación de sistemas, estructuras y componentes en la planta nuclear es fundamental y colabora tanto a proporcionar seguridad como aplicar procedimientos y métodos anteriormente no aplicados o desconocidos, lo cual redundará en una mejor administración técnica en el ámbito industrial.

Es conveniente hacer notar que los requerimientos de

(2), (3). ANEXO 1.

suministro en equipos, materiales y mano de obra nuclear, indispensables para cubrir nuestras necesidades en ésta y en las próximas décadas exigen que la industria nacional se prepare anticipadamente y con suficiencia.

De aquí la urgencia de estudiar todas las implicaciones de un programa nucleoelectrico en previsión de que la conclusión sea la de seguir con la construcción de más plantas nucleares cuanto antes, de preparar un grupo que se pueda encargar de redactar especificaciones, de evaluar ofertas y de realizar la ingeniería preliminar y definitiva.

En la forma sencilla, una de las predicciones de la demanda eléctrica en el año 2000, y no las más elevadas, es de 560 TWH. De ésta cantidad se estima que las plantas hidroeléctricas podrán generar 80 TWH, las carboeléctricas 40 TWH y las geotérmicas 20 TWH. Faltan 420 TWH que únicamente podrían generarse con plantas termoeléctricas quemando hidrocarburos para producir 280 TWH y el resto con plantas nucleares. Lo anterior representa para las plantas nucleares el tener que proporcionar el equivalente al 25% de la demanda total supuesta lo que corresponde a tener una potencia nuclear elevada pero no imposible de alcanzar. Si resultara factible instalar centrales nucleares convendría hacerlo para almacenar o vender los hidrocarburos ahorrados. Si

resultará difícil alcanzar esta cifra, la generación eléctrica a partir de la energía nuclear, se tendría que quemar más cantidad de lo previsto, de hidrocarburos, o importar carbón a muy alto costo.

De cualquier modo, la predicción de la demanda eléctrica total no es crucial en este estudio ya que podría ser sustancialmente menor de acuerdo con las características que presente el desarrollo económico de nuestro país; así, la generación de electricidad a partir de la energía nuclear resultaría menos excesiva desde el punto de vista de la operación del sistema nacional.

En el caso de la energía nuclear no es conveniente ignorar el margen político internacional que afecta al comercio y a la transferencia de tecnología. De hecho la decisión que se tome sobre la continuación de un programa nuclear y la tecnología adoptable en dicho programa puede depender en gran parte, de la confianza y de las facilidades que se obtengan para el suministro de materiales, equipos, componentes, servicios y transferencia de tecnología.

## FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA EN MEXICO.

La Energía Marina, a partir de la que contienen las mareas, presenta otra posibilidad, a largo plazo, de ser tomada en cuenta. Los problemas que presenta disponer de este tipo de energía son, entre otros, que solo en determinados sitios del mundo es posible contar con mareas vivas de la magnitud requerida para mover los generadores, sin olvidar los transtornos ecológicos y físicos ocasionados, etc.

La Energía Solar, que para nuestras limitaciones terrenales constituye una fuente inagotable de energía, esta siendo materia de estudio para su aplicación comercial, pues en la actualidad se supone que únicamente vendria a representar una aportación a la capacidad total de producción de energía eléctrica de apenas, un 2% en cualquier país avanzado, debido al bajo rendimiento de conversión y a la baja intensidad de radiación solar en puntos estratégicos; además que se requieren grandes superficies para convertir la energía y el calor solar, por otra parte que solo se puede captar en una fracción del día. Aunado a lo anterior, se desconocen los efectos sobre el medio ambiente al privarlo de la

energía solar.

La energía eólica, es aquella que trata de la extracción de energía del viento a través de sistemas aerodinámicos conversores, conocidos como sistemas conversores de energía eólica (SCEE), que transforman la energía cinética del aire en energía mecánica de rotación. Para la obtención de energía de éste tipo existen dos problemas importantes que son la irregularidad e intermitencia del viento. Existen perspectivas de desarrollo en el aprovechamiento de la energía eólica como fuente de energía suplementaria a un sistema eléctrico centralizado, por otra parte encontramos que no se necesita de un desarrollo de nuevas tecnologías, pero si de una reducción de costos a través de ingeniería y producción masiva. Los países en que se hacen mayores investigaciones son Inglaterra y los Estados Unidos, más sin pasar desapercibidas algunas investigaciones que se han realizado en nuestro país en los últimos 25 años, las cuales no obedecen a ningún programa de desarrollo coherente.

De acuerdo con todo lo anterior las centrales eléctricas se podrían agrupar bajo la siguiente clasificación:

## CLASIFICACION CENTRALES ELECTRICAS

TERMICAS

TERMoeLECTRICAS (GAS, PETROLEO, CARBON)

NUCLEARES (FISION O FUSION)

GEOTERMICAS

COMBUSTION INTERNA (TURBINA DE GAS O MOTOR)

SOLARES

NO TERMICAS

HIDROELECTRICAS

EOLICAS

EULEANAS (MAREAS)

REBOMBEO



## DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA.

El objetivo primordial para desarrollar los sistemas eléctricos es proporcionar suficiente capacidad que satisfaga la demanda de energía eléctrica. Además, en vista de que el tiempo necesario para planear y construir plantas generadoras llega a ser, en algunos casos, hasta de 10 años, se requiere determinar con anticipación el equipo y las instalaciones necesarias, utilizando un pronóstico del consumo de energía eléctrica que abarque al menos un período del orden de veinte años, que se considera de largo plazo.

Se ha estado empleando para efectuar el pronóstico de la demanda a largo plazo, una curva que correlaciona los factores de desarrollo económico, el crecimiento demográfico y el consumo de energía eléctrica.

Ahora se considera la probabilidad de ocurrencia de los factores mencionados, lo que conduce a determinar el pronóstico de consumo de energía eléctrica con bandas de confianza que indican tanto el límite mínimo como el máximo.

Los resultados que se obtuvieron de estos estudios se utilizaran para determinar la política de expansión de los medios de generación, la localización geográfica de las plantas

\* Toda la información considerada en el estudio de Demanda fué obtenida del PESE 2000. (Plan de Expansión del Sector Eléctrico)



al Año 2000).

generadoras y la correspondiente red de transmisión, dentro del cual se involucra la generación de energía eléctrica apartir de la energía nuclear.

El desarrollo de estos estudios se llevo a cabo por medio de tres diferentes métodos, los cuales se someten a un análisis de sensibilidad de acuerdo a los parámetros que se utilizan en cada uno de ellos, para que finalmente se comparen los resultados de los mismos; estos tres métodos son:

Método 1.- Este método consiste en aprovechar la correlación que existe a nivel mundial entre el Producto Nacional Bruto por habitante y el consumo de energía eléctrica por habitante, de donde se obtienen curvas que marcan la tendencia de crecimiento que tienen los diferentes países. A través de los datos históricos del periodo 1962 - 1976 se determinó la curva recomendada para México. Siguiendo las hipótesis de crecimiento de la población y del PNB, para el periodo 1977 - 2000, se puede obtener para cada año un valor de PNB/habitante y así determinar el correspondiente valor de KWH/habitante, el cual multiplicado por la población del año correspondiente proporciona el pronóstico de consumo de energía eléctrica.

Método 2.- El ajuste de los datos históricos de PNB/habitante y

KWH/habitante a la curva que mejor los representa no es perfecto, es decir, existe una determinada dispersión de los datos aunque se encuentran próximos a la curva, y para determinar a un nivel de confianza los límites de ocurrencia de esta curva se toma en cuenta dicha dispersión. El crecimiento futuro de la población y el desarrollo económico del país se pueden representar asignando probabilidades de ocurrencia a las hipótesis de crecimiento de población y de Producto Nacional Bruto.

Este método combina la dispersión de los datos históricos respecto a la curva ajustada con las probabilidades de población y Producto Nacional Bruto.

Metodo 3.- El método involucra la forma en que el crecimiento económico afecta a la demanda de energía eléctrica; es decir, se ha comprobado la existencia de una elasticidad que indica el comportamiento del consumo de energía que se espera como respuesta a cambios en el Producto Interno Bruto. Este método requiere el pronóstico del PIB al futuro, y para el pronóstico de consumo de energía eléctrica de cada año se necesita el consumo de energía del año anterior.

## HIPOTESIS GENERALES.

---

Número de alternativa	HIPOTESIS DE CRECIMIENTO	
	población	PNB - PIB
1	2.6%	4.5%
2	3.1%	5.5%
3	3.5%	6.5%

---

En cuanto a los porcentajes de crecimiento de población que se consideraron para este estudio, podemos comentar que la primera alternativa representa una tasa de crecimiento que se reduce paulativamente a la tasa de crecimiento que se observo en los años anteriores que fué de 3.1% anual, que es la que representa la segunda alternativa, mientras que la tercera corresponde a la tasa de crecimiento actual.

En lo que corresponde al crecimiento del PNB y PIB, los porcentajes que se mencionan se consideraron constantes.

## DESARROLLO DEL ESTUDIO DE DEMANDA ELECTRICA.

### METODO 1.

Con este método se generó una alternativa cuando se consideró una hipótesis de crecimiento de población y una hipótesis de crecimiento de PNB; por consiguiente se obtuvieron nueve alternativas, ( 3 hipótesis de población y 3 de PNB ).

Como observaciones a este método podemos mencionar que, para crecimientos altos de población con un desarrollo económico fijo se alcanzan menores valores de PNB por habitante y KWH por habitante. Por el contrario para un alto desarrollo económico con un crecimiento demográfico fijo se logran valores más grandes de PNB por habitante y KWH por habitante; de aquí se deduce que existe una relación directa entre el PNB y el consumo de energía.

Por otra parte se observó que el método es sensible a la tasa de crecimiento de la población, pero lo es aún más para la tasa de crecimiento de PNB.

De las nueve alternativas que se obtuvieron al desarrollar el método, se escogió la alternativa No. 7, el procedimiento de elección se mencionará más adelante.

## METODO 2.

En este Método al igual que en anterior se basó en la curva recomendada para México, (Curva de Aoki).

Practicamente este método es una afinación metodológica del Método 1. Conjuga las 3 hipótesis de PNB, y las 3 hipótesis de población. Se plantearon 2 alternativas basadas en la curva de H. Aoki encontrada para México, ajustando la primera con datos históricos de 1962 a 1976, y la segunda de 1967 a 1976. De aquí que únicamente se tomará en cuenta la primera ya que representa un período más largo y por consiguiente con más datos.

La alternativa que se considera se obtiene ajustando por mínimos cuadrados los valores de los años históricos de 1962 a 1976. Se asignaron las probabilidades de ocurrencia en las tres hipótesis de población y de PNB como se indica enseguida:

Hipótesis	Tasa de crecimiento población	PNB	Probabilidad (%)
1	2.5	4.5	30
2	3.1	5.5	50
3	3.5	6.5	20

La metodología que se siguió fue la que para cada año se utilizaran los nueve conjuntos de población-PNB con su probabilidad asignada, es decir, de la alternativa considerada se obtuvieron 3 demandas para cada año proyectado, esto es, un pronóstico bajo o banda inferior, un pronóstico alto o banda superior y un promedio de estos dos o pronóstico puntual.

### METODO 3.

Se consideraron tres alternativas de crecimiento de PIB, 4.5%, 5.5% y 6.5%, de aquí que se obtengan 3 alternativas teniéndose como resultados significativos los de las 2 últimas alternativas ya que la primera es demasiado baja, por lo cual queda descartada. En el estudio que se hizo en la CFE se tomó como significativa la alternativa 2, esto por ser la de valor intermedio, pero que si la comparamos contra las alternativas de los métodos anteriores, esta sigue siendo baja, mientras que la alternativa 3 se acerca más a los valores obtenidos anteriormente; para nuestro estudio utilizaremos la alternativa 3, basados aún en que el PIB ha crecido más de lo que se proyecta.

Este método no es tan sensible a las tasas de crecimiento

del PIB por lo que para un mayor desarrollo económico se obtiene un consumo de energía ligeramente mayor.

RESULTADOS DE LAS ALTERNATIVAS DE CADA METODO.

RESULTADOS METODO 1. DEMANDA ELECTRICA EN GWH						
ALTERNATIVA	AÑO				TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (%)	
	1985	1990	1995	2000		
1	68893	89555	116273	150779	4.93	
2	71043	93785	123511	162273	5.32	
3	70456	95335	128367	173826	5.55	
4	80857	114310	160827	225187	6.70	
5	83248	119255	169648	239663	6.97	
6	82597	121058	175499	253884	7.23	
* 7	94396	144237	218043	326099	8.35	
8	97038	149911	228414	343247	8.59	
9	96318	151971	235207	359625	8.80	

\* Alternativa escogida.

Podría pensarse en considerar la alternativa 9, la de mayor demanda, pero por cuestiones de comparación entre los Métodos 1 y 2, al afectar los resultados del primer Método por un factor de ocurrencia, se encuentra la similitud de la alternativa 7 con la de la alternativa 1 del Método 2.

---

RESUSLTADOS METODO 2. ALTERNATIVA 1. DEMANDA ELECTRICA EN GWH

---

AÑO	LIMITE BANDA INFERIOR	PRONOSTICO PUNTUAL (GWH)	LIMITE BANDA SUPERIOR
1977	44140	46174	48318
1980	52382	57797	63438
1985	68952	84261	100273
1990	90837	122899	156889
1995	119145	178033	241472
2000	155752	256618	366073

---

En este Método, ésta fué la única alternativa que se consideró en el estudio, por razones de confiabilidad para los fines que perseguimos en este estudio, y por los fenómenos que se han presentado en éstos últimos años (1982 - 1986), consideraremos la banda superior.



---

RESULTADOS METODO 3. ALTERNATIVA 3. DEMANDA ELECTRICA EN GWH

---

TASA DE CRECIMIENTO DE PIB 6.5%

AÑO	PIB	GWH
1977	424.472	51705
1980	512.740	66206
1985	702.499	98372
1990	962.484	143456
1995	1316.69	205610
2000	1806.72	290013

---

COMPARACION DE ALTERNATIVAS.

Comparación de los Métodos 1 y 2.

Para los resultados del año 2000, si se multiplica el consumo de energía de una alternativa por su correspondiente probabilidad, se obtiene el valor esperado de esa alternativa y sumando los valores esperados de las nueve alternativas se obtiene el valor esperado total.

---

ALTERNATIVA	PROBABILIDAD DE ALTERNATIVA %	ENERGIA AÑO 2000 GWH	VALOR ESPERADO GWH
1	6	150779	9046.74
2	15	162273	24340.95
3	9	173826	15644.34
4	10	225187	22518.70
5	25	239663	59915.75
6	15	253884	38082.60
7	4	326094	13043.96
8	10	343247	34324.70
9	6	359625	21577.50
			<hr/> 238495.24

Pronóstico Puntual al Año 2000 : 256618 GWH

---

Comparando el valor esperado total que es 238495.24 GWH con el pronóstico puntual del Método 2, alternativa 1, que es 256618 GWH, se puede observar que son prácticamente iguales, por lo que los Métodos 1 y 2 pueden considerarse iguales.

Comparación entre los Métodos 1 y 3.

METODO 1.	ALTERNATIVA.	AÑO 2000
	3	173826
	6	253884
	7	326099
-----		
METODO 3.		
	1	279547
	2	284757
	3	290013
-----		
Método 3, alt. 3 / Método 1, alt. 7		- 11.07

De aquí podemos comentar que las alternativas que más se parecen, son la alternativa 7 del Método 1 con la alternativa 3 del Método 3.

#### RESUMEN DE COMPARACIONES DE LOS 3 METODOS.

Método	Alternativa	Tasa de crecimiento equivalente
1	7	8.35 %
2	1	8.88 %
3	3	7.83 %

## SATISFACCION DE LA DEMANDA

Para este trabajo se tomaron como base aquellos resultados que se obtuvieron del Plan de Expansión del Sector Eléctrico al Año 2000, (PESE 2000), y la razón de esto, es que, aparece por primera vez como parte de sistema de generación de energía eléctrica la energía nuclear. De aquí que la planeación que nos lleva a la construcción y puesta en marcha de la planta de Laguna Verde tenga su origen en el PESE 2000.

Primeramente debemos dejar claro el valor de la demanda al año 2000, este puede variar dependiendo de que método se utilice, esto es:

Método 1.- Alternativa 7. ....	37.22 GW
Método 2.- Alternativa 1. ....	41.78 GW
Método 3.- Alternativa 3. ....	33.10 GW

Para este estudio consideraremos la alternativa que nos representa una mayor demanda; por lo tanto, el Metodo 2, alternativa 1, siendo la demanda de 41.78 GW.

Una vez que se conoce el valor de la demanda a satisfacer al año 2000 será necesario establecer que es lo que podemos producir a ese mismo año, esto es, que se contara con una capacidad instalada de 83.505 GW, y con una producción de

45.73 GW, lo que representa el 54.76 % de la capacidad instalada.  
 ( Estos datos también pertenecen al PESE 2000.)

AÑO 2000

Capacidad Instalada .....	83.505 GW
Capacidad de Producción .....	45.73 GW
Demanda .....	41.78 GW

La producción proyectada al año 2000 excede en un 9% a la demanda, lo que nos representa un exceso de producción de 3.95 GW.

La composición del sistema de energías producidas al año 2000 deberá ser la siguiente:

ENERGIA PRODUCIDA AÑO 2000		
MODO DE PRODUCCION	PORCENTAJE	PRODUCCION GW
hidroeléctricas	16.6 %	7.59 GW
carbón	14.7 %	6.72 GW
nuclear	21.8 %	9.96 GW
geotermia	1.5 %	0.68 GW
hidrocarburos	45.4 %	20.94 GW
	100.00 %	45.89 GW

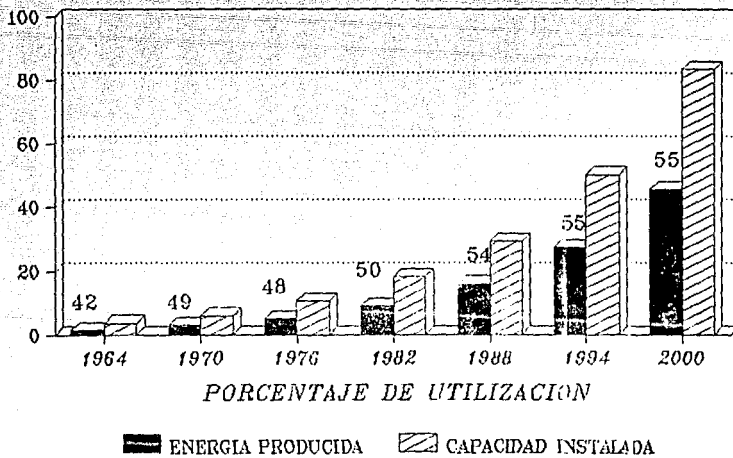
Para poder llevar a cabo esto se ha desarrollado un programa de construcción, que se encuentra dividido en periodos:

PROGRAMA DE CONSTRUCCION. CFE. GW.				
TIPO DE PLANTA	1977-1982	1983-1988	1989-1994	1995-2000
hidrocarburos y nuclear	4.750	5.466	17.36	20.22
hidroeléctricas	2.184	3.158	1.059	8.112
geotermia	0.185	0.250	0.330	0.440
carbón	0.600	2.100	2.400	3.300
total	7.720	10.974	20.925	32.072

En el PESE 2000, se consideró para el año de 1982 la primera contribución de energía eléctrica por medios nucleares, esta contribución era de 0.75 GW, mientras que para 1988 se esperaba contar con 0.97 GW; como bien sabemos, esto no se cumplió, más si contamos con la infraestructura para producirlos. La Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde cuenta con una capacidad máxima continua de 1.349 GW, con lo cual si seguimos lo proyectado en la Plan de Expansión del Sector

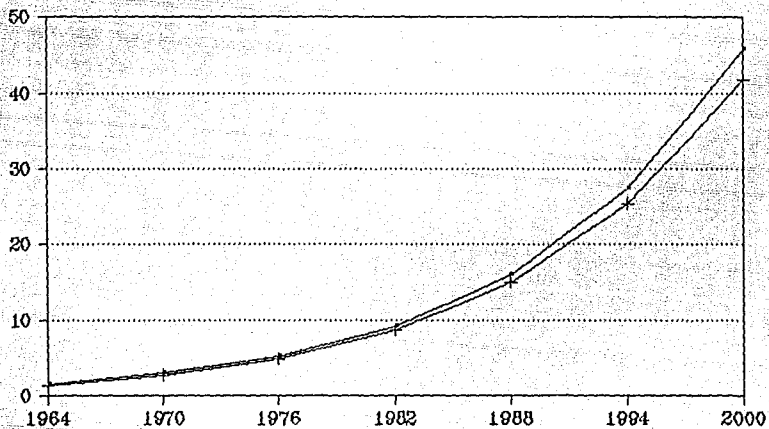
Eléctrico al Año 2000, únicamente nos sirve para cubrirnos hasta el año 1990. Se tiene proyectado para 1994 una producción de 7.14 GW, mientras que para el año 2000 se tiene una producción de 9.96 GW. Como podemos darnos cuenta llevamos un importante retraso en esta área, el cual se ve muy difícil de recuperar, ya que no existen a la fecha nuevos proyectos de construcción a corto plazo de plantas nucleoelectricas.

*ENERGIA PRODUCIDA - CAPACIDAD INSTALADA  
GW*





## ENERGIA PRODUCIDA - DEMANDA



— ENERGIA PRODUCIDA    + DEMANDA

ANEXO 1.

(1) UNIDADES DE POTENCIA UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO.

