

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
Programa Académico de Ingeniería Civil



POSIBLE EFECTO EN INSTALACIONES  
INDUSTRIALES BAJO LA HIPOTESIS DE LA  
OCURRENCIA DE UN SISMO DESTRUCTIVO  
EN EL AREA DE LIMA METROPOLITANA.

TESIS DE GRADO

Para optar el Título de Ingeniero Civil

RAUL ENRIQUE ROSALES TRELLES

Director de Tesis: Ing. JULIO KUROIWA HORIUCHI

Lima - Perú 1974

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES

Quienes con su sacrificio, abnegación  
y constante aliento, supieron ayudarme  
a hacer de mi un profesional.

## AGRADECIMIENTO

A la Secretaría Ejecutiva del Comité Nacional de Defensa Civil, por la ayuda y facilidades brindadas para la ejecución de este trabajo.

A los miembros del Sub-grupo de Infraestructura de Edificación del Comité Nacional de Defensa Civil, por sus valiosos aportes.

Al Ministerio de Industria y Comercio; Oficina Nacional de Estadísticas y Censos; Instituto Geofísico del Perú; Ministerio de Vivienda (Oficina de Planeamiento y Desarrollo Urbano); Ministerio de Agricultura (Dirección de Aguas Subterráneas) y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en las diferentes fases de este trabajo.

A los alumnos del curso de Ingeniería Antisísmica del P.A.I.C. de la U.N.I. , por su valiosa colaboración en la labor de encuesta.

A los Directores, Gerentes y personal de las firmas industriales que brindaron facilidades para el mejor logro de este trabajo.

A mis profesores, que con su dedicación y consejos, me brindaron una adecuada formación técnica para contribuir a través de mi profesión al desarrollo del país.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<u>PROLOGO</u>	
Resumen . . . . .	1
CAPITULO I.- INTRODUCCION . . . . .	1
1.10. Localización sísmica de la ciudad de Lima	1
1.20. Lima, sede de la Industria Nacional	4
1.30. Necesidad de proteger la industria Peruana	7
CAPITULO II.- OBJETIVOS E HIPOTESIS DEL PRESENTE ESTUDIO . .	10
2.10. Objetivo . . . . .	10
2.20. Hipótesis . . . . .	10
2.30. Estudio estadístico de la ocurrencia de sismos en el área de Lima Metropolitana . . . . .	11
CAPITULO III.- EFECTOS Y ENSEÑANZAS DE SISMOS	
ANTERIORES . . . . .	19
3.10. Daños ocasionados por sismos . . . . .	20
3.1.1. Daños ocasionados a la edificación . . . .	20
3.1.2. Daños ocasionados a las instalaciones industriales . . . . .	31
3.20. Daños ocasionados por tsunami . . . . .	52
CAPITULO IV.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL AREA EN ESTUDIO Y METODOLOGIA DEL TRABAJO . . . . .	54
4.10. Generalidades . . . . .	54
4.1.1. Ubicación de las industrias de Lima Metropolitana . . . . .	54

4.1.2. Consideraciones físicas del área en estudio . . . . .	55
4.20. Metodología de la encuesta . . . . .	58
4.2.1. Descripción de las fichas de encuesta. . . . .	59
4.2.2. Trabajo de campo . . . . .	70
<b>CAPITULO V.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS. . . . .</b>	<b>74</b>
5.10. Metodología empleada . . . . .	74
5.20. Resultados y Comentarios . . . . .	77
5.2.1. Edificación . . . . .	77
5.2.2. Instalaciones industriales . . . . .	94
5.2.3. Seguridad Industrial . . . . .	95
5.2.4. Abastecimiento de energía . . . . .	101
5.30. Evaluación de las pérdidas económicas . . . . .	103
5.3.1. Metodología seguida . . . . .	103
5.3.2. Resultados obtenidos . . . . .	104
5.40. Apreciaciones sobre el problema socio económico a generarse como consecuencia de la hipótesis planteada. . . . .	105
<b>CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .</b>	<b>107</b>
6.10. Conclusiones . . . . .	107
6.20. Recomendaciones . . . . .	113
<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>123</b>
Anexo N. 1. Antecedentes sismológicos de Lima Metropolitana	A-1
Anexo N. 2. Principales definiciones y conceptos utilizados en la Información Estadística (Ministerio de Ind. y Com)	A-10
Anexo N. 3. Escala de Intensidad Mercalli	A-12
Anexo N. 4. Algunas consideraciones sobre depósitos de com - bustible . . . . .	A-15
Anexo N. 5 Clases de incendios y los extinguidores mas adecua <u>dos</u> para cada caso . . . . .	A-19

## R E S U M E N

### CAPITULO I.- INTRODUCCION.-

Lima Metropolitana, se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo: El Círculo Circumpacífico, cinturón sísmico en el cual han ocurrido más del 80% de los sismos que se han detectado en nuestros días.

