



## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### VI.1. Conclusiones.

- A. El mercado de los alimentos procesados ha crecido de manera importante, por lo que la exigencia a este sector industrial para que produzca alimentos seguros no se ha hecho esperar. A medida que van aumentando estas tendencias surge la necesidad de controlar la sanidad de dichos procesos.

La Industria Alimenticia requiere recubrimientos y acabados asépticos en sus zonas de proceso, con características especiales, y en muchos casos, superiores a las utilizadas convencionalmente para uso residencial o comercial. Además de lo anterior, requiere condiciones particulares de instalaciones como cancelería, drenajes, arreglo de áreas comunes, servicios, entre otros.

- B. El edificio de Proceso TPR1, se localiza en un suelo compuesto principalmente por depósitos de arcillas plásticas compresibles, clasificado como terreno tipo II. El coeficiente sísmico adoptado fue:  $c = 0.30$ , correspondiente a la zonificación sísmica "B" de la República Mexicana.

La determinación del tipo de terreno se realizó aplicando los conceptos del Manual de Diseño de Obras Civiles para Diseño por Sismo de la CFE, y adoptando el criterio prescrito en las NTC's para Diseño y Construcción de Cimentaciones, en su sección 2.2 "Reconocimiento del sitio". La cual, especifica que un terreno cuyos depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituido predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados, se puede clasificar como tipo II.

El estrato resistente se localizó a una profundidad aproximada de entre 9 m y 12 m. Basados en la exploración del subsuelo, el estudio de mecánica de suelos proporcionó información valiosa para el diseño de la subestructura, recomendando como elementos principales de carga, pilas coladas in situ apoyadas por punta a una profundidad de 11 m, ligadas en la parte superior con una retícula de trabes de concreto reforzado.

Los **estados límite de falla** en las pilas fueron determinados mediante las recomendaciones de las NTC's para Diseño y Construcción de Cimentaciones, sección 3.6., se consideró la capacidad de trabajo por punta y por fricción, debido a que el estrato de apoyo no excedió los 30 golpes para atravesar 30 cm el terreno durante la prueba de penetración estándar.

Para respaldar los valores anteriores, se compararon magnitudes con los valores obtenidos por el método simplificado que considera la capacidad de carga en función del número de golpes para atravesar cada estrato de suelo durante la prueba mencionada.

En esta revisión no se consideró la capacidad por fricción. La revisión se realizó para las tres etapas de construcción, los resultados obtenidos de la primera etapa solamente son informativos y son considerados únicamente como referencia de comparación debido a que la segunda fase de construcción está terminada y en funcionamiento.



En la tercera etapa se obtuvieron dos pilas con factores de seguridad por encima de los límites establecidos, **1.07** en los ejes K-6a y **1.01** en los ejes N-9a. Del mismo modo, para la segunda etapa se obtuvieron dos pilas con límites superiores, **1.18** en los ejes K-6a y **1.01** en los ejes K-3b. Se observa que la pila K-6a, en ambas etapas estará sometida a esfuerzos superiores a los recomendables.

Considerando que de las diecinueve o veintitrés pilas, según la etapa constructiva correspondiente, solamente una pila del conjunto rebasa los límites establecidos, que el factor de seguridad general es de **0.7** y que se adoptó el valor menor calculado para capacidad de carga. Podemos concluir que **la subestructura cumple con condiciones de seguridad aceptables** para cualquier condición o combinación de cargas.

Además, en base a la revisión de **estados límite de servicio**, los asentamientos máximos esperados son del orden de 4.1 cm y el diferencial de 1.8 cm. Los asentamientos máximos establecidos por las NTC's en su sección 3.1 son, 15 cm para construcciones colindantes y el diferencial de 1.9 cm para estructuras con muros de mampostería. Por tanto, **los valores están dentro de los límites aceptables**.

- C. Los criterios de análisis y diseño estructural para definir las acciones actuantes en los elementos estructurales, factores de carga, factores de resistencia y procedimientos de revisión para flexocompresión, flexión y cortante, se tomaron del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente, RCDF04, de sus Normas Técnicas Complementarias, NTC's, y del Manual de Diseño de Obras Civiles para Diseño por Sismo de la CFE, en su versión 1993.