1	terawatt	Tw	equivale a	10 <sup>12</sup>	watts
1	gigawatt	Gw	" "	10 <sup>9</sup>	watts
1	megawatt	Mw	" "	10 <sup>6</sup>	watts
1	kilowatt	Kw	" "	10 <sup>3</sup>	watts

Conversión:

Un año tiene: 365 días x 24 horas = 8760 HORAS/AÑO

8760 horas/año x 1 watt = 8760 watt-hora

(2) PLAN DE GARANTIA DE CALIDAD.

El Departamento de Selección de Sitios define como Plan de Garantía de Calidad al conjunto de lineamientos o políticas generales establecidas por el propietario de una central nucleoelectrica con el proposito de que sean observadas por las distintas organizaciones involucradas en su proyecto de modo de poder garantizar la calidad en todas las estructuras, sistemas, componentes y servicios para que operen confiable y seguramente.

(4) El Esquema de Principales Centros de Generación, fué tomado de "Catalogo de Centrales, Actualizacion al 21 de Julio de 1987".

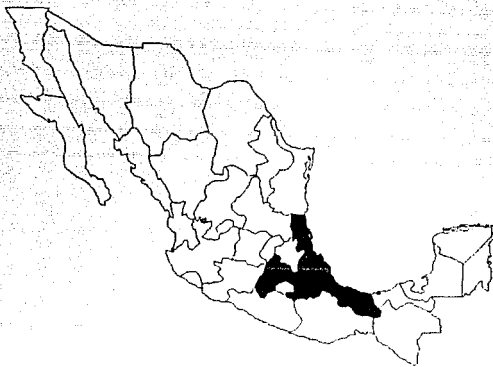
\* Los datos no indicados con pie de página en este capítulo, pertenecen al texto "Evolucion del Sector Eléctrico en México", Situación Energética.

(3) LICENCIAMIENTO.

Licencia.- Es un documento oficial, expedido por el órgano regulador, a petición expresa del solicitante, donde se autoriza a ejercer una determinada actividad o conjunto de actividades relativas a la construcción, puesta en servicio, operación y cierre definitivo; se establecen los requisitos y condiciones a que han de ajustarse las actividades del proceso; posiblemente fija plazos de validez de la autorización concedida; etc.

**CAPITULO 2**

**CENTRALES NUCLEARES  
RELACION BENEFICIO-COSTO**



## CAPITULO 2

### **CENTRALES NUCLEOELECTRICAS.**

Una central nucleoelectrica (CN) es una instalacion industrial de produccion de electricidad. Su principio de funcionamiento es practicamente igual al de las centrales termoelectricas (CT) que funcionan a base de la combustion del carbon, combustoleo o gas: CONVERTIR LA ENERGIA CONTENIDA EN UN COMBUSTIBLE EN ENERGIA ELECTRICA.

La conversion requiere de tres etapas bien definidas, en ambos tipos de centrales:

- a) la energia del combustible se extrae, en una caldera para una CT o en un reactor para una CN, en forma de calor produciendo vapor de alta presion y temperatura.
- b) la energia del vapor se transforma en movimiento, que se transmite a las aspas de una turbina.
- c) el giro del eje de la turbina, acoplado a un alternador, produce la energia electrica.

La diferencia entre una CT y una CN esta, precisamente, en la forma de producir el vapor de alta presion, asi como en las medidas de seguridad adoptadas en esta etapa.

El reactor nuclear produce energia mediante la fisión de isótopos<sup>(1)</sup> de uranio, esto es, se embiste un nucleo de uranio 235

(1) ANEXO 2.

con un neutrón libre proveniente de una fuente de neutrones, este neutrón pasa a formar parte del núcleo del uranio 235, alterando su equilibrio, lo que da lugar a que este se rompa en dos, la masa de las partículas en los dos nuevos núcleos es menor al que tenía el núcleo original, esta diferencia de masa es convertida en energía de movimiento; uno de los aspectos más importantes de la reacción de fisión lo constituye el hecho de que al producirse se liberan neutrones que pueden emplearse para producir nuevas fisiones y de esta manera propagar las reacciones.

Los núcleos susceptibles a ser fisionados se denominan Núcleos Fisibles y entre estos se encuentran los núcleos del uranio 235, uranio 233 y plutonio 239, de los cuales los dos últimos no se encuentran en la naturaleza pero si se pueden formar artificialmente. El uranio que existe en nuestro planeta está constituido por los núcleos de uranio 238 en un 99.3% y del uranio 235 en un 0.7%.

Existen también núcleos que se fisionan únicamente con neutrones a muy alta velocidad, tales como el uranio 238, el plutonio 240 y el torio 232, de los cuales sólo el uranio 238 se encuentra en estado natural.

Existe una relación directa entre la energía de los núcleos que se pretenden fisionar y la temperatura que producirán al

fisionarse, es por esto que se ha dado por designar a estos reactores con el nombre de Reactor de Tipo Térmico.

Por otra parte es necesario controlar la velocidad de los neutrones, ya que estos producen una enorme cantidad de energía, para esto es necesario hacerlos incidir en otros núcleos más ligeros, para que estos absorban la energía; estos núcleos se denominan " moderadores ", y encontramos entre ellos el hidrógeno, el deuterio (agua pesada), el carbono 12, etc.

Un reactor nuclear térmico es un volumen en el cual se disponen núcleos de uranio 235, núcleos moderadores y los materiales necesarios para contenerlos y soportarlos. La manera en que se colocan todos los materiales y la cantidad de núcleos fisibles deben ser tales que se pueda establecer y mantener una cadena de reacciones de fisión, esto significa que en el reactor, por cada neutrón térmico que causa una fisión se obtiene, en promedio, un neutrón térmico que a su vez ocasiona otra fisión. De esta manera el número de reacciones de fisión que se efectúa en un intervalo dado permanece constante, lo cual implica que la potencia que está siendo producida en el reactor es constante. De esto podemos afirmar que el número de neutrones o población de neutrones que se establece en el reactor determina la potencia del mismo.

Hay factores que afectan a una población de neutrones, estos

pueden agruparse en dos clases:

- a) los que ocasionan la muerte de los neutrones, (pérdidas).
- b) los que dan lugar a nuevos neutrones, (ganancias).

Cuando las pérdidas de neutrones son mayores que las ganancias la población de neutrones disminuye hasta su total extinción, se dice que el reactor nuclear es SUBCRITICO.

Recíprocamente, cuando la ganancia de neutrones térmicos es mayor que las pérdidas de población de neutrones se incrementa sin límite, lo que ocasionará la destrucción del reactor si no se proporcionan medios para evitarlo, en estas condiciones el reactor nuclear es SUPERCRITICO.

Cuando las pérdidas son exactamente compensadas por la producción de población de neutrones permanece constante se dice que el reactor nuclear se encuentra en el estado CRITICO.

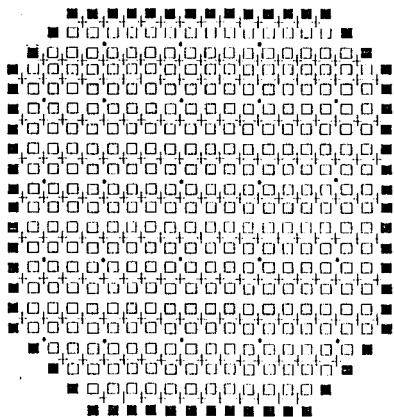
En general el tamaño y forma del reactor se eligen tomando en cuenta aspectos que no necesariamente son del tipo nuclear. La fuga de los neutrones está determinada, principalmente, por la superficie que limita al reactor en tanto que las absorciones dependen de los materiales existentes en el interior del reactor, tanto del tipo como de la cantidad en que ahí se encuentren. Además, la producción de neutrones dependerá de la cantidad de núcleos fisibles que existan en el reactor. Resulta



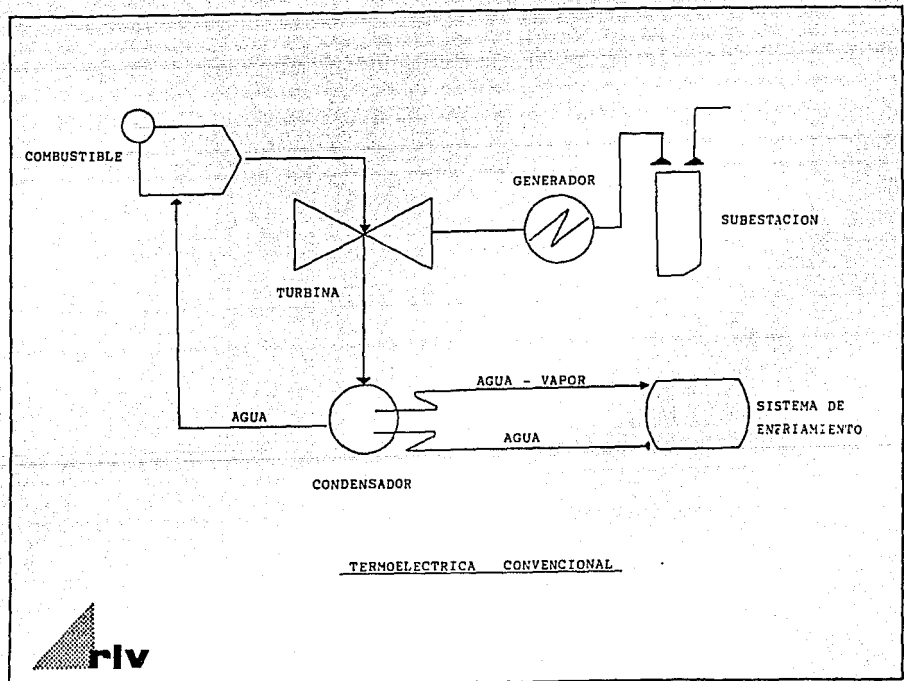
así que, en general, es siempre posible balancear las pérdidas de neutrones introduciendo la cantidad apropiada de núcleos fisibles. Estos núcleos fisibles constituyen el COMBUSTIBLE del reactor.

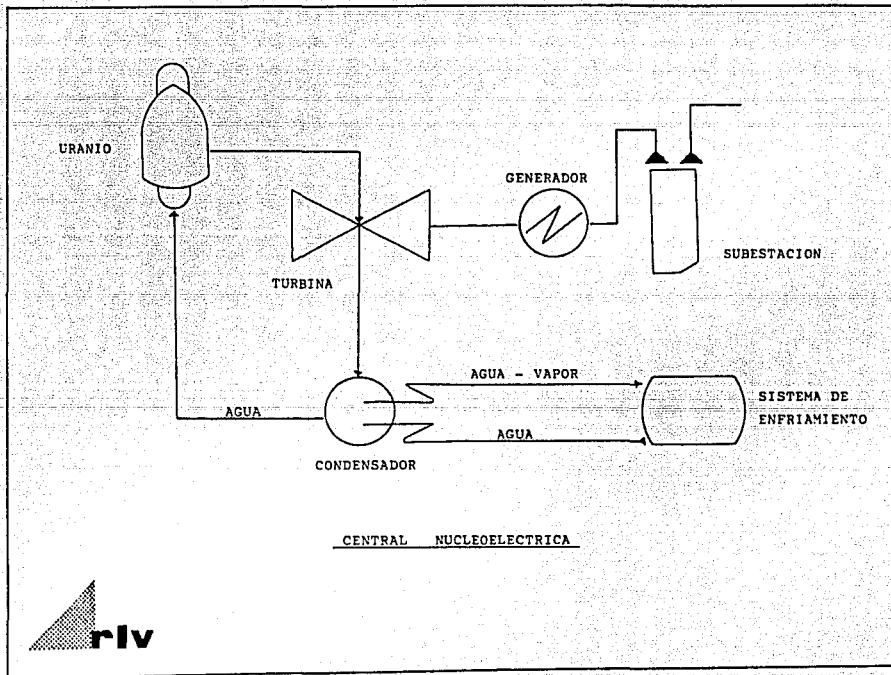
#### NUCLEO DEL REACTOR.

## NUCLEO DEL REACTOR



- URANIO NATURAL
- ALTO ENRIQUECIMIENTO
- ▣ MEDIO ENRIQUECIMIENTO
- + BARRAS DE CONTROL





## PARTES CONSTITUTIVAS DE LAS CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

Una planta nuclear se puede dividir en tres partes principales, que son:

- 1.- la Isla Nuclear
- 2.- el Turbogenerador y sus Auxiliares
- 3.- el resto de la Planta.

### ISLA NUCLEAR.-

Consiste basicamente del sistema nuclear de suministro de vapor, el sistema de remoción de calor, los sistemas de emergencia, los sistemas auxiliares que permiten mantener la operación del sistema nuclear de suministro de vapor, el edificio que contiene el reactor y los sistemas de control.

### TURBOGENERADOR Y SUS AUXILIARES.-

Lo comprenden el grupo: turbina-generador, el condensador, los sistemas de separación de humedad y recalentamiento de vapor entre las etapas de la turbina, los sistemas de control de la turbina y del generador y los edificios que alojan al turbogenerador y sus sistemas auxiliares.

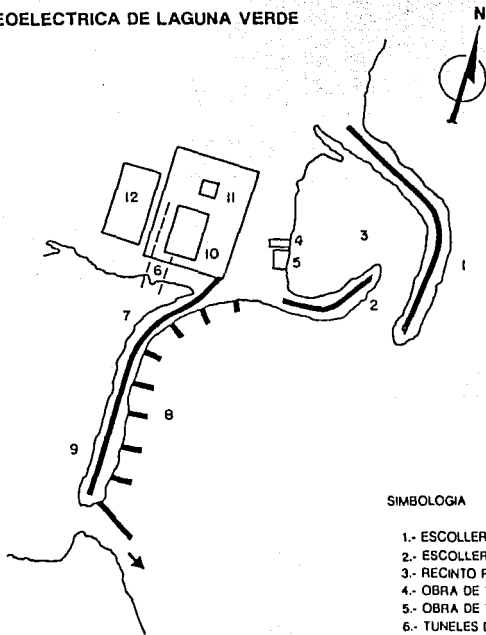
### EL RESTO DE LA PLANTA.-

Lo constituyen los sistemas necesarios para lograr el

acoplamiento de los dos grupos de sistemas anteriores, entre los que se pueden mencionar: el tratamiento de agua, agua de alimentación, calentamiento de agua de alimentación, circulación de agua de enfriamiento nuclear y no nuclear, purificación de condensador, tratamiento de desechos, tratamiento de gases de salida, sistemas eléctricos, sistemas de ventilación y aire acondicionado, sistemas contra incendio, los edificios que alojan estos sistemas y los subsistemas correspondientes, edificios administrativos y de servicios de apoyo, etc.

#### PLANTA NUCLEOELECTRICA DE LAGUNA VERDE.

# NUCLEOELECTRICA DE LAGUNA VERDE



## SIMBOLOGIA

- 1.- ESCOLLERA NORTE
- 2.- ESCOLLERA SUR
- 3.- RECINTO PROTEGIDO
- 4.- OBRA DE TOMA NUCLEAR
- 5.- OBRA DE TOMA CIRCULACION
- 6.- TUNELES DE DESCARGA
- 7.- CANAL DE DESCARGA
- 8.- ESPIGONES
- 9.- BORDO DE CONTENCIÓN
- 10.- UNIDAD 1
- 11.- UNIDAD 2
- 12.- SUBESTACION



En cuanto a la seguridad que se debe de observar en el manejo de una central nucleoelectrica se tienen mayores consideraciones en cuanto al transporte del combustible radioactivo, claro que sin descuidar en lo más mínimo la utilización de este dentro de la planta.

El combustible radioactivo tiene su origen en las minas de donde se obtiene en su estado natural ( U 238 ), para que de aquí pase a la Planta de enriquecimiento; una vez enriquecido el uranio, es donde se presenta el primer riesgo, que es el transportarlo a la central, el cual toma un carácter muy delicado, ya que requiere de transporte especializado, este puede ser por medios ferroviarios o carreteros. Una vez resuelto el problema de transportar el combustible a la planta se presenta otro riesgo considerable, que es el de su manejo dentro de la planta hasta colocarlo dentro del reactor; una vez en el reactor, el riesgo es mínimo ya que hay gran facilidad para controlar la reacción de fisión dentro de éste, presentandose unicamente el riesgo de que la camisa del reactor, ( estructura que envuelve al reactor ), sufra alguna ruptura, lo que provocaría que la radioactividad llegue al refrigerante y que de aquí pase al resto de la planta; una vez terminado de usar el combustible se tiene la problemática



del manejo de los desperdicios nucleares, estos permanecen de 5 a 6 meses en la planta y de ahí se determina si estos se regresan a la planta de enriquecimiento o se almacenan definitivamente. En el caso de que se envíen a la planta de enriquecimiento se tiene nuevamente el riesgo del transporte, mientras que si se almacenan definitivamente se tiene como problema, el escoger el almacén ideal que tenga los menos riesgos posibles. Recordemos que esto es únicamente para los combustibles nucleares.

## COMPARACION DE RELACION BENEFICIO - COSTO.

La relación beneficio-costo es una manera práctica de evaluar la conveniencia de las obras en proyecto, implica la enumeración y evaluación de todos los costos y beneficios pertinentes.

Es una manera de exponer los factores que se necesitan tomar en cuenta al hacer ciertas elecciones desde el punto de vista económico.

En la evaluación de proyectos generalmente surgen complicaciones al obtener el beneficio de algún bien, ya que éste se relaciona con el beneficio de otro bien producido en forma directa o indirecta por el primero; de aquí surgen beneficios tanto directos como indirectos, así como internos y externos; siendo los beneficios directos, aquellos que se obtienen en forma directa de la producción, mientras que los indirectos son aquellos que se derivan de los directos. Los beneficios internos son aquellos que se afectan o se derivan en forma directa de la planta productora, a la vez, esta deriva o afecta una determinada área que se ve influenciada por el beneficio de recibir un bien o servicio, esto es lo que se denomina como beneficio externo. Por otra parte es importante considerar que todo beneficio nos lleva a tener un costo, el cual se ve afectado en forma similar al beneficio, teniéndolo de tal forma

tanto costos directos como indirectos, así como internos y externos.

La evaluación de los beneficios y costo directo, no presenta gran dificultad ya que es fácil conocer tanto las inversiones como las erogaciones de un determinado bien o servicio, el problema se presenta al evaluar los beneficios indirectos, ya que no es fácil, aunque si posible medirlos en términos económicos, sin antes determinar los costos de estos.

Parte importante del beneficio indirecto lo es el beneficio social, el cual será tanto interno como externo; presentando este la característica de ser analizado y evaluado en la magnitud en que pueda ser medido y difícilmente en la magnitud que sea requerido, debido a que se ve impactado por infinidad de proyectos derivados, los cuales incrementan en forma importante el costo en el estudio así como el tiempo a invertir en él.

Para la evaluación de proyectos como las plantas eléctricas se deben de tener en cuenta varias consideraciones como lo es el manejar tanto los beneficios como los costos a través del tiempo, esto debido a que todas las plantas eléctricas tienen diferentes rendimientos a lo largo de su vida

útil, por lo que tanto, los costos como los beneficios son diferentes durante la utilización de la planta. Para poder llevar a cabo este análisis se necesita del complicadísimo proceso de simulación de todo el sistema de producción a lo largo de la vida útil, el cual será correcto únicamente si se tiene una excelente moderación cronológica; razón por la cual en este estudio con fines prácticos se manejan en forma ligera valores constantes tanto en valores económicos como valores cronológicos a lo largo de la vida útil de cada uno de los sistemas eléctricos considerados.

Para poder realizar una comparación lo más real posible se optó por tomar en consideración aquellas plantas de generación y modos de generación que se mencionaran en los cuadros que se presentan más adelante ya que de ellos se tiene la misma información para cada caso.

Primeramente se analizará la relación BENEFICIO-COSTO, en la cual el beneficio a utilizar será el beneficio directo que se obtiene al vender el servicio, el precio en el cual se encontraba el Kwh al año de 1985, ( 8.79 \$/kwh ); mientras que el costo será aquel en el que intervienen el costo de inversión, el costo del combustible y el costo de operación y mantenimiento, lo que integraría totalmente el costo unitario

de generación en \$/kwh.

Por otra parte, también se realizó otro estudio tomando en cuenta uno de los beneficios indirectos, siendo este el ahorro de hidrocarburos ( combustóleo ), el cual es el que más impacto tiene en estos días.

## **COSTOS DE GENERACION.**

El objetivo de este estudio es consolidar una base de información que permita evaluar tecnologías en lo general y proyectos en lo particular.

Dado que cada proyecto tiene características propias, no se debe establecer un costo único para aplicarlo indiscriminadamente a cada tecnología. En CFE se midieron los principales parámetros técnicos propios de cada tipo de central y sus principales componentes de costo. En CFE se les conoce como "Costos y Parámetros de Referencia". Por otra parte no es posible suponer que los resultados que se presentan permitan jerarquizar tecnologías en forma definitiva.

Los costos totales de generación están formados por el costo de inversión, el costo del combustible, la operación y el mantenimiento.

Los costos de los combustibles se miden en función de sus precios externos de referencia, los que a su vez son representativos de dichos precios en algunos mercados internacionales relevantes para México.

Para este trabajo se incorporan los siguientes elementos:  
1.- en cuanto al estudio de centrales nucleoelectricas se toman tres casos de referencia, de Francia y los EUA, para la

estimación de los costos de inversión fundamentalmente.

2.- Los costos de los combustibles se miden en función de los precios externos de referencia y se construyen escenarios sobre su posible evolución en términos reales a lo largo de la vida económica de cada tipo de central.

3.- Se aplicó un tipo de cambio de 264.00 pesos/dolar EUA, (1985).

#### COSTOS DE INVERSION.

Está compuesto por el costo directo más el costo indirecto; siendo el costo directo la suma en moneda constante de las erogaciones correspondientes a una central, dividido entre la capacidad de la misma, lo cual es equivalente a que la obra se construyera y todos sus costos de inversión se erogaran instantáneamente, mientras que el costo indirecto abarca los costos de ingeniería, administración y control de obra, incurridos en las oficinas centrales de la C.F.E.