Lima, constituye actualmente el eje de la actividad industrial del país, como lo es de la actividad económica, financiera, etc.

Es significativo señalar, que conteniendo el área Metropolitana un 50% de la población con capacidad de compra, produzca el 82% de los bienes de consumo y el 92% de los bienes de consumo duradero y de capital.

Las pérdidas materiales que ocasionan los desastres naturales en el mundo entero, son de un valor incalculable, no obstante, las pérdidas humanas, la interrupción de la actividad productiva y el gasto de socorrer en el desastre, son difícilmente considerados porque agrandarían mucho las pérdidas ocasionadas por el desastre.

La historia está llena de ejemplos de terribles daños ocasionados por los sismos.

- Tokyo, 1 de Set. de 1923.- La ciudad de Tokyo totalmente destruida, 143,000 personas muertas y pérdidas materiales calculadas en esa época en 2,500 millones de dólares.

- Sur de Chile, Marzo de 1960.- Las pérdidas materiales, se estimaron en 500 millones de dólares (\$ de 1,960), una cifra tan alta como el 50% del P.N.B. para ese año y 12% del Producto Nacional Bruto.

- Ancash, 31 de Mayo de 1970.- Desastre de tan ingrato recuerdo para todos nosotros, ocasionó 50,000 muertes, 150,000 heridos 20,000 desaparecidos y daños estimados en S/ 24,000'000,000 (550 millones de dólares), de los cuales, 60% correspondieron

a edificaciones (S/ 14,400'000,000).

- Managua, 23 de Diciembre de 1,972.- Percieron 12,000 personas y ocasionó daños por 1,000 millones de dólares, desbaratando casi el 50% del Producto Bruto de la Nación y perdiéndose mas del 50% de las fuentes de ingreso del gobierno y el 25% de la población del país quedó sin medios para atender las mas esenciales necesidades de la vida.

El alto valor del capital, la protección de las fuentes de producción en caso de fallas, debido por ejemplo a un sismo y la alta concentración de la industria peruana en un solo sitio: Lima Metropolitana, son factores que nos encaminan a comprender la necesidad de protección sísmica de la industria de nuestro país. Se hace entonces perentorio, tomar precauciones para proteger la industria, otros países mas adelantados que el nuestro así lo han comprendido.

El gobierno de Tokyo, anunció en Agosto de este año, que gastará un equivalente de unos 4,600 millones de dólares, durante un período de cinco años, en un esfuerzo por reforzar la ciudad contra los temblores e incendios. Este plan contempla un reacondicionamiento de todo tipo de construcciones que comprende desde locales escolares, hospitales e industrias, hasta estaciones de bomberos y reforzamientos de puentes vehiculares y peatonales.

## CAPITULO II.- OBJETIVO E HIPOTESIS DEL PRESENTE ESTUDIO.-

Este trabajo, forma parte de un plan de Defensa Civil del área de Lima Metropolitana, ante los efectos sísmicos. Su objetivo fundamental es :

Analizar los daños que podrían sufrir las industrias de Lima Metropolitana, bajo la hipótesis de la ocurrencia de un sismo de grado VIII M.M., en la región central de la costa del Perú, con epicentro cercano a la ciudad de Lima.

Como complemento de la hipótesis, se ha hecho un estudio estadístico sobre la probabilidad de ocurrencia de sismos destructores en el área de Lima Metropolitana.

### III

#### CAPITULO III.- EFECTOS Y ENSEÑANZAS DE SISMOS ANTERIORES.-

Con el fin de obtener información sobre la forma como se han comportado las industrias en otros terremotos, se ha hecho una recopilación de las experiencias de otros sismos. Se ha tomado como referencia sismos ocurridos tanto en el Perú como en otros lugares del mundo.

En este estudio, se consideró preferentemente, los daños ocasionados por los sismos, no obstante se hace un pequeño comentario de los daños que también han ocasionado los tsunamis.

Al estudiar los daños ocasionados por los sismos, se consideró tanto los efectos en la edificación como en las instalaciones.

#### CAPITULO IV.- CONSIDERACIONES SOBRE EL AREA EN ESTUDIO Y METODOLOGIA DEL TRABAJO.-

Primeramente, se delimitó el área en estudio en 5 zonas geográficas. Se ha hecho un análisis de las condiciones físicas de la zona en estudio (geología, tipo de suelo y nivel de la napa freática).