El análisis y diseño estructural se realizó mediante métodos computarizados, con las computadoras y programas se pueden realizar de forma rápida complejos cálculos y así tener ventajas, se pueden efectuar modificaciones y repetir los cálculos cuantas veces se requiera buscando la solución óptima.

Pero también existe un riesgo, si no se han comprendido perfectamente las hipótesis y las condiciones del programa que se está utilizando, o no se verifican cuidadosamente los datos de entrada y se comprueba la congruencia de los resultados pueden cometerse errores desafortunados. Esto puede presentarse con mucha facilidad, obteniéndose resultados con poca o ninguna relación con el problema a resolver.

Se debe considerar que las computadoras son herramientas poderosas y útiles, pero no dejan de ser máquinas que dependen de un usuario. Es por ello que, el uso de algunos métodos aproximados para revisar rápidamente la congruencia de los resultados pueden ser de mucha utilidad.

De acuerdo al Artículo 139 del RCDF04, la estructura se clasificó dentro del Grupo B, subgrupo B2, es decir, corresponde a edificaciones comunes, destinadas a viviendas, oficinas, locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales, que no exceden de 30 m de altura ni más de 6 000 m<sup>2</sup> de área total construida. Edificaciones cuya falla estructural no constituye un peligro significativo.



La estructura se analizó tridimensionalmente, considerando una rigidez infinita en los apoyos del edificio con las pilas que lo soportan. El análisis estructural se hizo por el método de las rigideces y se aplicó un análisis modal espectral para determinar la respuesta dinámica de la estructura ante un sismo. Se consideraron los efectos P-delta en la estructura para cargas gravitacionales.

Se generaron cuatro condiciones básicas de carga, las acciones que se consideraron actuando sobre la estructura fueron: *Cargas Muertas* (peso propio, peso de tuberías y equipos fijos). *Cargas Vivas máxima e instantánea* (actuando sobre la losas de azotea y de entrepiso). *Sismo*, fuerzas laterales debidas a movimientos horizontales (peso total de la estructura más carga viva instantánea). *Viento*, no rige para este estudio, solamente se compararon magnitudes con el sismo.

Con las cuatro condiciones de carga, se realizaron nueve combinaciones básicas de carga para revisión de estados límite de falla y nueve combinaciones básicas de carga para revisión de estados límite de servicio.

Los criterios para determinar las acciones sísmicas fueron:

- El factor de ductilidad adoptado en ambas direcciones,  $Q = 2.0$ , afectado por un factor de irregularidad de la estructura igual a 0.8, quedando  $Q' = 1.6$ .
- El coeficiente sísmico básico considerado,  $c = 0.30$ , y el coeficiente de diseño sísmico,  $c_d = 0.1875$ .
- Se tomaron en cuenta los efectos bidireccionales del sismo, los efectos del componente horizontal del movimiento del terreno se combinan tomando el 100% del componente en la dirección de análisis más el 30% del componente perpendicular a ella.

Se revisó la estructura para las tres etapas de construcción, lo que significó la revisión y el análisis de resultados para cada modelo estructural como se ve a continuación en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Nudos y miembros de los tres modelos estructurales.

<b>Etapas de obra</b>	<b>Nudos</b>	<b>Apoyos</b>	<b>Trabes</b>	<b>Columnas</b>	<b>Muros</b>	<b>Losas</b>
Primera	105	15	140	87	49	19
Segunda	139	19	197	107	59	31
Tercera	172	23	252	129	80	43
<b>TOTAL</b>	<b>416</b>	<b>57</b>	<b>589</b>	<b>323</b>	<b>188</b>	<b>93</b>



Del análisis estructural se obtuvieron fuerzas y momentos internos producidos por las acciones a las que puede estar sujeta la estructura ante una sollicitación sísmica extraordinaria, se determinaron por métodos que suponen un comportamiento elástico-lineal.