Las estimaciones de los costos directos se fundamentan en varias fuentes:

a) información de costos incurridos en la construcción de centrales ya terminadas.

b) presupuestos elaborados para proyectos específicos en

proceso de construcción.

c) información correspondiente a otros países, con los ajustes necesarios.

d) cotizaciones de fabricantes de los equipos principales.

Para todo esto se hicieron actualizaciones de los costos a 1985.

#### COSTO DE LOS COMBUSTIBLES

En base a las características y a los costos históricos de los combustibles se siguen determinadas metodologías destinadas a la obtención del costo del combustible.

En cuanto a proyectos geotérmicos no se asigna costo al vapor, ya que en los costos de inversión y de operación y mantenimiento correspondientes al campo geotérmico se incluye este concepto.

#### COSTO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

En los costos de operación y mantenimiento para las centrales en estudio, se distingue un componente fijo y otro variable.

Se consideran fijos aquellos costos que no están directamente relacionados con la energía generada, estos son



primordialmente los costos relativos a mano de obra:

salarios  
prestaciones  
seguro social

Son variables aquellos costos que guardan una relación directa con la generación de energía eléctrica, en este renglón se consideran:

materiales  
impuestos  
servicios de terceros  
gastos generales

(A)  
COMPOSICION DEL COSTO DE INVERSION POR TECNOLOGIA  
Y TIPO DE RECURSO ( % )  
(Tabla 2.01)

CENTRAL	OBRA CIVIL	MONTAJE ELECTROMECHANICO	TOTAL %
termoeléctrica	25.6	74.4	100.00
carboeléctrica	28.6	71.4	100.00
... -eoeléctrica	23.1	76.9	100.00
geotermoeléctrica	33.5	66.5	100.00
hidroeléctrica	77.0	23.0	100.00

(A) Información perteneciente a "Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico".

En cuanto a todo esto al no existir experiencia de operación de centrales nucleoelectricas en nuestro pais, se recurrió a la experiencia de los EUA, con informacion del "Department of Electricity", y con Francia, con informacion del "Electricité de France".

En este respecto sabemos que las centrales en Francia tienen un menor costo tanto en construcción como en montaje, esto debido a que sus centrales son construidas y montadas en su mayor parte bajo diseño de plantas tipo, por lo que han logrado una tecnología específica y por lo tanto reducir sus costos. Mientras que en los Estados Unidos se construyen centrales bajo muy diversos diseños, lo que eleva sus costos, y hay que adaptar tanto procesos como tecnologías de ingeniería, (costos de ingeniería).

(A)  
 PARAMETROS BASICOS PARA EL CALCULO DEL  
 COSTO DE GENERACION  
 1985  
 (Tabla 2.02)

CENTRAL	*CAPACIDAD MW	VIDA ECONOMICA	FACTOR DE PLANTA	EFICIENCIA %
TERMoeLECTRICA				
convencional	2x37.5	30	0.65	29.98
gas	1x125	25	0.55	38.51
diesel	1x30	20	0.65	37.83
CARBOELECTRICA	2x350	30	0.65	33.53
NUCLEOELECTRICA	2X1000	30	0.65	34.50
GEOTERMICA				
Cerro Prieto	2x110	20	0.75	-----
Los Azufres	1x55	20	0.75	-----
HIDROELECTRICA				
Caracol	3x198	50	0.254	-----
Peñitas	4x105	50	0.520	-----
Amistad	2x33	50	0.190	-----

\* CAPACIDAD = A x B

A = No. de generadores, B = capacidad de generación individual

De la tabla anterior podemos observar claramente una

(A) Información perteneciente a "Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico".

ventaja de la planta nucleoelectrica, como lo es su gran capacidad de generacion que rebasa ampliamente cualquier forma tradicional de generacion. De aqui obtenemos que una central nuclear produce a lo largo de su vida 60,000 Mw, mientras que una hidroelectricita como la del Caracol, solo produce 29,700 Mw, siendo esta la que mayor produccion arroja, multiplicando la capacidad por la vida economica.

(A)  
 CARACTERISTICAS Y PRECIOS EXTERNOS DE REFERENCIA  
 DE LOS COMBUSTIBLES  
 1985  
 (Tabla 2.03)

COMBUSTIBLE	UNIDAD	PRECIO POR UNIDAD (PESOS)	PODER CALORIF. Kcal/unidad	PRECIO por millar de Kcal
combustible	lt.	41.85	10019	4.18
gas natural	mc.	39.43	8899	4.43
diesel	lt.	50.22	9243	5.43
mezcla combustible diesel	lt.	43.52	9864	4.41
carbón	kg.	12.90	6395	2.02
uranio	EUA	gr. 599.96	742897	0.81
	FRANCIA	gr. 621.06	742897	0.84

(A) Información perteneciente a "Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico".

En cuanto a la tabla 2.03 podemos tomar como margen de comparación el precio por millar de kilocalorías (kcal), en donde el precio más desfavorable de uranio (0.84), es realmente más bajo que cualquier otro tipo de combustible, esto basado en su alto poder calorífico. Si consideramos que en nuestro país no existen plantas enriquecedoras de uranio, se tiene un amplio margen con el cual se puede cubrir todo el costo de enriquecimiento y por lo tanto permanecer en competencia con el resto de los combustibles.

(A)

PORCENTAJE DE AUTOCONSUMO DE ENERGIA POR TIPO  
DE CENTRAL  
(Tabla 2.04)

CENTRAL	AUTOCONSUMO SOBRE LA GENERACION BRUTA %
termoeléctrica	6.3
turbogas	0.9
ciclo combinado	3.0
diesel	5.2
carboeléctrica	7.6
nucleoeléctrica	4.5
hidroeléctrica	0.5
geotérmicas	4.5

(A) Información perteneciente a "Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico".

(A)  
 COSTO UNITARIO DE GENERACION  
 1985  
 (Tabla 2.05)

CENTRAL	INVERSION \$/kwh	COMBUSTIBLE \$/kwh	OPER Y MANT. \$/kwh	TOTAL \$/kwh	PROM.
TERMoeLECTRICA					
convencional	5.89	17.52	1.16	24.57	
gas	4.31	13.49	0.26	18.06	
diesel	4.39	17.21	0.26	21.86	21.49
CARBOELECTRICA	7.50	7.85	0.54	15.89	15.89
NUCLEOELECTRICA					
EUA media	16.67	2.58	2.01	21.26	
EUA optimista	8.34	2.58	2.01	12.93	
Francia	6.83	2.80	1.30	10.93	15.04
GEOTERMICA					
Cerro Prieto	6.71	----	6.02	12.73	
Los Azufres	9.82	----	3.08	12.90	12.81
HIDROELECTRICA					
Caracol	17.87	----	0.22	18.09	
Peñitas	10.08	----	0.24	10.32	
Amistad	6.14	----	1.70	7.84	12.08

Es fácil observar que lo que realmente eleva los costos en

(A) Información perteneciente a "Costos y Parametros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico".

una planta nuclear es su alto costo de inversión principalmente, aunado a esto, su costo de operación y mantenimiento que es por encima del promedio de 1.56 \$/Kwh. Es de mencionar que todo lo que se refiere a mano de obra tiene un menor costo en nuestro país, que en Francia o Estados Unidos.

RELACION BENEFICIO-COSTO  
DIRECTO

(Tabla 2.06)

CENTRAL	(4) BENEFICIO DIRECTO \$/KWH	(5) COSTO DE GENERACION \$/KWH	BENEFICIO/ COSTO DIRECTO
TERMOELECTRICA			
convencional	8.79	24.57	0.35
gas	8.79	18.00	0.48
diesel	8.79	21.86	0.40
CARBOELECTRICA	8.79	15.89	0.55
NUCLEOELECTRICA			
EUA media	8.79	21.26	0.41
EUA optimista	8.79	12.93	0.68
Francia	8.79	10.93	0.80
GEOTERMICA			
Cerro Prieto	8.79	12.73	0.69
Los Azufres	8.79	12.90	0.68
HIDROELECTRICA			
Caracol	8.79	18.09	0.48
Peñitas	8.79	10.32	0.85
Amistad	8.79	7.84	1.12

\* Precio de venta en 1985, fué 8.79 \$/KWH. (Beneficio directo)

(4), (5) ANEXO 2.



Como se puede constatar todas las centrales eléctricas del país gastan más de lo que reciben por el servicio que prestan, y esto es fácil de observar en el resultado de la relación BENEFICIO - COSTO.

La excepción es la hidroeléctrica de la Amistad, que presenta el menor Costo Unitario de Generación del país, aunque cabe recordar que fué construida y operada en forma conjunta con los Estados Unidos.

Para que una empresa sea rentable la relación Beneficio - Costo debe ser mayor a 1, esto en el grado de rentabilidad que se acepte en determinado momento, es decir, la cantidad en la que se exceda a 1.00 se comparará contra indicadores como la tasa de rendimiento bancaria u otros.

Si se analizan los resultados arrojados en la relación Beneficio - Costo en su forma directa, de la tabla anterior, podemos observar que las Plantas Nucleoeléctricas se encuentran dentro de los rangos en los que se operan el resto de las centrales, podemos asegurar que en este aspecto la nucleoelectrica de Laguna Verde puede ser competitiva con el resto de las centrales siempre y cuando se apege a los datos considerados en éste estudio.

Por otra parte podemos afirmar que la central que presenta el menor resultado a la relación, lo es la

termoeléctrica del tipo convencional, esto debido al alto costo de los combustibles.

En el análisis que se realizó en la relación Beneficio-Costo en forma directa, se utilizó el valor de 8.79 \$/KWH, precio que corresponde al valor de la energía subsidiada, por lo que los valores obtenidos en la tabla 2.06, no reflejan cantidades comparables contra otros proyectos de inversión de diferente giro, más si sirven para comparar la conveniencia o no de proyectos para generación de energía.

Para poder hacer la comparación contra otros proyectos de inversión es necesario eliminar todo tipo de subsidio, de tal forma que los valores arrojados en la relación Beneficio-Costo se encuentren bajo las mismas condiciones de comparación.

Por falta de accesibilidad a la información correspondiente al porcentaje que ocupa el subsidio a la energía eléctrica en nuestro país, recurrimos a utilizar el precio promedio que se tiene en los Estados Unidos, de forma tal que sea ilustrativo para obtener un valor más real en cuanto a la relación Beneficio-Costo Directo se refiere. Para esto se obtuvieron los precios de las diferentes tarifas que se tuvieron en los Estados Unidos, y de aquí se obtuvo el promedio de los precios. Estos precios se encuentran en pesos constantes al año de 1986, por lo que fué necesario

desescalarlos al año de 1985, considerando que hubo una inflación promedio del 3.00 % entre 1985 y 1986 en EUA.

(Tabla 2.07)

PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD EN EUA (PESOS CONSTANTES 1986)			
	(A) PESOS/KWH	PORCENTAJE SOBRE LA DISTRIBUCION TOTAL	PORCENTAJE PONDERADO EN PESOS
Comercial	33.24	15	4.98
Industrial	23.05	40	9.22
Alumbrado	46.69	9	4.20
Residencial	33.84	34	11.50
Agrícola	23.32	2	0.46
PROMEDIO PONDERADO EN PESOS (1986) POR KWH			30.36

Este valor de 30.36 \$/KWH, resulta más práctico si lo que se busca es comparar el proyecto de la Central Nucleoeléctrica contra otro u otros proyectos de inversión, y por otra parte nos da idea de un posible rango de utilidad que se manejaría en el caso de no existir subsidios en nuestro país.

Todos los datos utilizados hasta ahora han sido manejados al año de 1985, por lo que es necesario pasar el valor de 30.36 \$/KWH de 1986 a 1985:

(A) Datos pertenecientes a "Precios Internos y Externos de Referencia de los Principales Energéticos".

Inflación de 1985 a 1986 = 3.00 %

\$/KWH en 1985 en EUA = 30.36 / 1.03 = 29.47 \$/KWH.

Este valor ya es manejable junto con el de Costo de Generación, utilizados en la relación anterior del Beneficio-Costo Directo, (Tabla 2.06).

A continuación se presenta la tabla Relación Beneficio-Costo Directo sin tomar en consideración el subsidio que existe a la energía eléctrica, (hoja siguiente). En esta tabla podemos ver que el subsidio afecta en una forma muy importante la conveniencia de cualquier proyecto de generación de energía eléctrica, y que si la consideración de suponer el precio de la energía en México igual al precio en EUA como correcta o muy próxima, ( por constituir la más cercana competencia ), la utilidad que se obtiene por generar energía eléctrica es bastante aceptable, descartando la generación por termoeléctricas tradicionales, que realmente manejarían una utilidad muy baja (19 %). Por otra parte se observa que si se promedian las utilidades en cuanto a generación por nucleoelectricas se obtiene una utilidad del 111 %, que es excelente, sin considerar ningun otro tipo de beneficio (indirecto).

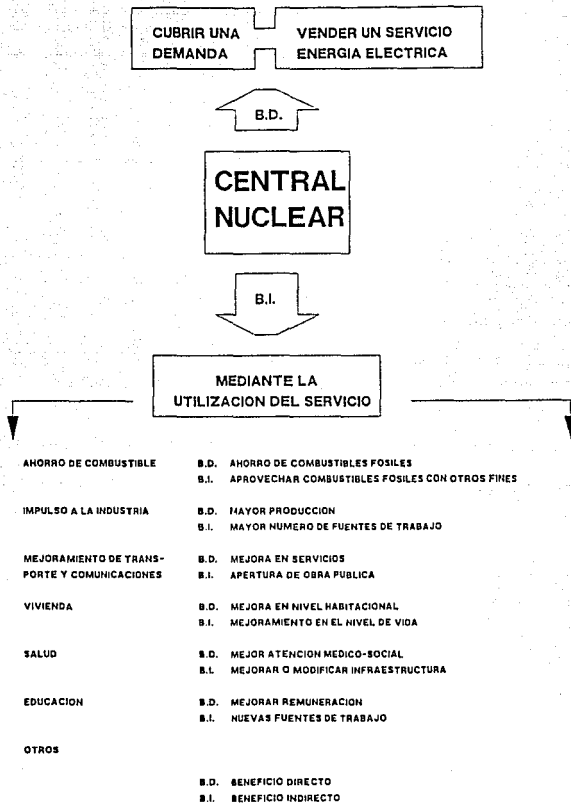
Utilidad:

$$(( 1.38 + 2.28 + 2.69 ) / 3 ) - 1 = 1.11 \dots\dots 111 \%$$

RELACION BENEFICIO-COSTO  
DIRECTO SIN SUBSIDIO  
(Tabla 2.08)

CENTRAL	BENEFICIO DIRECTO \$/KWH	COSTO DE GENERACION \$/KWH	BENEFICIO/ COSTO
TERMOELECTRICA convencional	29.47	24.57	1.19
gas	29.47	18.00	1.63
diesel	29.47	21.86	1.34
CARBOELECTRICA	29.47	15.89	1.85
NUCLEOELECTRICA			
EUA media	29.47	21.26	1.38
EUA optimista	29.47	12.93	2.28
Francia	29.47	10.93	2.69
GEOTERMICA			
Cerro Prieto	29.47	12.73	2.31
Los Azufres	29.47	12.90	2.28
HIDROELECTRICA			
Caracol	29.47	18.09	1.62
Peñitas	29.47	10.32	2.85
Amistad	29.47	7.84	3.76

\* Precio de venta en 1985 para nuestro país, fué 8.79 \$/KWH.  
(Beneficio directo)



**DIAGRAMA DE BENEFICIOS DERECTOS E INDIRECTOS**

Para ejemplificar la forma de evaluar los beneficios indirectos, presentamos un procedimiento el cual podría servir como base para estudios más especializados.

#### BENEFICIO INDIRECTO POR AHORRO DE COMBUSTOLEO

Uno de los análisis del beneficio indirecto que se realizarán para éste estudio lo fué el relacionado con el ahorro de combustóleo, cuestión de relevante importancia en nuestros días.

El ahorro de barriles de combustóleo está visto desde el punto en que la utilización de otro tipo de combustible diferente al combustóleo da oportunidad a que éste sea utilizado en otro tipo de industria, y por lo tanto se obtenga un beneficio a través de su transformación en bienes o servicios.

La tabla que a continuación se presenta muestra la cantidad de barriles de combustóleo que equivaldrían para igualar la generación de energía por otros medios diferentes al termoeléctrico convencional.

BARRILES DE COMBUSTOLEO EQUIVALENTES POR OTRO TIPO DE GENERACION  
(Tabla 2.09)

CENTRAL	CAPACIDAD Mw	CAPACIDAD Mwh	No. DE BARRILES AHORRADOS/Mwh
TERMOELECTRICA			
convencional	1462.50	12 811 500	** 6 917 656.5
gas	1718.75	15 056 250	8 129 724.6
diesel	390.00	341 600	1 844 708.4
CARBOELECTRICA	13650.00	119 574 000	64 564 794.0
NUCLEOELECTRICA	39000.00	341 640 000	184 470 840.0
GEOTERMICA			
Cerro Prieto	3300.00	28 908 000	15 609 071.0
Los Azufres	825.00	7 227 000	3 902 267.8
HIDROELECTRICA			
Caracol	7543.80	66 083 688	35 682 336.0
Peñitas	10920.00	95 659 200	51 651 835.0
Amistad	627.00	5 492 520	2 965 723.5

\*\* Consumo de Combustóleo

Para el estudio del Beneficio Indirecto se hicieron las siguientes consideraciones:



Equivalencia:

1 barril de combustóleo = 1,852.28 Kwh

1,852.28 Kwh = 1.852 Mwh esto de la relación:

1 Kwh = 0.001 Mwh (Anexo 1)

1000 Kwh = 1 Mwh

Para obtener los valores de la tabla se desarrollaron las siguientes fórmulas:

capacidad de generación total =

capacidad (Mw) x vida económica x factor de planta

( valores tomados de la tabla de Parámetros Básicos para el Cálculo del Costo de Generación 1985, Tabla 2.02 )

capacidad (Mwh) = capacidad (Mw) x 8760 horas/año

número de barriles ahorrados =

capacidad (Mwh) / 1.852 (Mwh/barril)

Analizando la tabla nos damos cuenta claramente de la grandísima diferencia que existe en el ahorro de hidrocarburos con la utilización de una planta nucleoelectrica, esto debido a su gran capacidad de generación a lo largo de su vida útil.

MILLONES DE PESOS POR BARRILES  
 AHORRADOS ANUALMENTE  
 (Beneficio Indirecto)

(Tabla 2.10)

CENTRAL	No. BARRILES EQUIV. ANUALES	\$/BARRIL COMBUSTOLEO (pesos)	(A) MILLONES DE PESOS POR BARRILES AHORRADOS/AÑO
<b>TERMoeLECTRICA</b>			
convencional	230 588	8370	** 1 900
gas	325 189	8370	2 700
diesel	92 235	8370	7 700
<b>CARBOELECTRICA</b>	3 152 159	8370	18 000
<b>NUCLEOELECTRICA</b>	6 000 000	8370	51 500
<b>GEOTERMICA</b>			
Cerro Prieto	780 453	8370	6 500
Los Azufres	195 113	8370	1 600
<b>HIDROELECTRICA</b>			
Caracol	713 647	8370	6 000
Peñitas	1 033 036	8370	8 000
Amistad	59 314	8370	500

\*\* Consumo de combustóleo

(A) Información obtenida de "Precios Internos y Externos de los Principales Energéticos".

Para la obtención de los datos de la tabla anterior se siguió el procedimiento que a continuación se describe:

$$\text{No. DE BARRILES EQUIVALENTES ANUALES} = \frac{\text{No. DE BARRILES EQUIVALENTES}}{\text{VIDA UTIL}}$$

el valor de No. de Barriles Equivalentes se obtuvo de la Tabla 2.09, mientras que la vida útil depende de cada una de las plantas de generación, Tabla 2.02.

En cuanto al precio por barril de combustóleo:

$$\$/\text{BARRIL COMBUSTOLEO} = \frac{\$/\text{LITRO DE COMBUSTOLEO} \times 200 \text{ LITROS}}{\text{POR BARRIL}} = \$ 8370.0$$

teniendo en cuenta la consideración de 200 lts. por barril; el precio del litro de combustóleo se obtuvo de la tabla 2.03.

El cálculo de Millones de Pesos por Barriles Ahorrados Anualmente se obtiene de:

$$\text{MILLONES DE PESOS POR BARRILES AHORRADOS/AÑO} = \text{No. BARRILES EQUIV. ANUALES} \times \$/\text{BARRIL COMBUSTOLEO}$$

Como se aprecia en la tabla anterior, la central nucleoelectrica es la que nos lleva a un mayor ahorro en dinero por la generación de energía eléctrica por medios

diferentes al consumo de hidrocarburos, que en este caso, lo es el combustóleo. De tal forma que el valor de 51,500 millones de pesos anuales ha de ser considerado en la relación Beneficio-Costo como parte importante de los Beneficios Indirectos.

Pudiera pensarse que el ahorro real sería el restar el costo del uranio del costo de hidrocarburos (combustoleo equivalente), más esto no sería verídico, ya que el costo del uranio está considerado en la tabla de Relación Baneficio-Costo Directo, así como en la de Relación Beneficio-Costo Directo sin Subsidio.

Si de la tabla anterior tomamos el valor de millones de pesos ahorrados anualmente (51,500 M\$) y lo multiplicamos por la vida útil de la planta nuclear, tendríamos:

51,500 M\$ x 30 años = 1,545,000 M\$  
 y estos a su vez los dividimos entre la capacidad de producción de la central, obtendríamos como resultado el beneficio por unidad de producción:

$$\frac{1,545,000 \text{ M\$}}{341,640,000 \text{ MWH}} = 0.0045 \text{ M\$/MWH} \quad \text{Tabla 2.09}$$

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

si esta cantidad la convertimos a \$/KWH tendríamos:

$$0.0045 \text{ M}\$/\text{MWH} \times \frac{1,000,000 \text{ \$}}{1 \text{ M}\$} \times \frac{1 \text{ MWH}}{1,000 \text{ KWH}} = 4.5 \text{ \$}/\text{KWH}$$

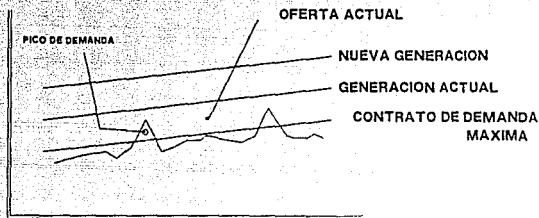
este valor se sumará al beneficio directo más adelante.

#### BENEFICIO INDIRECTO A TRAVES DE LA INDUSTRIA. (IMPUESTOS)

En nuestro país la industria, en cuanto a consumo de energía eléctrica, opera bajo un "Contrato de Demanda Máxima", (diaria), en el cual se especifica la cantidad de energía máxima disponible para la operación de ésta.

Esta demanda máxima suele ser menor al pico de consumo de la empresa en cuestión, lo que lleva al establecimiento de procedimientos de operación para no sobrepasar el valor de demanda máxima. En el caso de sobrepasar este valor, la Compañía de Luz y Fuerza, solicita a la empresa renovar el contrato por una demanda máxima mayor, lo cual implica un muy alto costo, debido a las modificaciones y adaptaciones

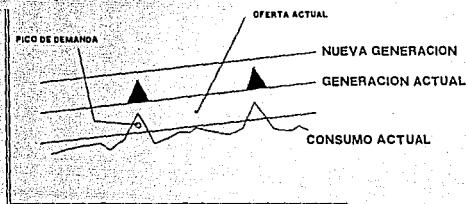
necesarias para recibir un mayor voltaje, costo que se verá reflejado en los precios.



En esta gráfica vemos que la demanda máxima es menor que la producción actual, pero se distingue que los picos de demanda máxima sobrepasan el Contrato de Demanda Máxima, razón por la cual C.F.E. necesita mayor producción para poder sobre llevar el crecimiento que exige la industria.

México actualmente puede producir más que lo que consume; la diferencia que existe entre producción y consumo es la energía disponible para fomentar el desarrollo en otros campos, por lo tanto si esta cantidad de oferta se ve reducida por un pico de consumo, habrá que reemplazar esta cantidad con la producción

de nuevas plantas generadoras, para poder mantener una oferta constante como mínimo para nuevos desarrollos.



Entrando a un ejemplo práctico para mostrar lo anterior y dejar una base para estudios más profundos en el análisis de beneficios indirectos, utilizaremos datos de una empresa del ramo metalmecánica:

(A)

Datos de 1989.

Contrato de Demanda Máxima	14 mil Kwh
Picos de Demanda Máxima	17 mil Kwh
Nuevo Contrato de Demanda Máxima	17 mil Kwh
Diferencia entre contratos	3 mil Kwh
Consumo de energía por tonelada producida	1087 Kwh/ton
Producción anual en toneladas 1989	22.2 ton/día
* Utilidad anual 1989	6500 millones de pesos

(A) Datos de procedencia Anónima.

Como bien se sabe los impuestos se obtienen directamente de la utilidad de una empresa, de tal forma que al considerar un incremento en el Contrato de Demanda Máxima (17,000 KWH), obtendremos un incremento en Utilidad Anual y por lo tanto en los impuestos.

(Pesos 1989)

UTILIDAD	6,500 Millones de Pesos	.....	14,000 KWH
	X	.....	17,000 KWH

por regla de tres:

$$\frac{17,000 \text{ KWH} \times 6,500 \text{ M\$}}{14,000 \text{ KWH}} = 7892.8 \text{ M\$}$$

utilidad sobre Nuevo Contrato de Demanda = 7892.8 M\$

( M\$ = Millones de pesos )

con este dato podemos deducir el incremento en Utilidades Anuales:

Utilidad con Nuevo Contrato - Utilidad con Contrato Anterior =

$$7892.8 \text{ M\$} - 6500.0 \text{ M\$} = 1392.8 \text{ M\$}$$

con la consideración de un 42 % de impuestos anuales, tendremos



un incremento en impuestos anuales de:

$$1392.8 \text{ M\$/año} \times 0.42 = 584.97 \text{ M\$/año} \quad (\text{año 1989})$$

Este valor se encuentra en pesos constantes de 1989, por lo que es necesario deflactarlos o desescalarlos a 1985, teniendo las siguientes inflaciones:

AÑO	INFLACION % <sup>(4)</sup>	DEFLACTOR
1989	19.00	1.190
1988	51.70	1.517
1987	159.20	2.592
1985	105.70	2.057

$$584.97 \text{ M\$} / 1.19 / 1.517 / 2.592 / 2.057 = 60.77 \text{ M\$} \quad (1985)$$

por concepto de impuestos se recaudarian 60.77 M\$ anuales en esta empresa del ramo metalmecánica.

Si se considera que esta empresa representa el 80% del total de empresas del ramo metalmecánica, obtendremos un total de impuestos sobre este ramo de:

$$\begin{array}{r} 60.77 \text{ M\$} \dots\dots\dots 80 \% \\ X \dots\dots\dots 100 \% \end{array}$$

(4) ANEXO 2.

X Impuestos sobre el ramo Metalmecánico = 75.96 M\$/año

Este tipo de industria Metalmecánica equivale a las Industrias Básicas de Metales No Ferrosos, la cual puede tener una participación del 3.6 % aproximada sobre la venta de insumo de la Industria Generadora de Electricidad, de tal forma que con fines prácticos de éste trabajo, podemos proponer lo siguiente en cuanto a recaudación de impuestos:

CONCEPTO	IMPUESTOS ANUALES	PARTICIPACION
Industria Básica de Metales no Ferrosos	759.62 M\$	3.6 % (A)
75.96 M\$	.....	3.6 %
X	.....	100.0 %
X =	2,110.00 M\$/año	

siendo " X " los impuestos anuales sobre la Utilidad de la Industria en el área de influencia de la central nucleoelectrónica.

Por otra parte tendremos que los impuestos sobre la

(A) Dato tomado de "El Sector Eléctrico en México".

Utilidad de la Industria en el Area de Influencia durante la vida útil de la central será:

$$2,110.00 \text{ M\$/año} \times 30 \text{ años} = 63,301.50 \text{ M\$}$$

Si de la tabla de Barriles de Combustoleo Equivalentes por Otro Tipo de Generación, Tabla 2.09, tomamos el valor de la Capacidad en MWH, al realizar la siguiente operación obtendríamos el beneficio de impuestos por Unidad de Producción, (KWH):

Incremento en Impuestos a lo largo de la Vida Util =

Capacidad de producción en MWH

$$\frac{633,015.00 \text{ M\$}}{341,640,000} = 0.00018 \text{ M\$/MWH}$$

341,640,000

este valor convertido a \\$/KWH :

$$0.00018 \text{ M\$/MWH} \times \frac{1 \text{ MWH}}{1000 \text{ KWH}} \times \frac{1,000,000 \text{ \$}}{1 \text{ M\$}} = 0.18 \text{ \$/KWH}$$

por lo tanto este beneficio indirecto se sumará al beneficio directo más adelante:

$$0.18 \text{ \$/KWH}$$

## BENEFICIO SOCIAL (Beneficio Indirecto).

Por otra parte se pueden analizar los beneficios sociales indirectos, como lo sería, el dar una mayor educación a alguna comunidad; esto enfocado a la necesidad de mejorar los servicios de educación en la zona aldeaña a la central nucleoelectrica, en la que se espera una mayor población estudiantil. Este análisis se puede llevar acabo desde diferentes puntos de vista, como los son:

EDUCACION            Fuente de trabajo

- \* maestros
- \* personal de limpieza y mantenimiento
- \* personal para construcción, etc.

Desarrollo de pequeño comercio

- \* papelería
- \* uniformes, etc.

Educación como índice de remuneración

Otros.

Para este estudio se analiza con fines ejemplificativos, el beneficio monetario que se obtiene al tener un mayor nivel de educación, para esto se presenta la siguiente tabla:

(Tabla 2.11)

NIVEL DE EDUCACION	SALARIO MINIMO	EMPLEO
nulo	menos del S.M.	subempleo
primaria	1	obrero
secundaria	1.5 - 2.5	capataz
preparatoria	3 - 4	jefatura
		nivele intermedio
profesional	4 - ...	niveles superiores

En la zona de Laguna Verde se prevé un incremento importante en cuanto a educación primaria y secundaria se refiere. Por otra parte se realizó la siguiente consideración:

(Tabla 2.12)

PERIODO	PORCENTAJE	100 ALUMNOS
primaria terminada	80 %	80
secundaria terminada	70 %	56
preparatoria terminada	30 %	17
profesional terminada	30 %	5

(Tabla 2.13)

EMPLEO	No. ALUMNOS	SALARIO MINIMO
subempleo	20	menor
obrero	24	1
capataz	39	2
nivel intermedio	12	3.5
nivel superior	5	5

De aquí podemos deducir además del beneficio de obtener una mayor remuneración a partir de la educación recibida, otros beneficios como lo sería el pago de impuestos de aquellos salarios mayores al mínimo, un mejoramiento en el nivel de vida debido a una mejor economía, ahorro, etc. De la tabla anterior observamos que la percepción aumenta en un 100 % mínimo pasando de un nivel de educación a otro, habiendo que descontar los impuestos para conocer el incremento real.

Para este estudio los conceptos a analizar dentro del beneficio indirecto son aquellos que repercuten dentro del valor de la relación beneficio-coste; los conceptos analizados en lo que se refiere a educación son la aportación de impuestos por concepto de percepción de sueldos y el rendimiento del dinero a través del ahorro.

Las consideraciones para este análisis se hacen a 1985, y

suposiciones con fines de establecer una base sujeta a revisión, de tal forma que éstos valores se acerquen a la realidad lo más exacto posible.

#### CONSIDERACION DE SALARIO.

SALARIO MINIMO PROMEDIO A 1985 = 1,729.16 pesos. (4)

(Tabla 2.14)

EMPLEO	No. DE ALUMNOS	No. SALARIOS	\$/DIARIOS
Subempleo	20	0	0.00
Obrero	24	1	1729.16
Capataz	39	2	3458.32
Nivel intermedio	12	3.5	6052.06
Nivel superior	5	5	8645.80

(4) ANEXO 2.

**IMPUESTOS SOBRE REMUNERACIONES ANUALES**  
(Tabla 2.15)

EMPLEO	\$ MENSUAL	\$ ANUAL	IMP.ANUAL %	\$IMPUESTO
Subempleo	0.00	0.00	0	0.0
Obrero	51874.8	622487.6	0	0.0
Capataz	103749.6	1244995.0	11	136949.4
Nivel inter.	181561.8	2178741.0	25	544685.4
Nivel super.	259384.0	3112488.0	35	1089370.8
<b>TOTAL DE IMPUESTOS ANUAL</b>				<b>1'771,005.6</b>

**PRODUCTO DE AHORRO ANUAL**  
(Tabla 2.16)

EMPLEO	\$ ANUAL	% AHORRO	MULTIPLICADOR DE INVERSION	\$ TOTAL INVERSION
Subempleo	0	0	0	0.0
Obrero	622497.6	0	0	0.0
Capataz	1244995.0	5	4	221609.12
Nivel inter.	2178741.0	15	4	980433.36
Nivel super.	3112488.0	25	4	2023177.20
<b>TOTAL DE PRODUCTO POR AHORRO ANUAL</b>				<b>3'225,159.68</b>



De éstas dos tablas podemos conocer el impacto que se tendrá tanto por concepto de impuestos como por el producto de ahorro, esto es:

Impuestos sobre remuneraciones anuales	1,771,005.6 \$/año
Producto por ahorro anual	<u>3,225,159.6 \$/año</u>
TOTAL ANUAL	4,996,165.20 \$/año

considerando la vida útil de la central nuclear de 30 años:

$$2,097,816.8 \text{ \$/año} \times 30 \text{ años} = 149,884,950.00 \text{ \$}$$

si esta cantidad la dividimos entre la capacidad de producción de la planta, obtendremos el beneficio por unidad de producción:

capacidad de producción = 341,640,000 MWH (tabla 2.N)

$$\frac{149,884,950.0 \text{ \$}}{341,640,000 \text{ MWH}} = 0.43 \text{ \$/MWH}$$

haciendo la conversión a \$/KWH :

$$0.18 \text{ \$/MWH} \times \frac{1 \text{ MWH}}{1000 \text{ KWH}} = 0.00043 \text{ \$/KWH}$$

de tal manera que el beneficio social a sumar al beneficio directo será de :

0.00043 \$/KWH

Este valor es realmente bajo en comparación con los valores obtenidos tanto en el estudio de el ahorro de hidrocarburos como en el de la industria, siendo oportuno aclarar que existen actividades como construcción de la escuela, el cuerpo docente, mantenimiento de la infraestructura, etc., que producen beneficios indirectos, a si como causan costos indirectos también que harían que la cantidad de 0.00043 \$/KWH se viera incrementada, más no es el objetivo de éste trabajo el analizar todos los beneficios indirectos involucrados.

Una vez teniendo valores de beneficios indirectos obtenidos a través de la educación, se procede a realizar un resumen de todos aquellos beneficios indirectos valuados hasta el momento.

RESUMEN DE BENEFICIOS INDIRECTOS ESTUDIADOS  
(Tabla 2.17)

CONCEPTO	BENEFICIO \$/KWH	COSTO \$/KWH
AHORRO DE COMBUSTOLEO	4.50	0.0
EMPRESA METALMECANICA		
Impuestos sobre Utilidad por incremento de Contrato de Demanda Máxima.	0.18	0.0
EDUCACION		
Impuestos + Ahorro	0.00043	0.0003
TOTAL	4.68043	0.0003

La razón por la cual el costo por concepto de ahorro de combustoleo es 0.0, es debido a que el costo del uranio como combustible ya se considero en las Relaciones Beneficio-Costo; por otra parte, se considero como concepto de estudio el AHORRO de combustible, mas no la inversión probable con este ahorro de combustible. En cuanto al costo para los impuestos sobre las utilidades de la industria metalmeccánica, se considera 0.0 ya que para llegar al valor de las utilidades se restan los costos de los baneficios. El costo para el ejemplo de Educación se calculó suponiendo un 70 % sobre el beneficio.

Por otra parte se considerará la relación Beneficio-Costo sin Subsidio, ya que esta es la que realmente se debe comparar contra otros proyectos de inversión, de tal forma que tenemos:

COMPARACION DE RELACIONES BENEFICIO-COSTO  
PARA NUCLEOELECTRICAS  
(Tabla 2.18)

---

	Beneficio Costo Directo con Subsidio	Beneficio Costo Directo sin Subsidio
EUA media	0.41	1.38
EUA optimista	0.68	2.28
Francia	0.80	2.69
	-----	-----
PROMEDIO	0.63	2.11

---

Notamos que el subsidio en nuestro país a la energía eléctrica es realmente importante y que afecta fuertemente la bondad de los proyectos de inversión en cuanto al sector eléctrico se refiere.

Ahora si sumamos el beneficio y costos indirectos calculados en éste trabajo al beneficio y costo sin subsidio tendremos:

BENEFICIO DIRECTO SIN SUBSIDIO + INDIRECTO ESTUDIADO / COSTO  
(Tabla 2.19)

	BENEFICIO \$/kwh	COSTO \$/kwh
Nucleoeléctrica sin subsidio. Promedio	29.47	15.04 *
Beneficios indirectos estudiados (tabla 2.17)	4.68043	0.0003
	<u>34.15043</u>	<u>15.0403</u>

$$34.15043 / 15.0403 = 2.27$$

RELACION BENEFICIO DIRECTO+INDIRECTO ESTUDIADO / COSTO = 2.27

\* Dato obtenido de la tabla 2.05

Se observa que la relación Beneficio-Costo incrementa de 2.11 a 2.27 al sumar los beneficios indirectos estudiados, lo que nos da un incremento del 7.5 % únicamente considerando los impuestos sobre utilidad de la Industria, ahorro de hidrocarburos (combustible) y una parte muy pequeña en cuanto a educación se refiere.

Tanto la agricultura como la ganadería se prevé que se beneficiaran debido al mejoramiento de las vías de comunicación

terrestre, razón por la cual no han sido objeto de este estudio, ya que el mejoramiento de los caminos de acceso a la central nuclear se considera como actividades indirectas a la producción de energía eléctrica, de tal forma que para ser analizada se seguiría la metodología hasta ahora descrita para el estudio tanto de beneficios como de costos indirectos.

Con estos ejemplos se deja una base de análisis para la evaluación de beneficios indirectos, la cual pudiera o debiera ser revisada a fondo para poder llegar a la cuantificación de todos aquellos beneficios indirectos significativos para ser tomados en cuenta junto con el valor del beneficio directo sin subsidio para poder valorar todo el proyecto de la central nuclear, sin olvidar que habrán de evaluarse los costos que nos llevan a obtener un beneficio, ya sea directo o indirecto. Una vez evaluado el proyecto de la central nuclear se valorará para poder ser comparado contra otros proyectos de inversión y así justificar la realización o no de determinado proyecto.

## CENTRALES NUCLEARES Y SU IMPACTO REGIONAL

Los aspectos económicos de la utilización de la energía nuclear han recibido sólo un poco de atención del esfuerzo total dedicado a este tema. Esto se debe en parte a la dificultad real de predecir los posibles impactos de un sector cuya tecnología se encuentra en desarrollo en nuestro país. Para realizar esta parte del estudio nos basamos en las experiencias obtenidas en la República Argentina, ya que cuenta en la actualidad con varias plantas nucleares, y por otra parte posee documentación e información del impacto que se ha tenido en las regiones influenciadas por las plantas nucleoelectricas.

En nuestro país se conoce la metodología a seguir en lo que se podría llamar "Evaluación Social", pero al estar hablando de la primera planta nuclear en nuestro territorio, sería aventurado, pero necesario, el predecir el impacto que esta tuviera en la región sin tener alguna base o antecedentes confiables ; por ello es que consideramos apropiado utilizar y aplicar la experiencia obtenida en Argentina.

La integración económica y social de las actividades nucleoelectricas con las preexistentes en cada localización

exige afrontar a nivel estatal y municipal acciones de desarrollo integral y microplanificación en los siguientes campos:

planeación urbana; construcción de viviendas; obras públicas urbanas: pavimentación, electrificación, escuelas, atención sanitaria, comunicaciones, etc.; estímulo al comercio y manufactura de pequeña escala para abastecimiento local; desarrollo de comunidad, a fin de integrar desde el punto de vista social el nuevo grupo humano con la población existente; desarrollo turístico, etc.

La planeación de la infraestructura de cada proyecto de central nucleoelectrica debería ser realizado conjuntamente por las autoridades regionales competentes y C.F.E. a fin de maximizar los efectos benéficos y evitar eventuales prejuicios a las posibilidades de desarrollo local.



## REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA ECONOMICA PARA CONSTRUIR CENTRALES NUCLEARES.

### Transporte.

Para construir centrales nucleares se requiere capacidad para transportar los equipos que forman parte de la obra, algunos de los cuales llegan a pesar de 300 a 400 toneladas, como es el caso del recipiente de presión. Por otra parte es esencial para toda obra el tener el tipo de transporte adecuado para no afectar tanto en costos como en tiempo de realización de ésta. Para el tipo de central nuclear como Laguna Verde se requieren instalaciones portuarias y de transporte terrestre de gran capacidad de carga pesada; siendo también de gran uso e importancia el ferrocarril, pero no indispensable.

Tomando en consideración lo anterior, las vías de comunicación terrestre deberán de ser mejoradas y reforzadas, ya que la gran mayoría, sino que en su totalidad de los materiales de construcción y algunos equipos serían transportados por vía terrestre. Este mejoramiento requiere de otras obras complementarias, como lo son ensanches de curvas y carpetas nuevas, ensanches en las poblaciones y puertos obras de drenaje y estabilidad de taludes si fuese

necesario, señalización, etc., lo que significaría la apertura de caminos adecuados para el tránsito pesado; esto nos enfoca directamente a la implementación de programas de mantenimiento durante la construcción y puesta en operación de la planta, por otra parte posiblemente implique la construcción de nuevos caminos.

Una vez mejorados los caminos y con nuevas vías de comunicación por vía carretera no es difícil de esperar a que se vean incrementados el número de vehículos y de viajes en la localidad, previendo un incremento del 80% en el número de vehículos y de un 500 al 1000 % en taxis y transporte público.

#### Energía.

Las centrales nucleares requieren una línea de alta tensión para abastecer sus propias necesidades de energía y otra línea de alta tensión para enviar la energía producida. La línea de entrada abastece las necesidades de la obra. Una vez finalizada esta, dichas instalaciones podrían ser utilizadas por la industria; industria que en un principio es la que demanda la energía eléctrica, en la zona conectada a la línea de transmisión, a la cual se incorporara la planta nuclear; se espera que esta industria crezca una vez terminada la nucleoelectrónica. Se hace la consideración de que se

necesitará aproximadamente un 20 % más sobre el autoconsumo durante la construcción, esto es:

Autoconsumo = 4.5 % sobre la capacidad de la central

Capacidad de la central = 39,000.00 MW ó 341,640,000 MWH

Autoconsumo = 39,000.00 MW x 0.045 = 1,755.0 MW

Por lo que de aquí podemos hacer la suposición que una vez terminada la construcción de la central nuclear, quedarán disponibles para la industria, seguramente local, 1,755 MW.