Se obtuvieron las propiedades dinámicas de la estructura, frecuencias y modos de vibrar, para las tres etapas de construcción. Los valores del periodo natural de vibración para el primer modo para las tres etapas de obra son del orden de 0.57 seg a 0.62 seg. Se observa poca variación entre los valores obtenidos, sin embargo, el grado de libertad en el primer modo de vibrar para la primera etapa de construcción es en la dirección (X), y para las dos siguientes etapas cambia a la dirección ortogonal (Y).

Con las fuerzas y momentos internos obtenidos se realizó la revisión por estados límite de falla y de servicio. Aplicando los conceptos del RCDF04 en su título sexto y de sus NTC's para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería y de Concreto.

Revisando los **estados límite de falla**, de las 323 columnas, solo una excede los valores considerados y corresponde a la primera etapa de obra; solo se hace mención de esta, ya que actualmente la segunda etapa de construcción está terminada y en operación, en las dos etapas siguientes tiene valores promedio de **0.53**, satisfactorios, por debajo del límite fijado.

De las 589 trabes, ninguna excede los límites establecidos, su valor promedio es por debajo de **0.59**. Se revisaron dos elementos de losa de piso, uno monolítico colado in situ y otro prefabricado pretensado, ambos presentan comportamientos satisfactorios y aceptables.

Los elementos más vulnerables son los muros de rigidez, se revisaron 188 elementos para las tres etapas de construcción, se observó un comportamiento con grandes concentraciones de fuerzas en la zona del elevador. Se alcanzan factores de **1.04** a **1.93** en la planta baja, de **1.06** a **1.37** en el segundo nivel y de **1.22** en el nivel 4. Valores superiores a los límites establecidos e inaceptables.

Para contrarrestar los esfuerzos excesivos que se presentan en los muros, se propone un refuerzo con diagonales en forma de cruz o "contraventeos", a base de tubos de acero al carbón de 8 pulgadas de diámetro, cédula 40; instalados en la crujía del eje K, entre los ejes 5a - 6a, en los niveles del 1 al 4.

Se realizó el análisis y revisión estructural con el correspondiente refuerzo para la segunda y tercera etapas de construcción, observando en la zona del elevador la recurrente concentración de esfuerzos, resultando factores ligeramente superiores a **1.05**; sin embargo, de los 13 elementos con esfuerzos excesivos, con el refuerzo propuesto se reducen a solo 4 elementos, de los cuales, tres no exceden el valor de **1.09** y solamente uno presenta un valor de **1.34**. En la tabla 5.2 se muestran los resultados comparativos de la etapa actual y con el refuerzo propuesto.

Tabla 5.2. Comparación de estados límite de falla en muros.

TABLA COMPARATIVA ESTADOS LÍMITE DE FALLA EN MUROS				
Eje	Muro	Nivel	FS Condición actual	FS Condición con refuerzo
K	K (3b-4a)	0/1	1.93	1.34
	K (6a-7b)	0/1	1.30	0.88
	K (7b-9a)	0/1	1.04	0.80
	K (3b-4a)	1/2	1.24	0.79
	K (6a-7b)	1/2	1.37	0.91
	K (7b-9a)	1/2	1.06	0.80
	K (6a-7b)	2/3	1.21	0.85
	K (4a-5a)	4/5	1.22	0.90
K1	K1 (3b-4a)	0/1	1.46	1.03
3b	3b (K-K1)	0/1	1.17	1.09
N	N (4a-5a)	0/1	1.46	1.05
	N (4a-5a)	1/2	1.09	0.80
	N (5a-6a)	1/2	1.03	0.80

A manera de ejercicio se realizó el análisis estructural de las tres etapas de construcción, para revisar la seguridad estructural de trabes y columnas ante la posibilidad de agrietamiento en muros a consecuencia de un sismo intenso. Para simularlo, se consideró el modelo del estado actual y se disminuyó la rigidez de muros, observándose que aún agrietados siguen aportando rigidez al sistema estructural sin poner en riesgo la seguridad del conjunto.

Al revisar los **estados límite de servicio**, aplicando los criterios de las NTC's, sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de Edificaciones, para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto Mampostería y Sismo, se calcularon los desplazamientos relativos y se obtuvo que la distorsión no excede los límites considerados, por lo que **el comportamiento del sistema estructural es satisfactorio**.