#### Comunicaciones.

Las centrales requieren entre 5 y 10 líneas telefónicas y de 1 a 3 de telex. Cabe resaltar que, a pesar del escaso número de líneas necesarias para comunicarse con distintas regiones del país, la instalación de centrales nucleares puede incentivar la modernización de las comunicaciones de la zona, si ello motiva una ampliación o mejora de las instalaciones de la central telefónica local.

#### REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA SOCIAL.

#### Vivienda.

El personal que trabaja en las centrales puede alojarse a

distancias variables de la mismas, a excepción de el grupo de supervisión durante la construcción y el montaje, y el personal jerárquico que deben tener facilidades para un rápido traslado a la planta. El resto del personal no tiene restricciones en cuanto a la ubicación de su vivienda.

La central deberá proveerse de:

- 1.- Un grupo de viviendas que será ocupado por el grupo de supervisión durante la construcción y que posiblemente después pudiera ser utilizadas por el grupo jerárquico durante la operación de la planta.
- 2.- Viviendas para el personal necesario de la operación de la central.
- 3.- Viviendas para los técnicos extranjeros que participan en la instalación y puesta en marcha de la planta.
- 4.- Viviendas para el personal transitorio que participa en la instalación de la central.
- 5.- Servicios urbanos, comercio e industrias necesarias par la población mencionada.

Estas viviendas se pueden unir en uno o varios campamentos y de esta forma tratar de evitar los asentamientos horizontales a lo largo de las vías de comunicación terrestre, ya que estas resultan un problema serio tanto técnico como

económico, esto debido a su amplia distribución de servicios.

( En la planta nucleoeléctrica de Laguna Verde se optó por localizar varios campamentos en su alrededor).

#### Salud.

Toda obra de gran envergadura requiere facilidades sanitarias para la atención de su personal. Considerando que las centrales suelen localizarse a cierta distancia de las ciudades, la obtención de asistencia sanitaria se constituye en uno de los problemas característicos desde la etapa de construcción de la planta.

Por otra parte la demanda indirecta de facilidades sanitarias, emergente de los familiares de los trabajadores de la central, también requiere la atención adecuada, convirtiéndose en un prerequisite para la radicación de técnicos y profesionales de la zona.

#### Educación.

Las necesidades de educación se derivan fundamentalmente de las familias de los trabajadores de la construcción y empleados para la operación de la central. Otro prerequisite, sería la implementación de escuelas primaria y secundaria,

que logicamente sería un beneficio indirecto para la zona. Además la población dentro de la zona de influencia se instruirá de todo aquello que es una central nucleoelectrica, su alcance y se les incluirá dentro de un plan de emergencia.

Asistencia social y microplaneación.

Uno de los problemas subyacentes en obras tales como las centrales nucleares es la clara diferenciación entre su personal y los habitantes del lugar. Esto debe ser considerado en los planes urbanos y sociales de las localizaciones de futuras centrales , pues debe evitarse en lo posible el establecimiento de barreras, ya sea por idioma, ubicación, etc.

#### REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA.

Las centrales nucleares presentan dos etapas claramente distintas en cuanto a requerimientos de personal:

- a) el período de construcción y montaje
- b) el período de operación

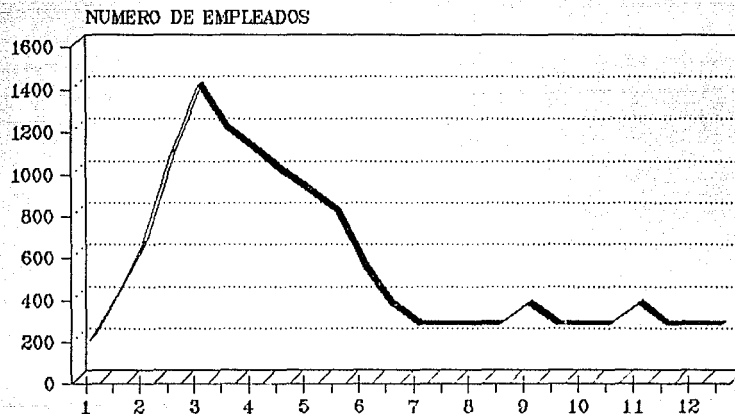
El periodo de construcción y montaje normal es de seis años, abarca desde los primeros trabajos en el lugar, hasta que la planta empieza a funcionar. Durante este período la ocupación de personal cumple un ciclo que parte practicamente de valores nulos, y llega a un máximo hacia el tercer año y

luego decée nuevamente hasta alcanzar los valores correspondientes al personal de operación.

El periodo de operación se inicia con la entrega regular de energía de la central a la red de distribución y se prolonga a través de la vida útil de la misma ( 30 años ). En este periodo las necesidades de personal son constantes ( 250 - 300 personas ) y sólo en los periodos de mantenimiento preventivo de las instalaciones ( uno o dos meses cada dos años ), en los que la central se detiene, es necesario contratar personal adicional (alrededor de 100 personas ) en forma transitoria.

Grafica de Personal Ocupado en una Central Nuclear.

# GRAFICA DE PERSONAL



■ ANOS CONSTR. / OPER.



## POSIIBLES IMPACTOS SOBRE LA ZONA

Basandonos en experiencias de plantas nucleares de la Argentina podemos darnos cuenta que la población se ve afectada en su crecimiento demográfico, previendo un crecimiento anual del orden del 8 al 9% anual, en la zona de influencia de la planta de Laguna Verde. Por otra parte, como ya se mencionó con anterioridad, se tiene en vista un importante crecimiento en cuanto al transporte local, ya que necesariamente deberá existir un numero mayor de viajes al día entre la planta y lugares aledaños y estos con otras zonas con las cuales se necesita tener contacto para satisfacer un nuevo rango de actividades locales. El campo de la educación seguramente se verá beneficiado, ya que se necesitará de escuelas primarias y secundarias, dejando la educación media y superior a comunidades mayores. En cuanto a servicios de salud se refiere, se verán beneficiados en forma obligatoria, ya que la comunidad local afrontará un cambio importante en cuanto a demanda de este servicio y en cuanto al tipo especializado de servicios. El sector comercio crecerá, pero no lo hará en una forma parecida al transporte, éste crecerá en forma más pequeña, ya que se necesitarán comercios del tipo de farmacias,

expendios de combustible, hotelería, expendios de artículos de consumo durable y semidurable, etc.

El impacto laboral se reflejará principalmente en dos formas, siendo la primera la vivienda, la cual se prevee sea incrementada, esperando que el 38% del personal por laborar en la central se instale fuera de los campamentos, mientras que el resto permanezca en las instalaciones destinadas a vivienda dentro de la central. La segunda, se refiere al tipo de servicios que requerirá la planta, como lo son limpieza, jardinería, vigilancia, etc., los cuales abrirán fuentes de trabajo para la gente oriunda.

El impacto económico tendrá como principal indicador aquel en el que se espera que el 70% del total de las remuneraciones emanadas de la central nucleoelectrónica se gasten en la localidad. Todo esto basado en comparaciones aplicables a nuestro país apartir de estudios realizados en Argentina.

Recordemos que todos estos beneficios implican un costo, el cual ha de tomarse en cuenta.

## RESULTADOS ESTADISTICOS

La Planta Nucleoeléctrica de Laguna Verde se encuentra en el estado de Veracruz, en el municipio de Alto Lucero, la información obtenida tiene su origen en los últimos censos estatales.

ALTO LUCERO. Superficie 725.48 km<sup>2</sup>  
Altitud 1100.00 MSNM.  
Representa el 1.0 % de la superficie del estado.

### ACTIVIDAD AGRICOLA.

superficie sembrada y cosehada. Hectareas.

1984-1985

año	superficie	
	sembrada	cosehada
1984	3761	3761
1985	4591	4591

(3) ANEXO 2.

Superficie cosechada y rendimiento de los principales cultivos en riego y temporal.

AÑO	CULTIVO	SUPERFICIE COSECHADA (hectareas)		RENDIMIENTO (Kg/ha)	
		riego	temporal	riego	temp.
1984	frijol	0	215	0	535
	jitomate	3	65	10333	3615
	maiz	4	3474	3000	1630
1985	frijol	0	499	0	586
	jitomate	65	93	10447	6000
	maiz	0	3934	0	641

Superficie irrigada.

año	superficie
1984	7 ha.
1985	65 ha.

Precio medio rural de los principales productos  
agricolas. (\$/Ton.)

producto	año	
	1984	1985
frijol	40701	103490
jitomate	26850	72130
maiz	33760	48330

ACTIVIDAD GANADERA.

Existencias ganaderas por especie. (cabezas)

año	bovino	porcino	caprino	ovino
1984	3552625	305217	416687	271182
1985	3552625	1408589	416037	326624

#### ACTIVIDAD PESQUERA.

Volumen de explotación pesquera por oficina.  
(toneladas)

oficina	1984	año	1985
Nautla	1405		2332
Veracruz	4633		3364

#### ACTIVIDAD FORESTAL.

Practicamente esta actividad no se realiza en este municipio.

#### ACTIVIDAD TURISTICA.

Sitios turísticos.

Cuenta con manantiales, ríos, saltos y cascadas, zona montañosa, sitio arqueológico y fiesta religiosa.

**Establecimientos y habitaciones.**

		<b>hoteles</b>	<b>habitaciones</b>
<b>1985-86</b>	<b>3 estrellas</b>	<b>1</b>	<b>15</b>
	<b>1 estrella</b>	<b>2</b>	<b>58</b>
	<b>total</b>	<b>3</b>	<b>73</b>
<b>1986-87</b>	<b>2 estrellas</b>	<b>1</b>	<b>15</b>
	<b>1 estrella</b>	<b>2</b>	<b>58</b>
	<b>clase econom.</b>	<b>2</b>	<b>18</b>
	<b>total</b>	<b>5</b>	<b>91</b>

**ANEXO 2.**

**(1) ISOTOPO.**

Son aquellos átomos que tienen un menor o mayor número de neutrones en su núcleo, lo que hace que su peso atómico aumente o disminuya, conservándose casi todas sus características químicas.

(2) Toda la información para la elaboración de subcapítulo de "Requerimientos de Infraestructura Económica para Construir Centrales Nucleares", pertenece al documento "Centrales Nucleares en la República Argentina, su Tecnología y su impacto Regional".

(3) Toda la información que conforma los "Resultados Estadísticos" pertenece al "Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1987".

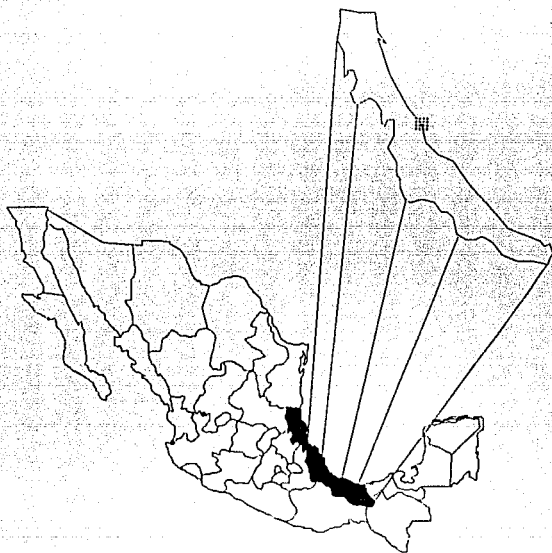
(4) Datos pertenecientes a "Proyecciones CIENEX-WHARTON"

(5) Datos de "Precios Internos y Externos de Referencia de los Principales Energéticos. Período 1970-1987".



CAPITULO 3

LOCALIZACION DEL SITIO



### CAPITULO 3.

#### LOCALIZACION DEL SITIO

##### GENERALIDADES.

En este capítulo se analizan todos aquellos estudios técnicos que nos llevan a la localización del sitio que cumpla en una mejor forma con los requerimientos para la construcción y puesta en operación de una central nucleoelectrica, enfocando el estudio a los resultados que llevaron a la construcción de la Planta de Laguna Verde.

Se describirá la metodología adoptada por CFE para localizar, evaluar y seleccionar sitios para establecer centrales nucleoelectricas. Esta metodología no representa el único camino a seguir para la aplicación de Criterios Generales y Consideraciones en cada una de las cuatro etapas en el que el Procedimiento General de Selección de Sitios, del Departamento de Investigaciones Nucleares, divide el proceso que nos lleva a la selección del sitio o sitios ideales.

No existe una forma universal mediante la cual puedan insertarse datos objetivos y obtener un valor numerico con el que se determine el nivel de aceptabilidad o rechazo de un

determinado sitio. Tampoco existe un método que sea superior o inferior a otro.

La elección del método de aplicación puede derivarse de las características regionales o locales, generales o particulares de cada sitio en estudio; de la disponibilidad de información, de las políticas de la empresa, incluyendo alcances económicos, de los requisitos regulatorios y hasta del juicio particular del personal que está involucrado en el proceso.

Durante las primeras etapas del proceso de selección, el análisis de la información tiene por objeto determinar si los sitios satisfacen ciertos criterios absolutos de aceptabilidad, después, en la evaluación se estrecha el conjunto de opciones iniciales y se seleccionan los sitios y se rechazan aquellos que presenten detalles que impidan la factibilidad técnica, se consideran aquellos que ofrecen más ventajas y en donde no es posible encontrarlas, se adapta la ingeniería a las circunstancias que nos son propicias. Serán pocos los sitios que satisfagan por completo los esquemas de aceptabilidad planteados por el grupo de selección de sitios.

La metodología aplicable en México tal vez pueda diferir en relación con las metodologías aplicadas en otros países en el aspecto técnico-administrativo dado que, parten de organizaciones

distintas a la nuestra; en donde no hay variaciones notables es en el aspecto puramente técnico ya que la gran mayoría de los países que utilizan la energía del átomo para la producción de electricidad son miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica, hecho que representa tener que aceptar determinados lineamientos de seguridad similares para cualquier país miembro, aplicables a través de su órgano regulador.

#### CRITERIOS EN LA ESTRUCTURACION GENERAL.

Los criterios que deben tomarse en cuenta durante el proceso de localización, evaluación y selección de sitios para plantas nucleares son:

- 1.- técnico-económico
- 2.- ambientales
- 3.- socio-políticos

Técnico-económicos.- Se consideran representadas principalmente, las características físicas del sitio, desde el punto de vista de la seguridad y el costo. De los criterios técnico-económico se fundamentan determinadas consideraciones que deben tener en cuenta las especialidades que intervienen en el proceso; estas son:

topografía  
geología  
geofísica  
sismología  
geohidrología  
hidrología  
oceanografía  
meteorología  
líneas de transmisión  
instalaciones diversas

Ambientales.- Se fundamentan determinadas consideraciones que tienen relación con las características naturales del sitio y que proporcionan las bases para efectuar el monitoreo del medio ambiente, tanto para el proceso de selección como durante la vida útil de la central, con objeto de verificar que no sean excedidos los límites establecidos en las regulaciones aplicables o los considerados en el diseño de la central y se pueda provocar algún peligro en el hombre y en el medio ambiente, evitando, a la vez, que el propio medio afecte a la central.

Las especialidades que intervienen en el proceso deben tener en cuenta consideraciones tales como:

Fenómenos de difusión atmosférica

Fenómenos meteorológicos severos

Calidad del agua superficial y subterránea, marítima

Ecología, etc.

Socio-políticos.- Estos aceptan consideraciones que de tenerse en cuenta en el proceso de localización de sitios, pueden evitar fenómenos que alteran el medio social debido a la instalación de una central nucleoelectrica en un sitio dado; previenen, también, fenómenos que se presentan durante la construcción de la misma central.

Las consideraciones que intervienen en el criterio socio-político son, entre otras:

Demografía: densidad de población, distancias a centros de población, proyecciones de crecimiento, infraestructura social, etc.

Usos de Tierra y Agua: tipo y producción agrícola y ganadera, minas, bosques, etc.

Sitios Históricos, Arqueológicos, Turísticos, etc.

Las actividades de localización, evaluación y selección de sitios para centrales nucleoelectricas se desarrollan a través de

la utilización de Procedimientos, que son elaborados con apego a los criterios técnico-económicos, ambientales y socio-políticos, aplicándose estos en cada especialidad involucrada en dicho proceso.

Con el objeto de obtener datos para diseño, así como los permisos de construcción y operación de la instalación, las actividades a efectuar en los sitios se deben hacer de acuerdo con los requerimientos específicos propuestos por CFE, según el tipo de central a instalar, teniendo en cuenta lo establecido en leyes, códigos, normas y guías adoptadas por el organismo regulador mexicano, (CNSNS).

#### PROCESO DE LOCALIZACION

El proceso de localización, evaluación y selección de sitios se inicia, con el reconocimiento de la necesidad de capacidad de generación, adicional a la que se tiene, y concluye con la selección de un sitio definitivo, al cual se le adjunta toda la información necesaria para iniciar una ingeniería preliminar y para lograr el permiso de construcción.

En este trabajo se manejan términos que relacionados con la localización de sitios, adquieren un significado muy particular, como lo son:

**Regiones.-** Son aquellas porciones geográficas en que la Gerencia de Estudios de CFE divide el territorio nacional para ejercer sus actividades de planeación del crecimiento del Sector Eléctrico.

**Zonas.-** Son grandes áreas de terreno comprendidas dentro de una region geográfica asignada por CFE.

**Sub-zonas.-** Son superficies de terreno dentro de una zona en la que puede localizarse uno o más sitios preliminares.

**Sitio.-** Es el terreno dentro de una sub-zona, el cual presenta características adecuadas para la ubicación de una central nuclear.

#### SECUENCIA DE ACTIVIDADES.

El procedimiento general de Selección de Sitios seguido por CFE centrales nucleares se divide en cuatro etapas, con estudios progresivos, estas son:

ETAPA 1 : Selección de sitios preliminares

ETAPA 2 : Selección de sitios tentativos

ETAPA 3 : Selección de sitios candidatos

ETAPA 4 : Selección de sitios definitivos



#### ETAPA 1. SELECCION DE SITIOS PRELIMINARES.

La Gerencia de Estudios de CFE basada en el Programa de Expansi3n del Sector El3ctrico, (PESE), y en el Programa de Obras de Inversiones del Sector Electrico, (POISE), proporciona las proyecciones de crecimiento del Sector El3ctrico Nacional en las diferentes regiones geogr3ficas del pa3s. Da instrucciones al Departamento de Ingenieria Nuclear, con la finalidad de que se efect3en estudios para Selecci3n de Sitios para Centrales Nucleoel3ctricas; proporcionandole datos generales, estos son:

- a) Regi3n geogr3fica de inter3s. Esta comprende un radio de 200 km. aproximadamente, a partir de un punto de referencia previsto.
- b) Capacidad y tipo de central. La capacidad esta dada en MW., y esta dada en funci3n de la cantidad de unidades de generaci3n y de la capacidad de cada unidad.
- c) Fecha de entrada de operaci3n.
- d) Centros de consumo. Los n3cleos de consumo hacia los cuales esta destinada la producci3n, incluyendo la ubicaci3n de las l3neas de transmisi3n existentes dentro de la regi3n geogr3fica de inter3s o las m3s cercanas al punto de referencia.

Los estudios o actividades a realizar en esta etapa comprenden estudios de zonas, sub-zonas y sitios, para definir y elegir los sitios preliminares. Comprende la selección de proyectos en primera instancia, sobre planos topográficos, que generalmente son a escala 1:50,000. Se eligen sitios, mismos que son inspeccionados y visitados en forma breve. Durante la inspección se busca identificar características que impidan la factibilidad técnica del proyecto. Para finalizar esta etapa se clasifican los proyectos por su relación beneficio-costo, desechándose los que no resulten factibles desde un punto de vista económico. Las principales actividades durante la determinación de los sitios preliminares están encaminadas a identificar las características sobresalientes de la región. Esta se evalúa a través de la aplicación de los criterios generales permitiéndonos identificar los problemas potenciales existentes. La elección de las consideraciones a aplicar, el nivel de detalle asignado y los métodos de análisis a emplearse condicionan, según la información bibliográfica disponible para esa región, la selección de sitios. Dicha información generalmente es proporcionada por los diversos organismos regionales, nacionales, extranjeros, a través de mapas, planos, publicaciones diversas, etc. Esta información se complementa con reconocimientos pre-

liminares de campo.

De los criterios y consideraciones aplicables en esta etapa se desprenden los siguientes factores a tomar en cuenta para definir y elegir sitios preliminares:

- 1) Cimentación.- El terreno debiera ser rocoso o de suelos bien compactados. La profundidad de la roca, en el nivel de desplante no debe estar a más de 15.00 m. respecto al nivel natural del terreno. La resistencia a la compresión simple por lo menos será de 30 ton/m<sup>2</sup>, en el área del generador será de por lo menos de 100 ton/m<sup>2</sup>. Si existe la imposibilidad de cimentar sobre roca deberán escogerse sitio de suelo no arenosos, saturados y sueltos, así como, terrenos que presenten trampas u oquedades en el subsuelo.
- 2) Sismología.- No se deberán presentar fallas geológicas activas en un radio de 20 km. a partir del edificio del reactor, ni haberse presentado sismos de intensidad media o alta. El coeficiente sísmico del sitio no debe ser mayor de 0.30 g., observación desde el punto de vista económico.
- 3) Área.- Se debe contar con el espacio suficiente para alojar todas las instalaciones tanto permanentes como temporales.
- 4) Topografía.- La pendiente del terreno no debe ser mayor al

2.5 %, mientras que el nivel de la rasante general del terreno donde se suponga deba ubicarse la isla nuclear, no debe ser mayor de 15.00 m. sobre el nivel de la masa de agua designada para enfriar el reactor. El área localizada no puede presentar huellas de inundaciones.

- 5) Accesibilidad.- Deberan considerarse la facilidad de acceso al sitio, así como a los núcleos de consumo, facilidad para transportar materiales durante la construcción; su relación conforme a vías carreteras, férreas, marítimas, etc. Factibilidad para construcción y/o mejoramiento de vías de comunicación.
- 6) Enfriamiento.- La calidad del agua deberá cumplir las disposiciones establecidas, y se debe contar con un mínimo de 60 m<sup>3</sup>/diarios por cada unidad de mil MW. durante la construcción de la central.
- 7) Distancia entre la masa de agua y el sitio.- Esta se considera como económica si no excede los 15 km.
- 8) Meteorología.- Se debe verificar la existencia de fenómenos meteorológicos severos y sus consecuencias o restricciones a imponer en el diseño.

- 9) Demografía.- La distancia mínima a centros de población mayores de 25,000 habitantes es de 20 km. Al inicio de la construcción la densidad de población no debe exceder los 200 habitantes/m<sup>2</sup> y al concluirse no debe pasar de 400.
- 10) Las instalaciones y las actividades humanas.- Tendrá que evaluarse el riesgo que represente para la central la ubicación de zonas industriales en lugares cercanos, previendo explosiones accidentales, lo mismo regirá para el caso de polvorines militares, gasoductos, oleoductos, etc.
- 11) Centros históricos, parques nacionales, etc.- Se evitará que los sitios queden dentro de estos lugares, por razones de ecología, turismo, conservación de especies, etc.

Con las consideraciones anteriores es posible llevar a cabo estudios iniciales de la región, zonas, sub-zonas o sitios con características de preliminares.

Los estudios que se hacen en esta etapa podemos describirlos de la siguiente manera:

1.- Geología.

Se hacen estudios a nivel regional dentro de un radio de 320 km. apartir del sitio seleccionado, incluye:

Recopilación de datos bibliográficos  
Interpretación de imágenes de satélite  
Fotografías aéreas  
Cartas geológicas, geográficas, hidrográficas, etc.  
Trabajo y reconocimiento de campo.

2.- Topografía.

Topografía regional y local, que incluye:

Recopilación de datos bibliográficos  
Fotografías aéreas  
Trabajo y reconocimiento de campo

3.- Geofísica.

Recopilación de información geofísica de tipo regional.

4.- Mecánica de rocas, suelos y materiales.

Recopilación de información general a nivel local, en cada sitio localizado.

5.- Sismología.

Estudios a nivel regional:

Análisis de la sismicidad histórica  
Determinación de últimos movimientos de falla  
Determinación de provincias sismotectónicas  
Fotografías de satélite y aéreas.

6.- Hidrología.

Hidrología regional que incluye:

Recopilación de datos bibliográficos de aguas

Interpretación de imágenes

Trabajo y reconocimiento de campo

7.- Oceanografía.

Oceanografía regional y local, incluye:

Recopilación de datos bibliográficos

Trabajos y reconocimiento de campo

Análisis cualitativo de la masa de agua

8.- Meteorología.

Se realizan estudios dentro de un radio de 80 km. tomando como centro el sitio, incluye:

Recopilación de datos

Procesamiento y análisis de información

Descripción del clima regional

9.- Geografía.

Este estudio unicamente incluye recopilación bibliográfica en los aspectos que abarca la geografía.

10.- Demografía.

Incluye:

Recopilación de información en censos  
Elaboración de planos de núcleos de población  
Cantidad de habitantes por localidad  
Densidad de población

11.- Uso de la tierra y agua.

Recopilación de información referente a usos generales del suelo y aguas adyacentes.

12.- Ecología.

Recopilación bibliográfica para identificación de ecosistemas terrestres y acuáticos.

Finalmente, cada especialidad involucrada en esta etapa emite un informe general que contiene la descripción de las actividades realizadas, estas comprenden la recopilación de información, revisión, análisis y procesamiento de datos, relación y análisis de los datos de campo. Los comentarios y recomendaciones sirven de base para decidir y definir los sitios de interés que cumplen con los requerimientos establecidos, mismos que serán estudiados con mayor detalle en la siguiente etapa.



## ETAPA 2. SELECCION DE SITIOS TENTATIVOS.

El objetivo que se persigue en esta etapa de estudio de sitios es elaborar una lista de sitios tentativos que se consideran potencialmente licenciables y consecuentemente, capaces para desarrollarlos como sitios candidatos y definitivos para el emplazamiento de una central nuclear. En esta fase la evaluación se lleva acabo revisando a los sitios preliminares con criterios más restrictivos a los aplicados en la etapa anterior.

Las consideraciones que se toman en cuenta en esta fase del proceso son más diversas y tienen un alcance más amplio, teniendo mayor preponderancia las de ingeniería, medio ambiente y salvaguardias respecto al resto de las consideraciones que conforman el esquema general; las consideraciones que se tienen en cuenta son:

- 1) De Ingeniería.- Las consideraciones de la etapa anterior toman mayor énfasis, a fin de poder adaptar el diseño a las condiciones adversas del terreno, que de otra forma serían indeseables y motivo de rechazo.
- 2) Ambientales.- Durante esta etapa se trabajará para asegurarse que todos los efectos potenciales que puedan suceder ya sea

sobre el hombre o el medio ambiente sean identificados, cuando menos.

- 3) Institucionales.- Estos pueden determinar los parámetros específicos del sitio, tales como métodos aceptables para el tratamiento de los afluentes térmicos provenientes de la planta.
- 4) Económicas.- Estas consideraciones se van haciendo más complejas conforme se avanza en el proceso, en esta etapa de evaluación es aconsejable hacer un arreglo preliminar de la planta y del sitio para evaluar las ventajas y desventajas de cada sitio, es posible determinar:

obra de toma y descarga  
características de cimentación  
accesos  
líneas de transmisión y subestación

Los estudios que se realizan en campo son complementados en gabinete, y deben proporcionar la información necesaria para concluir en esta etapa, la evaluación de sitios preliminares y seleccionarlos como tentativos. Los estudios principales que determinan la continuación del proceso en cada sitio preliminar son:

**1.- Geología local.**

A la información obtenida en la etapa anterior se le adiciona:

sondeo geológico  
sondeo litológico  
estratigrafía

**2.- Topografía local.**

levantamiento topográfico de primer  
orden con equipo geodésico  
procesamiento de datos  
elaboración de planos

**3.- Geofísica.**

exploración geoelectrica preliminar

**4.- Mecánica de Rocas.**

pruebas preliminares de los núcleos obtenidos  
en la etapa inicial

**5.- Sismología regional.**

La información obtenida en la etapa anterior, adicionando:  
localización de epicentros  
asignación de valores de intensidad

6.- Hidrología local.

análisis de datos bibliográficos  
disponibilidad de aguas

7.- Oceanografía regional y local.

análisis de datos  
levantamiento batimétrico, mareas, oleaje  
procesamiento de datos  
elaboración de planos y perfiles playeros

8.- Meteorología.

determinación preliminar de climatología  
estudio de vulnerabilidad por intemperismo  
reporte preliminar de climatología regional  
de los sitios

9.- Geografía.

Complementar la información del sitio con la generada en los  
estudios de ingeniería civil.

10.- Demografía.

información de poblaciones en un radio de  
20 km.  
idem. poblaciones de más de 25,000 hab.

proyección de población  
población por sexo y edades  
población transitoria y permanente

11.- Usos de tierra y agua.

análisis de información  
actividades agropecuarias, industriales, etc.  
vivienda, recreación, cultura y salud  
administración

12.- Instalaciones y actividades humanas.

Comprobación de instalaciones, mediante reconocimiento de  
campo y elaboración de informe correspondiente.

13.- Hábitos alimenticios.

estudio de hábitos alimenticios  
elaboración de programa de hábitos alimenticios  
formalización con las instituciones participantes

14.- Ecología.

preparación de especificaciones  
formalización con las instituciones  
especializadas

### ETAPA 3. SITIOS CANDIDATOS.

El objetivo en ésta etapa es el de evaluar los sitios tentativos para concluir la selección de sitios candidatos. Los sitios candidatos serán los que satisfagan mejor las necesidades de la empresa y serán los sitios para los que se trabajara con el objeto de hacerlos licenciables. Los sitios que no superen esta etapa, pueden considerarse como prospectos para futuras consideraciones y deberán quedar incluidos en el inventario de sitios tentativos.

El proceso de la información bibliográfica continua siendo aprovechada y resulta de profundo interés , sobre todo en especialidades tales como la sismología, meteorología, hidrología, oceanografía, censos de población, etc.

En general las observaciones hechas en los sitios respecto de las características fisiográficas y de medio ambiente, son suficientes con el grado de detalle que se alcanza en esta etapa. Posiblemente el acceso a los sitios o la adquisición de los predios pudiera resultar con problema, debiendo efectuar acuerdos especiales y opcionales respecto de los terrenos antes de llegar a más detalle en los estudios; no sería razonable hacer estudios profundos, requeridos en esta etapa , en áreas que resultarán

vedadas en su adquisición.

El grado de detalle para los estudios especiales y rutinarios incluidos en esta etapa es difícil de especificar por adelantado, ya que depende de las características del sitio y de la clase de situaciones problema identificadas. No obstante la evaluación que se hace en esta etapa puede pasar por más de una iteración en donde la cantidad de sitios tentativos analizados se reduce según el grado de detalle aplicado en cada sitio.

Es posible que las alternativas finales en la selección de sitios candidatos, puedan aparecer igualmente adecuadas y la decisión de desarrollar uno de estos sitios se base, únicamente, en pequeñas diferencias de costo, en actitudes públicas, en la facilidad de adquisición del predio y en diversas consideraciones secundarias.

Las consideraciones a tomar en cuenta durante la selección del sitio propuesto son:

- 1) Salvaguardias.- Al evaluar los sitios en esta etapa deben satisfacer las interrogantes de salvaguardias. Realmente, la atención puesta en esta consideración se aplica a verificar que los requerimientos impuestos a los sitios tentativos continúan satisfaciéndose.

- 2) Ingeniería.- Esta consideración es muy importante en ésta etapa ya que es la base para estimar un costo tanto de construcción como de operación y mantenimiento.

Aquí se plantearán preliminarmente:

características de diseño de la planta  
preparación del sitio  
accesos diversos  
disponibilidad de agua  
condiciones de cimentación  
bancos de materiales

- 3) Medio ambiente.- En esta etapa se realizan estudios por parte de especialistas, para preparar programas de trabajo y especificaciones. Se requiere iniciar en los sitios el monitoreo ambiental que seguirá efectuándose a lo largo del tiempo con objeto de tener una gran cantidad de datos que permitan elaborar una buena estadística que arroje conclusiones confiables, así como donde se encuentren problemas potenciales, puedan exigir de algunos estudios especiales. Por otra parte también debe importar el impacto socio-económico que va causar la instalación de la planta en el medio ambiente.
- 4) Institucionales.- Las consideraciones institucionales serán



cada vez más, una parte importante en la evaluación y selección de sitios propuestos, esta dependerá de la evaluación de requerimientos locales existentes. Los reglamentos municipales sobre el uso de la tierra y agua pueden tener una influencia significativa sobre la selección del sitio propuesto.

- 5) Economía.- Los factores de costos son un común denominador valioso, para comparar alternativas de sitios. Estos costos incluyen los que se derivan de las consideraciones de ingeniería mencionadas anteriormente.

Los estudios a desarrollar en esta etapa de evaluación de sitios tentativos para la selección de sitios candidatos, son:

1.- Geología del sitio.

(radio 2 km.).

geología del subsuelo; perforaciones  
pruebas de permeabilidad; colocación de  
piezómetros  
localización de bancos de agregados

2.- Topografía del sitio.

levantamiento topográfico detallado

procesamiento de datos

elaboración de planos

3.- Geofísica.

registros geofísicos de pozo, sónico, densidad  
gamma, resistividad

estudio de ondas superficiales

exploración mar adentro con refracción sísmica

4.- Mecánica de suelos y rocas.

Mecánica de rocas a los diferentes estratos que constituyan  
el terreno para definición de datos básicos de diseño,  
muestreo de los diferentes materiales: arena, gravas, etc.

5.- Sismología.

relación entre epicentro, falla, provincias  
sismotectónicas y estructuras tectónicas

postular sismo de paro seguro

desarrollo de curvas de atenuación

determinar el sismo de paro seguro

6.- Hidrología del sitio.

caracterización química y física de acuíferos

cuantificación de acuíferos

estudios piezométricos y de bombeo

7.- Oceanografía del sitio.

oleaje, mareas, batimetría  
seccionamiento playero: perfiles de playa  
transporte litoral  
muestreo de material de  
playa  
estudio de corrientes marítimas  
caracterización química y física del agua  
temperatura y salinidad del agua  
interpretación y procesamiento de datos

8.- Meteorología local.

diseño de programas de mediciones meteorológicas  
instalación de estación climatológica  
procesamiento de la información meteorológica  
obtención de parámetros básicos de diseño  
elaboración de reporte preliminar de meteorología  
local

9.- Monitoreo ambiental.

elaboración de los programas de monitoreo  
ambiental  
definición de parámetros físicos, químicos,

bacteriológicos y radiológicos a estudiar en  
el medio ambiente, comprende: agua, aire y  
tierra  
localización e instalación de estaciones de  
muestreo

10.- Geografía.

Elaboración del reporte correspondiente para el estudio  
preliminar de factibilidad.

11.- Demografía.

Comprobación de la información bibliográfica con trabajos  
de campo.

distribución de población  
proyecciones de población

12.- Usos de tierra y agua.

comprobación de información bibliográfica  
obtención de los conceptos generales de  
planeación de desarrollo urbano de la región

13.- Hábitos alimenticios.

Iniciación del estudio de hábitos alimenticios  
elaboración de reporte

14.- Instalaciones y actividades humanas.

descripción detallada de las instalaciones y sus  
proyecciones a futuro

15.- Ecología.

Implementación de los programas y procedimientos para  
realización de los estudios de ecología terrestre y  
acuática identificando:

comunidades ecológicas de valor económico

comunidades ecológicas únicas

especies con importancia económica y científica

especies únicas

biota sensitiva al impacto de construcción y  
operación de la central

biota que afecte la operación de la central

Como sucede en la conclusión de cada etapa, en esta, una vez efectuados los estudios y observaciones de cada especialidad, cada una rinde un informe general de las actividades realizadas donde, además de la descripción de los trabajos y la inclusión de datos obtenidos, aporta conclusiones y recomendaciones, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Garantía de Calidad, con el Procedimiento General de Selección de Sitios y con los

procedimientos elaborados para cada especialidad.

De las conclusiones y recomendaciones de cada informe se obtendrán los criterios generales que nos permitan aceptar o rechazar los sitios y continuar con los aceptados.

#### ETAPA 4. SELECCION DE SITIOS DEFINITIVOS.

Además de evaluar los sitios candidatos para concluir en la selección de sitios definitivos, en esta etapa del proceso de selección de sitios se persigue la obtención de datos fidedignos obtenidos a través de mediciones y observaciones en los sitios con objeto de preparar el Informe Preliminar de Seguridad, (Preliminar Safety Analysis Report), mediante el cual, y de acuerdo con su contenido, se obtiene el licenciamiento de los sitios que han logrado llegar a esta Etapa 4, además a estos sitios se aplica mayor extensión y profundidad en los estudios a realizar con el objeto de obtener datos más veraces para llevar a cabo un mejor diseño de ingeniería de la central.

En esta última etapa se realizarán estudios, exploraciones, pruebas, etc., más extensas que en las etapas anteriores. Se continuaran evaluando los problemas potenciales que se identificaron en la etapa 3; así mismo la información bibliográfica continúa siendo de gran utilidad, en especialidades como sismología, meteorología y oceanografía regional. Los estudios que se realizarón en esta etapa tienen la extensión y profundidad que el grupo de ingeniería y licenciamiento considera adecuado para el cumplimiento de los requisitos impuestos por el organismo regulador mexicano, y esto depende de las

características de cada sitio candidato.

Las actividades a realizar en esta etapa, para la obtención de datos, se clasifican y describen a continuación:

1.- Geología.

Se investiga la información geológica basandose en publicaciones de reportes, mapas geológicos y otras fuentes confiables. Se realizarán estudios para correlacionar la geología regional con la del sitio. Se revisa que las áreas que serán ocupadas por los edificios de la futura central cumplan con los requisitos mínimos de cimentación. Se identifica el sitio para determinar si existen deslizamientos de tierra reales o potenciales, empujes ascendentes o colapsos ocasionados por depresiones tectónicas o cavernas; en el caso de resultar positivas, se evaluarán sus consecuencias y se propondrán soluciones.

Se deberá hacer una relación entre los estudios de geología regional y las condiciones litológicas y estratigráficas, para lo cual será necesario hacer barrenos y excavaciones a cielo abierto.

2.- Topografía.

Se proporcionará todo el apoyo topográfico que cada especialidad requiera.



### 3.- Geofísica.

Se realiza un estudio sísmico (Cross Hole), en los sitios donde se planea la ubicación de los reactores nucleares, con objeto de definir las condiciones de cimentación de los edificios.

### 4.- Mecánica de rocas y suelos.

Se definirán las áreas con respecto a la carga que van a tener y se muestrean con objeto de obtener valores y poder establecer condiciones de diseño para cimentaciones.

Para excavaciones y rellenos se determinarán características tales como:

    espesor de material a despallar

    porosidad

    densidad

    peso volumétrico, etc.

### 5.- Sismología.

Se intensifica el reconocimiento geológico, el mapeo en el sitio y la regionalización de todos los sistemas de falla.

Se determina la edad y actividad de las fallas tanto de tierra firme como de plataforma marítima, precisando su localización, extensión lateral y profundidad.

De estos datos se definen parámetros de diseño sísmico y se determinan:

Sismo de Paro Seguro  
Sismo Base de Diseño  
Sismo Base de Operación

También se determinarán:

aceleración del terreno  
espectro de respuesta

#### 6.- Hidrología.

Los estudios a realizar en este campo serán:

monitoreo de cuerpos de aguas superficiales y  
subterráneos  
análisis de calidad de agua  
monitoreo de flujos y temperaturas de todas las  
corrientes  
estudio para determinar frecuencia y nivel máximo  
de inundación en el sitio  
se elaborarán mapas de drenaje para su futuro  
aprovechamiento o modificación  
descripción de características hidrológicas de  
regiones costeras, lagos y corrientes.

se identificarán los nombres de los usuarios de flujos que se verían afectados por la puesta en operación, así como su consumo

se registrará la fecha, nivel alcanzado y pico de la máxima avenida histórica

se determinará una precipitación máxima probable en la localidad y su drenaje así como las alturas de inundación para huracanes, ciclones, tsunamis, etc.

en caso de lugares ribereños se obtendrán los tirantes para la avenida máxima probable de diseño

se determina el número de acuíferos independientes

determinación de la configuración de mantos freáticos

determinación de arrastres de sedimentos en las corrientes perennes

#### 7.- Oceanografía.

Se determina la altura de ola significativa, ola máxima probable, así como el efecto que tienen sobre la central,

se investigan los efectos de los fenómenos naturales sobre los depósitos de agua o canales de agua de circulación, se estudia la variación de los niveles en los cuerpos de agua y los estudios para evitar la recirculación de agua. Se determinan las características físicas y químicas del agua que se proyecte para usar como fuente de abastecimiento. Finalmente se analiza la dispersión, dilución y tiempo de estabilización de liberaciones accidentales de efluentes líquidos en los cuerpos de agua cercanos a la central.

#### 8.- Meteorología.

Se hace una descripción y evaluación de la climatología general de la región:

- tipos de masas de aire
- presión atmosférica
- dirección y velocidad de vientos
- temperaturas
- humedad
- precipitación

Se requieren las frecuencias de los fenómenos atmosféricos severos como: huracanes, tornados, trombas marítimas, tormentas eléctricas y contaminación potencial del aire.

Se requiere investigar sobre mediciones meteorológicas en

el sitio; en el que se incluyen los siguientes parámetros:  
viento, dirección y temperatura  
temperatura del aire  
vapor de agua atmosférico  
precipitación  
polución y niebla  
estabilidad atmosférica

9.- Monitoreo ambiental.

Implementación y desarrollo de los programas de monitoreo ambiental; obtención, procesamiento y análisis de la información, elaboración de programas preoperacionales de monitoreo ambiental.

10.- Demografía.

Interpretación de la información para ser incluida en el reporte de factibilidad de sitio, habiendo determinado el factor de población del sitio.

11.- Geografía.

Se determinan las características de ubicación geográfica del sitio; tales como:

coordenadas geográficas  
orientación de las principales estructuras

estado, municipio  
localización del sitio respecto de  
poblaciones de importancia  
zonas fabriles, comerciales, turísticas,  
agrícolas, etc.

12.- Usos de tierra y agua.

Interpretación de la información para ser incluida en el  
reporte de factibilidad de sitio.

13.- Hábitos alimenticios.

Interpretación de la información para ser incluida en el  
reporte de factibilidad de sitio.

14.- Instalaciones y actividades humanas.

Se prepara un inventario de las instalaciones  
industriales, militares y de transporte cercanas al  
sitio, incluyendo:

elaboración de mapas

descripción de materiales y productos

fabricados

rutas y formas de transporte, almacenaje

y frecuencia de embarques

proyección de crecimiento industrial

localización de: oleoductos,  
gasoductos, aeropuertos, vías navegables,  
zonas arqueológicas y monumentos  
históricos, usos de la tierra y agua.

15.- Estudio socio-económico.