Por lo anteriormente expuesto, podemos concluir que el comportamiento del edificio para las condiciones actuales y ante una eventual sollicitación sísmica extraordinaria, puede presentar daños estructurales leves en los muros de la planta baja y segundo nivel en la zona del elevador; sin que esto ponga en inminente riesgo la capacidad resistente del resto de los elementos estructurales.



- D. Para la construcción se aplicaron los criterios establecidos en el RCDF04 y sus NTC's, se emplearon especificaciones de construcción de dependencias como Petróleos Mexicanos (PEMEX), Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE) y Normas de Supervisión de Obras del Distrito Federal. Para la inspección y calidad de los materiales se especificaron las Normas Mexicanas (NMX), aplicables. Para los criterios de seguridad e higiene se aplicaron los criterios sugeridos en las guías emitidas por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).
- E. El costo de un proyecto se aproximará más a la realidad en la medida que las Ingenierías básica y de detalle estén completas. De esta manera se pueden elaborar los conceptos y cantidades de obra de una manera más clara para la contratación de una obra. La competencia laboral entre compañías contratistas es lo más saludable para las finanzas de los inversionistas. Para ello, lo recomendable es elaborar cuadros comparativos detallados con conceptos de obra, cantidades y precios unitarios, independientemente del tipo de contrato que se piense negociar. Se estimó un coeficiente de costo por unidad de área, para edificaciones industriales de esta naturaleza, incluye trabajos de preparación del terreno, terracerías y drenajes; resultando un valor de 8,500.00 pesos por m<sup>2</sup>, actualizado al año 2010.
- El tiempo es un factor, que aunque no se ve, representa dinero, no solo para la empresa contratista, también para los propietarios. En la Industria Alimenticia como en muchas otras, el hecho de no poner en operación una instalación en el tiempo programado, les puede significar pérdidas cuantiosas, e incluso la pérdida de sus clientes. Es por esto que, el seguimiento puntual de una obra debe hacerse mediante programas con rutas críticas, y revisarse por lo menos una vez por semana para analizar y corregir en su caso posibles desviaciones con los tiempos de entrega.
- F. El trabajo de tesis aquí presentado, es una recopilación de hechos reales, que en lo personal me han dado la oportunidad de investigar más sobre las diferentes disciplinas de la Ingeniería Civil que intervienen durante la realización de un proyecto integral. Espero que algún día pueda servir como material de consulta a estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, e incluso a profesionista en la práctica de la construcción.

## VI.2. Recomendaciones.

Para evitar el deterioro prematuro de los recubrimientos asépticos, se propone tener un programa de mantenimiento preventivo y correctivo, realizado por empresas dedicadas a la especialidad.

En relación a la extensión del edificio en su tercera etapa, se recomienda hacer un levantamiento de niveles del estado actual para compararlo con la etapa final de construcción, estableciendo un banco de nivel fijo, de tal forma que se puedan estimar los hundimientos instantáneos y diferenciales por el crecimiento del edificio.

Además del refuerzo mencionado en el eje K, se propone aumentar la rigidez de los muros del cubo de elevador en la planta baja, mediante un refuerzo con malla electrosoldada, anclada firmemente a los



paramentos de los muros y recubriéndolo con mezcla de cemento - arena en proporción volumétrica 1:2, con un espesor de 25 mm. Se recomienda realizar estos refuerzos tan pronto como sea posible.

Dada la importancia de los muros en el sistema estructural, se aconseja no remover parcial o totalmente ninguno de ellos, a menos que, mediante un análisis y revisión estructural se demuestre que el comportamiento del edificio no será afectado.

Deberá inspeccionarse detalladamente todo el edificio, periódicamente, una vez cada seis meses y después de cada evento sísmico intenso. La inspección será por un experimentado en la materia, de tal manera que se pueda evaluar y diagnosticar el estado físico de la estructura resistente. En caso de daños estructurales, estos deberán ser atendidos inmediatamente y de acuerdo con procedimientos normalizados.

Sugiero que la Facultad de Ingeniería de la UNAM implemente en su plan de estudios para las próximas generaciones de egresados, cursos o programas que fomenten el interés y la cultura de la seguridad e higiene en la construcción.