Este estudio se realiza con la finalidad de obtener  
datos tales como:

cambios históricos de población  
proyección al futuro de cambios de población  
composición de la población  
características de la región  
economía del área  
mano de obra, nivel de vida y estructura  
económica e industrial.

16.- Impacto ambiental.

Se prepara un informe de la infraestructura de la  
comunidad, el medio ambiente de la región y los servicios  
disponibles.

17.- Ecología.

Se complementan los programas ecológicos iniciados en la  
etapa anterior, donde dicho programa tiene como objetivo

determinar si la construcción de la planta alterará en forma significativa el balance ecológico de la región. Por otra parte se preparan Programas Preoperacionales de monitoreo ecológico.



## SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PRIMERA CENTRAL NUCLEAR EN MEXICO

### ETAPA 1. SELECCION DE SITIOS PRELIMINARES

La C.F.E. inició los estudios de selección de sitios apropiados para la instalación de centrales nucleares en 1966, cuando empezó a verse la posibilidad de que centrales nucleares fueran económicamente convenientes en algunas partes del país en un futuro relativamente cercano.

En el estudio que se realizó conjuntamente con la Universidad de Stanford, en Estados Unidos, (Stanford Research Institute), se puso de manifiesto que las centrales nucleares deberían ser ya consideradas entre las alternativas posibles para la expansión del Sistema Central Interconectado, mientras que para otros sistemas eléctricos del país, de menor tamaño, la conveniencia de la energía nuclear no parece presentarse todavía.

Como consecuencia de este estudio, la C.F.E. decidió a principios de 1969 solicitar cotizaciones para una central nuclear de 600 Mw. con destino al Sistema Central Interconectado, para entrar en operación en 1975, de tal forma que la capacidad en ese sistema sería del orden de 7000 Mw.

#### EXPLORACION PRELIMINAR.

Los factores que hay que tomar en cuenta no son en gran parte distintos de los aplicables a la localización de cualquier central termoeléctrica, con algunas diferencias provenientes de la independencia de la ubicación de la fuentes de suministro de combustibles fósiles, de los aspectos de seguridad nuclear y en algunos casos, de las características de peso y volumen de ciertos componentes de la central nuclear.

El área servida por el Sistema Central de México se caracteriza porque su mayor centro de carga es, con mucho, la ciudad de México. De aquí que los criterios conducentes a la identificación de los lugares adecuados son: relativa cercanía a la ciudad de México; disponibilidad de agua de enfriamiento; distancia suficientemente grande a centros de población importantes y suelo de preferencia rocoso para la cimentación de las construcciones.

#### SITIOS ESTUDIADOS.

##### APASCO.

San Sebastian, cerca de Apasco, México; a 55 km. de México, D.F. Enfriamiento por medio de torres de tiro forzado,

con agua de repuesto proveniente del tratamiento de aguas negras del canal de desagüe que sale por la cuenca de México por el túnel de Tequisquiac. Suelo: basalto. Medios de comunicación: ferrocarril y carretera. Sus principales inconvenientes, su cercanía a la ciudad de México, condiciones meteorológicas desfavorables, alta frecuencia de calmas e inversiones coincidentes con vientos dominantes hacia la ciudad de México.

#### MABORO.

Este sitio se encuentra localizado en las márgenes del río Lerma, a 80 km. de la ciudad de México. El enfriamiento tendría que hacerse también con torres, con agua de repuesto proveniente de pozos o del río Lerma. Su suelo es un abanico aluvial. Medios de comunicación, ferrocarril y carretera. Este sitio no dejaría de tener dificultades políticas porque esta zona ha sido sistemáticamente explotada como fuente de agua potable para la ciudad de México. Más fundamental, quizás, es que esta región está surcada por numerosas fallas activas y aunque el lugar se escogió relativamente lejos de cualquiera de ellas, habría que asignar a éste sitio una alta sismicidad.

#### LAGARTO.

Lugar cercano a Jojutla, Morelos, sobre el río Amacuzac. A 95 km. de la ciudad de México, en este sitio habría que usar también torres de enfriamiento, aunque no se ve ninguna dificultad en poder extraer del río el agua necesaria para repuesto. El suelo es una losa de basalto y el lugar esta relativamente cerca de una línea férrea y de carretera.

#### VALLE DE BRAVO.

En el Estado de México, a 110 km. de México D.F. Su sistema de enfriamiento será directo, utilizando el agua de la laguna artificial del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán. Aunque el agua evaporada se perdería para la generación en las centrales hidráulicas; la pena económica por este concepto no sería muy grande. En las márgenes existen tanto rocas metamórficas como basálticas y finalmente se escogió una ladera de este último material como el sitio más apropiado. Este lugar es un importante centro turístico. Esta comunicado por carretera.

#### VALSEQUILLO.

La presa de Valsequillo, construida para fines de riego, se encuentra a 120 km. de la ciudad de México y a sólo 25 km. de

la ciudad de Puebla. Se podría utilizar enfriamiento directo, aunque se requerirían posiblemente torres de enfriamiento en circuito cerrado si las necesidades agrícolas las obligan, en ocasiones, al vaciar prácticamente el vaso. En su suelo existen buenos conglomerados calcáreos para la cimentación. Sólo existe comunicación por carretera.

#### MEXCALA.

En el estado de Guerrero, sobre el río del mismo nombre, a 170 km. de la ciudad de México, en este sitio se emplearían tanto enfriamiento directo como torres de enfriamiento en circuito cerrado para años de sequía. Cuenta con carretera y con ferrocarril relativamente próximos. Zona altamente sísmica. Los suelos estudiados son abanicos aluviales terciarios.

#### LAGUNA VERDE.

Las ventajas del mar para enfriamiento directo y como vía de transporte aconsejaron explorar la costa del Golfo de México en el sector más cercano a la ciudad de México. Con posterioridad a la exploración preliminar se localizó, en la

parte donde el cinturón volcánico transmexicano llega al mar, una península de basalto, cerca del lugar llamado Laguna Verde, a 280 km. de la ciudad de México y 70 km. del puerto de Veracruz. Este sitio se encuentra bien comunicado por carretera pero no en cuanto a ferrocarril, donde la estación más próxima se localiza a 40 km.

El estudio preliminar permitió eliminar Maboro y Valsequillo por problemas en la disponibilidad del agua y por razones de seguridad nuclear; el Lagarto, por no mostrar ninguna clara ventaja y Mexcala porque, al no poder rescindir de torres de enfriamiento, resultaba claramente la peor alternativa. De tal forma que quedaron para una fase posterior de selección, Apasco, Valle de Bravo y Laguna Verde. Esta última interesante, a pesar de la distancia, por las ventajas de enfriamiento y por la accesibilidad que presenta el mar, sin olvidar las ventajas que presente en cuanto a seguridad nuclear.

A principios de 1969 se iniciaron investigaciones geológicas detalladas que permitieron determinar los lugares precisos adecuados para la construcción de plantas nucleares en Apasco y Valle de Bravo, mientras que a Laguna Verde se llegó después de una exploración de la costa entre Veracruz y

Tecolutla, que permitió definir como el sitio más apropiado una península de basalto, en el lugar denominado Laguna Verde.

Los tres sitios así seleccionados fueron objeto de estudios más detallados, especialmente en los aspectos de geología, sismicidad, meteorología, obras para el agua de circulación en el caso de alternativas con enfriamiento directo, etc. En lo referente a sismicidad y diseño sísmico se contó con el asesoramiento del Instituto de Ingeniería de la UNAM; la Comisión Nacional de Energía Nuclear comisionó a un meteorólogo que ya había colaborado en el estudio preliminar y en general se utilizaron consultores de la compañía Burns & Roe de EUA para ayudar a recabar los datos necesarios para la selección definitiva.

En la elección final intervino como consultor, además de Burns & Roe, la compañía NUS Corporation en algunas facetas relacionadas con la seguridad nuclear. Se consideraron y se les dió un valor económico a las diferencias que presentaban los tres sitios en lo referente a transmisión, transporte, obtención del agua de repuesto en el caso de torres de enfriamiento, excavaciones, costo de construcción, estructuras, equipo y energía necesaria para el sistema de agua de circulación, el agua y electricidad de emergencia,

salvaguardias de ingeniería, diseño sísmico, valor del agua evaporada, costo por corrosión marina (Laguna Verde). Esta comparación económica se hizo para los cuatro tipos de reactores considerados, PWR, BWR, AGR y CANDU.<sup>(1)</sup> Como era de esperarse, las diferencias entre tipos de plantas afectaban la bondad relativa de los sitios en algunos de los aspectos anteriores, pero en general la conclusión fué que el sitio de Valle de Bravo resultaba superior en unos 50 millones de pesos a Laguna Verde y Apasco, con una diferencia insignificante entre estos dos últimos.

La evaluación diferencial anterior se hizo para una sola unidad con una potencia nominal de 600 Mw. Antes de tomar una decisión definitiva se consideró que muy probablemente a la primera unidad nuclear seguirían otras en plazos relativamente breves. En este aspecto, el potencial de expansión de Laguna Verde y la facilidad de acceso representada por el mar, significan ventajas considerables. Los problemas de transporte, tanto en Valle de Bravo como en Apasco, prácticamente prohíben la instalación de unidades mayores de unos 600 Mw. Es concebible que los ahorros representados por las economías de escala al poder instalar en el futuro unidades mayores en Laguna Verde, compensarían con creces la diferencia

(1) ANEXO 3



de 50 millones de pesos aludida.

En definitiva, se adoptó el sitio de Laguna Verde para fines del concurso, para todos los tipos de reactores y las características de este sitio fueron incluidas en las especificaciones del concurso para la planta nuclear, convocado en Julio de 1969.

Toda la información que se recaudó confirma la idoneidad del sitio seleccionado para la construcción y operación económica de la planta nuclear, sin que represente ni en mínima medida riesgo a la población o perturbaciones al medio ambiente. Con esta información la OIEA y la CNEN estuvieron en posibilidad de cumplir su función legal de autorizar la construcción de la planta nucleoelectrica.

COMPARACION DE SITIOS PARA DIFERENTES TIPOS DE REACTOR

TABLA I

COMPARACION DE SITIOS PARA UNA PLANTA CON  
(A)  
REACTOR TIPO BWR

(A) Tabla pertenece a "Selección del Emplazamiento de la Primera Central Nuclear en México".

(diferencias en millones de dolares)

CONCEPTO	VALLE DE BRAVO	APASCO	LAGUNA VERDE
Transmisión	base	-4.62	6.10
Transporte	base	-0.17	-0.25
Agua de repuesto	base	5.93	0.0
Excavación	base	-0.03	-0.01
Fabricación en campo	base	0.0	-2.00
Costo de edificios	base	-0.16	0.48
Estructuras del sistema de agua de circulación	base	-1.42	1.04
Equipo del sistema de agua de circulación	base	1.76	0.20
Energía para el sistema de agua de circulación	base	2.01	0.05
Agua de emergencia	base	0.07	-0.03
Electricidad de emergencia	base	0.0	0.50
Salvaguardias de ingeniería	base	1.75	-1.50
Diseño sísmico	base	-0.06	-0.09
Valor del agua evaporada	base	-1.11	-1.11
Costo por corrosión marina	base	0.0	1.00
TOTAL	base	3.95	4.38

TABLA II

COMPARACION DE SITIOS PARA UNA PLANTA CON  
(A)  
REACTOR TIPO PWR

(A) Tabla pertenece a "Selección del Emplazamiento de la Primera Central Nuclear en México".

(diferencias en millones de dolares)

CONCEPTO	VALLE DE BRAVO	APASCO	LAGUNA VERDE
Transmisión	base	-4.62	6.10
Transporte	base	-0.20	-0.24
Agua de repuesto	base	5.93	0.0
Excavación	base	-0.04	-0.01
Fabricación en campo	base	0.0	0.0
Costo de edificios	base	-0.13	0.40
Estructuras del sistema de agua de circulación	base	-1.42	1.04
Equipo del sistema de agua de circulación	base	1.76	0.47
Energía para el sistema de agua de circulación	base	2.01	0.05
Agua de emergencia	base	0.07	-0.03
Electricidad de emergencia	base	0.0	0.50
Salvaguardias de ingeniería	base	3.00	-1.50
Diseño sísmico	base	-0.06	-0.09
Valor del agua evaporada	base	-1.11	-1.11
Costo por corrosión marina	base	0.0	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>base</b>	<b>5.19</b>	<b>6.58</b>

**TABLA III**

**COMPARACION DE SITIOS PARA UNA PLANTA CON  
(A)  
REACTOR TIPO AGR**

(A) Tabla pertenece a "Selección del Emplazamiento de la Primera Central Nuclear en México".

(diferencias en millones de dolares)

CONCEPTO	VALLE DE BRAVO	APASCO	LAGUNA VERDE
Transmisión	base	-4.62	6.10
Transporte	base	-0.19	-0.24
Agua de repuesto	base	4.73	0.0
Excavación	base	-0.03	-0.01
Fabricación en campo	base	0.0	0.0
Costo de edificios	base	-0.17	0.51
Estructuras del sistema de agua de circulación	base	-1.07	1.14
Equipo del sistema de agua de circulación	base	1.28	0.34
Energía para el sistema de agua de circulación	base	1.43	0.03
Agua de emergencia	base	0.07	0.07
Electricidad de emergencia	base	0.0	0.50
Salvaguardias de ingeniería	base	2.00	-0.50
Diseño sísmico	base	-0.06	-1.00
Valor del agua evaporada	base	-0.89	-0.89
Costo por corrosión marina	base	0.0	1.00
TOTAL	base	2.48	7.05

TABLA IV

COMPARACION DE SITIOS PARA UNA PLANTA CON  
(A)  
REACTOR TIPO CANDU

(A) Tabla pertenece a "Selección del Emplazamiento de la Primera Central Nuclear en México".



(diferencias en millones de dolares)

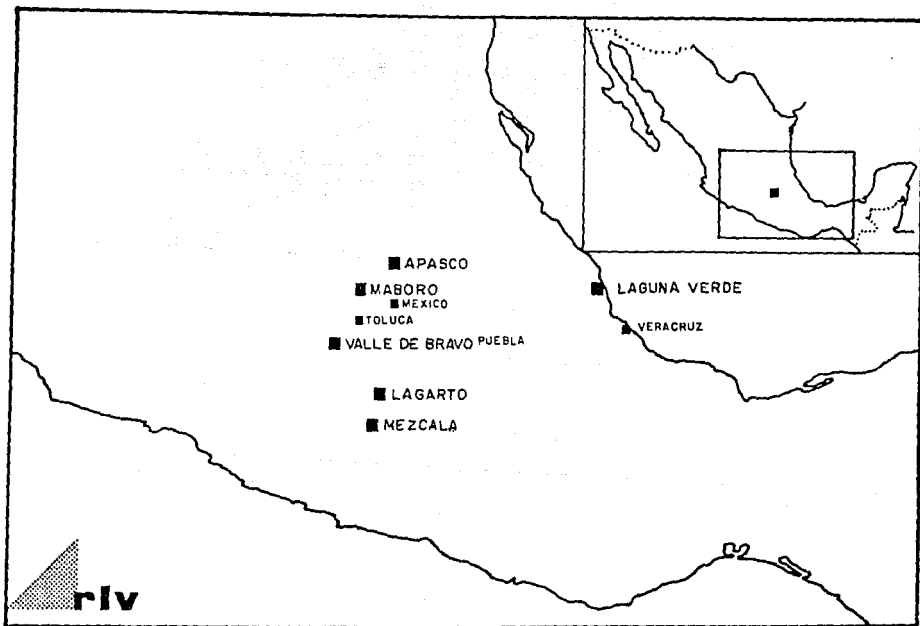
CONCEPTO	VALLE DE BRAVO	APASCO	LAGUNA VERDE
Transmisión	base	-4.62	6.10
Transporte	base	-0.19	-0.23
Agua de repuesto	base	6.53	0.0
Excavación	base	-0.04	-0.01
Fabricación en campo	base	0.0	-0.50
Costo de edificios	base	-0.13	0.40
Estructuras del sistema de agua de circulación	base	-1.56	1.14
Equipo del sistema de agua de circulación	base	1.94	0.52
Energía para el sistema de agua de circulación	base	2.21	0.06
Agua de emergencia	base	0.07	-0.03
Electricidad de emergencia	base	0.0	0.50
Salvaguardias de ingeniería	base	3.00	-1.50
Diseño sísmico	base	-0.06	-1.00
Valor del agua evaporada	base	-1.21	-1.21
Costo por corrosión marina	base	0.0	1.00
TOTAL	base	5.94	5.24

COMPARACION POR TIPO DE REACTOR

TIPO DE REACTOR	VALLE DE BRAVO	APASCO	LAGUNA VERDE
BWR	base	3.95	4.38
PWR	base	5.19	6.58
AGR	base	2.48	7.05
CANDU	base	5.94	5.24

Como es fácil darse cuenta la mejor alternativa lo es definitivamente Valle de Bravo; en este análisis el valor que tiene esta opción a central en su caracter de planta base es 0.00 por lo que Apasco como Laguna Verde resultan más caras. Apasco fué el primer sitio es descartarse, considerando que al año en el que se realizó el estudio (1969), la paridad con el dolar era de 12 pesos/dolar, cosa que hacia realmente paqueñas las diferencias económicas en comparación con Laguna Verde, teneiendo esta muchísimas otras ventajas para el emplazamiento. De tal forma que quedaban para tomar una decisión final únicamente los sitios de Valle de Bravo y Laguna Verde. La razón principal por la cual se determinó no utilizar el sitio de Valle de Bravo para emplazar la primera central nuclear

del país fué el factor seguridad, en el cual rigió Laguna Verde, siendo este el más lejano a poblaciones importantes; por otra parte en Valle de Bravo existe el problema de ser un importante lugar turístico y presenta la dificultad de comunicaciones, ya que unicamente cuenta con el medio carretero, y esta a su vez presenta el problema de la dificultad de transportar equipo tanto voluminoso como pesado.



LOCALIZACION DE SITIOS CONSIDERADOS

PRIMERA CENTRAL NUCLEAR EN MEXICO.

(2)  
LOCALIZACION DEL SITIO DE LAGUNA VERDE.

En la costa del Golfo de México, en el municipio de Alto Lucero del estado de Veracruz, a 70 km. NNO de la ciudad de Veracruz y a 60 km. ENE de la ciudad de Jalapa, capital del estado. Las coordenadas aproximadas del sitio son:

19° 43' 30'' latitud norte  
96° 23' 15'' longitud oeste

2.- HIDROLOGIA-OCEANOGRAFIA.

La elevación del sitio es 18 mts. sobre el nivel del mar.

Desembocan los ríos:

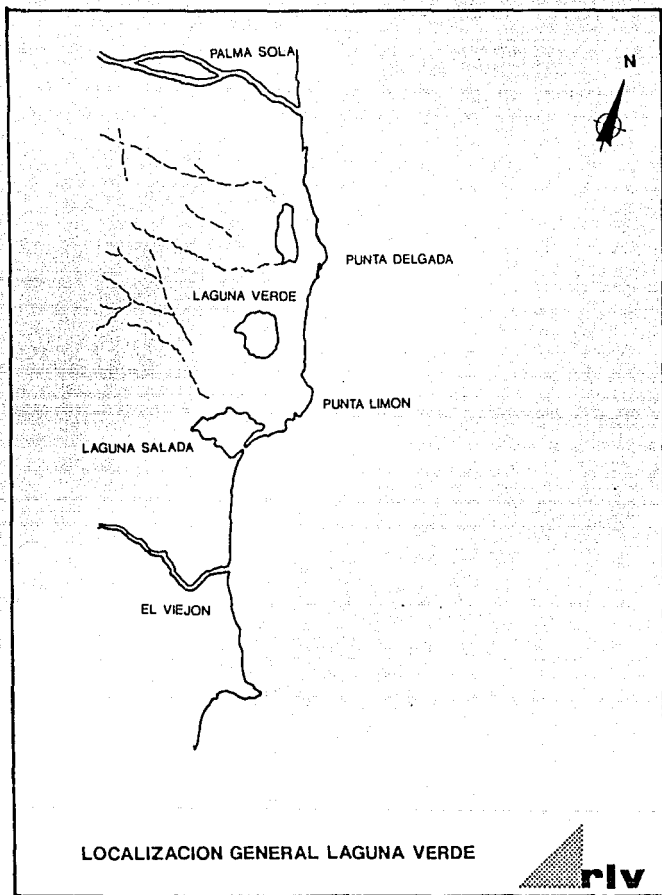
Barranca Hernandez ( 5 km. al Norte )  
El Viejón ( 3 km. al Sur)

Lagunas:

Laguna Verde ( al norte de la central )  
Laguna Salada ( al sur de la central )

Debido a la localización geográfica del sitio, se descarta la posibilidad de inundaciones que pudieran poner en peligro la operación de la central, por ningún fenómeno:

(2) ANEXO 3.



- avenidas máximas en los ríos que flanquean al sitio
- elevaciones del mar ocasionadas por tsunamis, surges, seiches y mareas astronómicas

El acuífero más cercano se encuentra sobre el Valle de "El Viejón" a 3km. al Sur.

Durante el estudio se observó que la Laguna Verde no tiene uso específico en pesca, transporte ó recreación.

Hidrografía del Mar, Golfo de México.

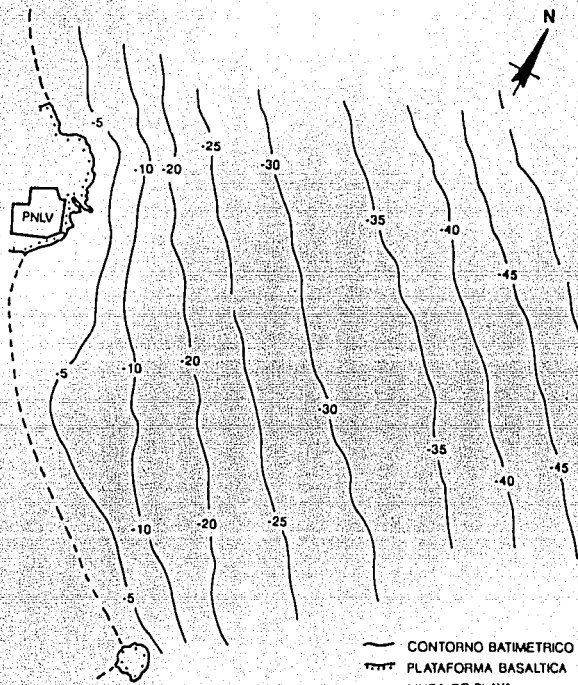
El lecho marítimo presenta un gradiente casi constante sin elevaciones o profundidades bruscas notorias. Las batimetrías muestran líneas casi paralelas a la línea de costa con una separación uniforme.

VER FIGURA SIGUIENTE :

Mareas.

El régimen que se observa en el sitio de la central es de tipo diurno, casi igual al de todas las mareas a lo largo del Golfo de México. La Media de los niveles altos y bajos con respecto al Nivel Medio del Mar , N.M.M., en el sitio son:

# ESTUDIO BATIMETRICO





Media de niveles altos	=	0.215 m.
Media de niveles bajos	=	-0.294 m.
Nivel de baja mar mínimo anual	=	-0.52 m.

con respecto al nivel 0.000 de la construcción, P.D.R.:

N.M.M.	=	-0.758 m.
Media de niveles altos	=	-0.543 m.
Media de niveles bajos	=	-1.05 m.
Nivel de bajamar mínimo anual	=	-1.278 m.

Oleaje.

Los niveles de elevaciones máximas fueron realizados por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México:

Huracán máximo probable	3.04 m.	N.B.M.
	1.99 m.	P.D.R.
Huracán estandar de diseño	1.17 m.	P.D.R.

De acuerdo a los estudios geológicos en la zona, parece razonable pensar en la ocurrencia de sismos de magnitud 6.5 Richter, sismo máximo creíble en la zona del Golfo. De acuerdo con esto la magnitud de un probable tsunami sería de -1 asociado con la magnitud de este sismo, que provocaría una

sobre elevación máxima en la costa de 0.5 a 0.75 m. Esta información esta respaldada con registros históricos del Golfo de México, en los cuales no se detecta la ocurrencia de tsunami de magnitud extraordinaria.

VER FIGURA SIGUIENTE:

Temperatura del agua de mar.

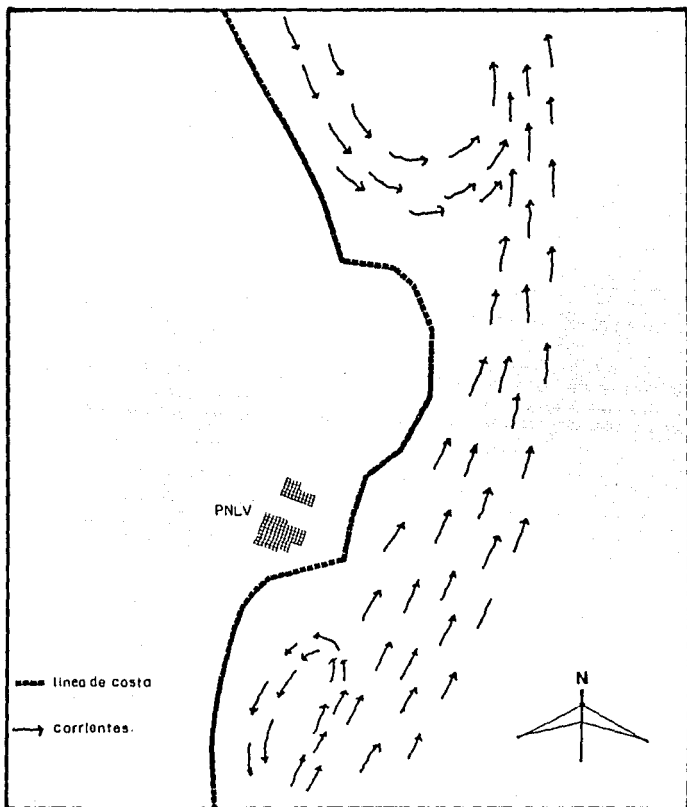
Temperatura máxima	31.9 ° c	( julio 1979 )	superficie
Temperatura máxima	30.5 ° c	( sept. 1978 )	fondo
Temperatura máxima promedio	30.2 c		

La variación anual de temperaturas tanto en la superficie como en el fondo, es del orden de 10 ° c.

### 3.- CLIMATOLOGIA.

Debido a su ubicación dentro de los trópicos, el clima del sitio está influenciado por los vientos alisios húmedos, pero durante la estación invernal invaden el área masas de aire frío que se originan en las latitudes extratropicales.

En invierno-primavera se tiene una periodicidad de invaciones de aire polar del orden de 6 a 7 veces máximo.



DIRECCION PREFERENCIAL DE LA CORRIENTE ABRIL-SEPTIEMBRE

**Nortes:**

INTENSIDAD	VELOCIDAD	FRECUENCIA
más intensos	más de 18 m/s	dic., ene., mar.
moderados	10 a 18 m/s	nov., dic., ene., mar.
débiles	6 a 10 m/s	ene., mar.

Los ciclones tienen una duración de 4.3 días en promedio; el 36 % de los ciclones generados alcanzan a ser huracanes.

**Viento.**

En cuanto al viento se refiere, éste tiene una dirección dominante del NNW, con una frecuencia del 18.34 % y con una intensidad promedio de 8 m/s. La velocidad máxima promedio horaria es de 31.0 m/s del NW.

**Temperatura.**

Se registraron mediciones durante 2 años y se obtuvieron los siguientes datos:

temperatura promedio anual	24.5	o c
temperatura máxima extrema	32.5	o c
temperatura mínima extrema	9.5	o c

Humedad.

humedad promedio	78 %	
humedad relativa máxima	100 %	madrugadas
humedad relativa mínima	24 %	

Precipitación.

precipitación total mensual 499 mm. septiembre

Contaminación.

no existe ( tipo antropogénica ).

4.- GEOLOGIA.

El área estudiada fué de 80,000 Km<sup>2</sup>, ésta consiste de la parte Este de la faja volcánica Trans-mexicana, una cadena geomórfica y tectónica notable, que se desliza a través de la parte Norte del continente Americano, del Este al Oeste. El área también incluye el oceano adjunto hacia el Este, (suroeste del golfo).

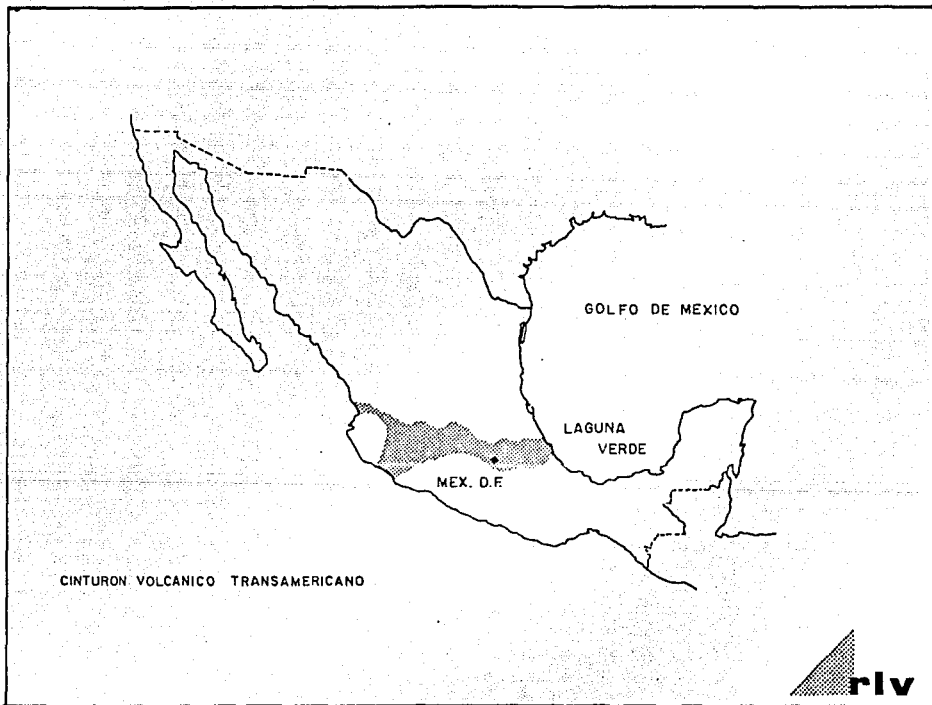
La región Oeste contiene la Alta Meseta Mexicana en la cual se elevan muchos pequeños conos volcánicos, así como algunos volcanes grandes del pleistoceno. Al Norte del Cofre de Perote otra sierra volcánica significativa aunque más baja se desvía hacia el Este y al oceano. Consiste de los

volcanes de cubierta doble y considerablemente erosionados de nombre Cerro Piedra Parada y Cerro Chiconquiaco de origen pliocénico. En su base esta cordillera rodea los volcanes más viejos de Palma Sola que forman la costa del Golfo; de estos salió el pequeño flujo de basalto de Laguna Verde, una de las características más jóvenes del plioceno superior.

#### Geología del sitio.

El corte transversal dirigido de Oeste a Este, proporciona condiciones geológicas generales: riolita levantada sobre elementos del grupo volcánico antiguo, en los que se ha metido una masa de 11 millones de años de microdiorita; en la base este del Cerro de Oro surge la masa de Laguna Verde, de 3.1 millones de años, que en total mide de 40 a 50 mts. de espesor y se extiende con varios flujos dentro del oceano, cubriendo una masa de aluvión de unos 65 mts. de espesor como máximo.

VER FIGURA SIGUIENTE:



### Fracturas.

Las investigaciones de campo, así como la evaluación total del sitio y el área circundante, no revelan fracturas tectónicas de importancia fuera de las masas basálticas.

En general los sistemas de fracturas existentes son de poca importancia. Se hace notar la ausencia de fracturas de origen tectónico, lo que pone de manifiesto que desde el plioceno superior ( 3 a 5 millones de años ), esta zona no ha registrado movimientos de importancia.

La estabilidad durante estos 5000 años parece ser evidente con base en la consistencia de la altura que muestran los bancos formados por las olas.

### Agrietamientos.

Existen agrietamientos con profundidad de 0.5 a 2.00 mts. La insignificancia general de los agrietamientos y lo cambiante de sus patrones de un sitio a otro sugiere que son agrietamientos columnares.

### Estatigrafía.

En general los núcleos en el basalto muestran un espesor de la formación de 30 a 50 metros. La superficie de la roca contiene caliches diseminados que pueden encontrarse hasta



profundidades de 1.5 mts.; el basalto fracturado se extiende en profundidades hasta 6.00 mts. generalmente. Hacia el Este el basalto esta cubierto por dunas que alcanzan espesores de más o menos 5.00 mts.

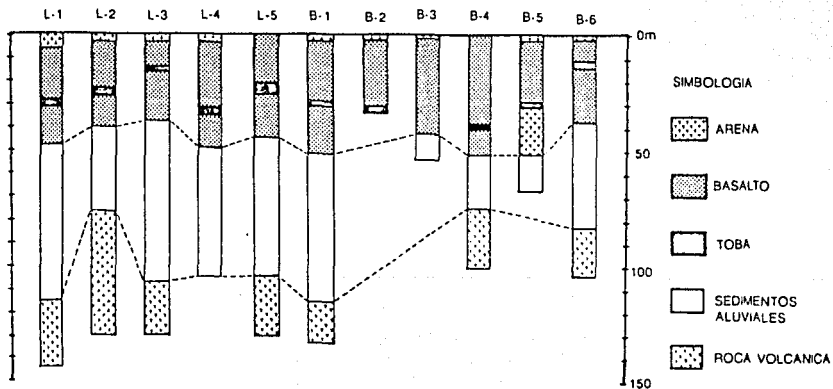
Entre las masas arcillosa del basalto y los depositos de formaciones sólidas del plioceno medio, se encuentran depósitos aluviales, de flujo de cenizas que tienen un espesor de 40 a 60 mts. Los depósitos están completos de clásticos de andesita, riolita y fenobasalto, con una distribución que va de arenas a cantos, que están, sin embargo, aglutinados en arcillas y léganos endurecidos. Son de naturaleza lenticular. Se llevaron a cabo pruebas golpeando éstos depositos aluviales lo que mostró en general una alta densidad y compactación.

VER FIGURA SIGUIENTE:

Datos geofísicos.

Estructura del terreno. La distribución de zonas de distintas características y las velocidades de onda y reisis-tividades medidas para cada una de ellas son:

# ESTATIGRAFIA BARRENACION



ESTRATO		CELERIDAD Km/s
a)	capa superficial correspondiente a roca basáltica	1.6 - 1.8
b)	macizo basáltico afectado por la descompresión	2.0 - 2.6
c)	macizo rocoso sano            6 - 13 mts.	3.5 - 3.6
	30 - 50 mts.	3.6 - 4.1

#### 5.- SISMICIDAD.

Del estudio e interpretación de registros y bibliografía referente a la sismicidad del sitio, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- el área de Laguna Verde se encuentra ubicada al norte del área de los Tuxtlas y al sur del área de Veracruz las cuales son sísmicamente activas.
- escasa actividad sísmica se ha registrado cerca del sitio.
- ningún sismo puede ser correlacionado con la zona de fractura de Laguna Verde, en el continente.
- la falla del Farallón enfrente de Laguna Verde no muestra actividad sísmica detectable.

- la falla oceánica Veracruz muestra alguna actividad con choques hasta de 5.5 R.
- la región de los Tuxtlas representa un conjunto sísmico de importancia.
- la zona de fractura Tecolutla - Chiltepec muestra una leve actividad sísmica únicamente en la cuenca del Golfo.

El sitio de Laguna Verde se encuentra a una distancia de 440 km. de la trinchera Meso-americana, donde los principales sismos de México se han producido.

En cuanto a criterios de diseño para sismos, se concluyó que la aceleración máxima a la cual un choque puede someter al sitio de Laguna Verde, es de alrededor de 0.1 g. A éste resultado se llega suponiendo un choque máximo de 6.5 R. originado en el Farallón Graben a 30 km. de distancia.

El terremoto base de diseño (DBE) se fijó a 0.26 g, y el terremoto base de operación (OBE) se fijó a 0.14 g, para las unidades uno y dos de la central.

#### 6.- SUELOS Y CIMENTACIONES.

Se realizaron 19 sondeos exploratorios cuyas profundidades variaron desde 55.0 mts. hasta 450.15 mts. Los resultados obtenidos corresponden a una secuencia litográfica que consiste

superficialmente de un derrame de basalto que se adelgaza hacia el poniente y se extiende hacia la zona de construcción de las unidades uno y dos, con espesores variables de 40 a 50 mts.; ésta roca es de color gris oscuro, fracturada superficialmente y de textura afanítica.

A profundidades variables, el derrame se encuentra dividido en dos partes por una brecha volcánica que constituye una capa delgada con espesores de más o menos 1.00 m., lo cual marca el contacto entre los derrames basálticos y los depósitos aluviales.

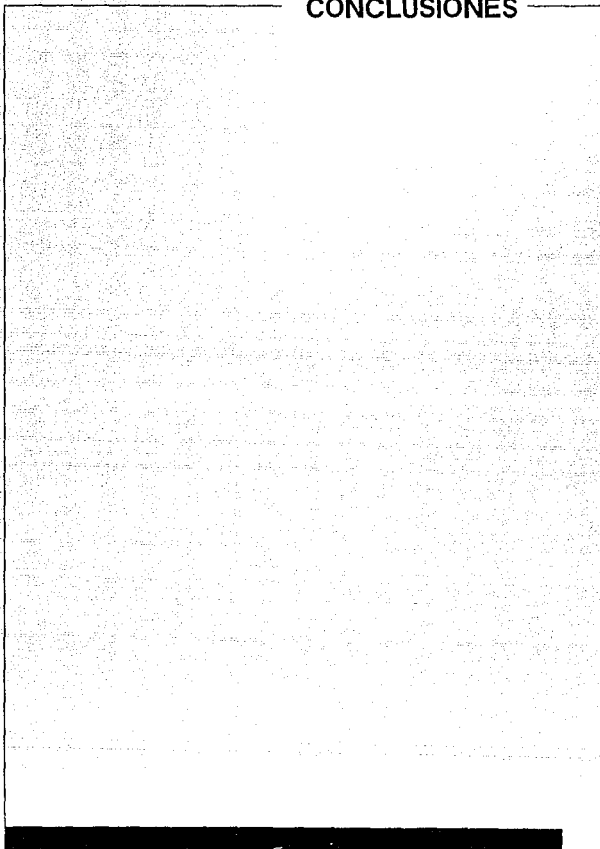
(1) ANEXO 3.

**ANEXO 3.**

- (1) PWR.- Reactor de agua presurizada.
- BWR.- Reactor de agua de ebullición.
- AGR.- Reactor refrigerado por gas.
- CANDU.- Reactor de agua pesada a presión, tipo CANDU.

(2) Los datos del capítulo "Primera Central Nuclear de México" pertenecen a la publicación "Central Nucleoelectrica No.2, Concurso CI-50/81. Tomo II."

## CONCLUSIONES



## CONCLUSION

Toda obra de inversión que se pretenda realizar debe de estar sujeta a un Proceso de Planeación, de tal forma que se pueda proyectar su desarrollo técnico-económico - como "Unidad única de desarrollo", así como parte integrante de todo un Plan de desarrollo.

A todo proyecto se le deberá dar importancia en su repercusión social, ya que generalmente esta supera al beneficio directo; esto tanto para proyectos públicos como privados.

No se debe olvidar que toda planeación conduce a una mejor utilización de nuestros recursos.

RICARDO LANGLE VAZQUEZ



## ***BIBLIOGRAFIA***

[Empty space for bibliography entries]



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- PLANEACION DE LA CAPACIDAD DE GENERACION FUTURA DE ENERGIA ELECTRICA. ARUN P. SANGUI Y DAVID R. LIMAYE. ENERGY POLICY, 1979.
- 2.- BOLETIN IIE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS, MEXICO. VARIOS VOLUMENES.
- 3.- PLAN DE EXPANSION DEL SECTOR ELECTRICO AL AÑO 2000. TOMOS I, II. CFE. GERENCIA GENERAL DE ESTUDIOS DE INGENIERIA PRELIMINAR.
- 4.- FOLLETO 50 ANIVERSARIO. CFE. 1937 - 1987.
- 5.- COSTOS Y PARAMETROS DE REFERENCIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS DE INVERSION EN EL SECTOR ELECTRICO. TOMO I, GENERACION. 1985. CFE.
- 6.- PLAN DE EMERGENCIA RADIOLOGICA EXTERNO. (INFORMACION AL PUBLICO). CFE.
- 7.- FOLLETOS DE INFORMACION. (INFORMACION AL PUBLICO), VARIOS, CFE.
- 8.- CATALOGO DE CENTRALES, ACTUALIZACION AL 21 DE JULIO DE 1987.
- 9.- ANUARIO ESTADISTICO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS. 1987. 1987. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. 1983 - 1986.
- 10.- PROYECCIONES CIEMEX WHARTON.
- 11.- 1er CONGRESO NACIONAL ACADEMICO MEXICANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEARES. AMECYTEN.

- 12.- PRECIOS INTERNOS Y EXTERNOS DE REFERENCIA DE LOS PRINCIPALES ENERGETICOS. PERODO 1970 - 1988. CFE. GERENCIA DE ESTUDIOS.
- 13.- DESARROLO DEL MERCADO ELECTRICO 1986 - 1994.
- 14.- COSTOS Y PARAMETROS DE REFERENCIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS. TOMO I, CFE. 1985.
- 15.- PRECIOS INTERNOS Y EXTERNOS DE REFERENCIA DE LOS PRINCIPALES ENERGETICOS. PERIODO 1970 - 1987. CFE. SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION. 2a EDICION. 1987.
- 16.- CENTRAL NUCLEOELECTRICA No. 2. CONCURSO CI - 50/81. TOMO II. APENDICE A. DATOS DEL SITIO.
- 17.- INFORME DE SEGURIDAD DE PRIMERA ETAPA. VOLUMEN I Y II. CFE. 1973.
- 18.- CENTRALES NUCLEARES EN LA REPUBLICA ARGENTINA, SU TECNOLOGIA Y SU IMPACTO REGIONAL. REPUBLICA ARGENTINA, COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES. 1974.
- 19.- SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE LA PRIMERA CENTRAL NUCLEAR EN MEXICO. DR. CARLOS VELEZ OCON. CFE. SECCION NUCLEAR. 1970.
- 20.- STATISTICAL ABSTRACT OF THE UNITED STATES, 1988. 108va EDICION. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. 1988.
- 21.- EL SECTOR ELECTRICO EN MEXICO. INEGI, 1985.

- 22.- SITING OF NUCLEAR POWER PLANTS. SWECO
- 23.- ESTADISTICAS HISTORICAS DE MEXICO. TOMO I. INEGI. MEXICO,  
1986.
- 24.- MANUAL DE CENTRALES NUCLEARES. INGENIERIA NUCLEAR. CFE.
- 25.- TECNICAS DE ANALISIS ECONOMICO PARA ADMINISTRADORES E  
INGENIEROS. JOHN R. CANADA. EDITORIAL DIANA. MEXICO 1977.
- 26.- GUIA PARA LA PRESENTACION DE PROYECTOS. ILPES. SIGLO  
VEINTIUNO EDITORES, 18a EDICION, MEXICO, 1989.