Asi mismo, en este capítulo, se indica la metodología empleada para estudiar las industrias (método del muestreo) y se hace una descripción de las fichas empleadas en la encuesta, presentándose un modelo de la misma.

#### CAPITULO V.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS.-

En este capítulo, primeramente se indica la metodología empleada para la evaluación de los resultados y a continuación se hace un análisis de los mismos. En este capítulo, se analizan diferentes aspectos tanto de la edificación como de las instalaciones industriales y otros aspectos relacionados con la seguridad industrial.



## CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

### CONCLUSIONES.-

- Por sus condiciones físicas (geología, tipo de suelo y profundidad de la napa freática), las zonas industriales mas desfavorables son la del Callao y Chorri - llos.
- Las zonas que tienen mayor concentración de industrias antiguas, de adobe y en mal estado, son Lima y Breña. Asimismo, existen numerosas industrias que podrían colapsar sobre todo aquellas de prioridad II y III y las de las zonas de Lima y Breña.
- Los problemas encontrados en las edificaciones, no son nuevos, son los mismos que han causado graves daños en otros sismos: muros de adobe esbeltos y erosionados, falta de arriostre en muros de ladrillo, mochetas de ladrillo que sobresalen del muro y que sirven de apoyo al techo, posible efecto de columna corta, rigidización de columnas, etc.
- En cuanto a las instalaciones industriales, solo se han detectado las deficiencias mas saltantes por falta de colaboración en las fábricas para efectuar estudios mas detenidos.
- Actualmente no se da la debida importancia al Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial. Además es bueno anotar, que el caso de los sismos resulta una novedad para la gran mayoría de empresarios y personal de las fábricas.
- En toda industria existe el problema latente del fuego, pero un 24% de las fábricas encuestadas, no cuentan con ningún medio para combatir incendios.
- Existe un 14% de fábricas que no cuentan con ningún servicio médico ni de primeros auxilios y un 70% solo cuenta con botiquín de primeros auxilios.
- En cuanto a abastecimientos de energía, las fábricas, dependen casi en su totalidad de la energía eléctrica de la red pública, solo el 4% de las fábricas tienen abastecimiento propio.

- Las pérdidas económicas debidas a un sismo de grado VIII M.M., en las industrias de Lima Metropolitana, podrían ser del orden de los S/ 8,000'000,000 y para su reparación se necesitaría alrededor de S/12,000'000,000. Es conveniente anotar que en las pérdidas no se ha incluido lo que dejarían de percibir las fábricas durante su paralización, cantidad que puede resultar sumamente elevada, si tenemos en cuenta que las fábricas tipo A y B que podrían paralizar, producen alrededor de S/ 112'000,000 diarios.
- La paralización de las industrias afectadas, generaría hondo problema ocupacional, social, de suministro de productos manufacturados al resto del país y significaría un rudo golpe a la economía y desarrollo de la nación.

#### RECOMENDACIONES.-

- Por seguridad y economía, es impostergable realizar cuanto antes los estudios de microzonificación sísmica del área de Lima Metropolitana.
- Realizar estudios probabilísticos de riesgo sísmico a nivel de todo el territorio nacional, a fin de determinar un orden de prioridades para las diferentes zonas del país, en un Plan Nacional de Defensa Civil.
- Se requiere, se promuevan programas de entrenamiento o actualización en Ingeniería Antisísmica, los que podrían ser impartidos en forma de cursos de Post-grado o conferencias.
- Se recomienda, se proceda a reforzar las edificaciones industriales, adoptando aquellas soluciones que con poca inversión produzcan un considerable aumento en la resistencia sísmica de la estructura. Esto, puede hacerse extensivo a otros aspectos, tales como seguridad de maquinaria, seguridad industrial, etc.
- Debe darse mayor énfasis en el Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial,

al problema sísmico, debiendo contemplar específicamente un plan de emergencia para el caso de los sismos, el que debe ser complementado con entrenamiento.

- Organizar cursos para el personal encargado de la seguridad de las plantas industriales.
- En cuanto a primeros auxilios, se recomienda que las fábricas, cuenten como mínimo con un botiquín convenientemente equipado y con personal debidamente entrenado en prestar auxilios a los heridos.
- Respecto a abastecimiento de energía, se recomienda que cuando menos, las fábricas grandes y de primera prioridad, cuenten con generadores de emergencia u otros sistemas que garanticen la no interrupción del proceso industrial en caso de emergencia.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.10.- LOCALIZACION SISMICA DE LA CIUDAD DE LIMA.-

La ciudad de Lima, se encuentra ubicada dentro de una de las zonas más activas del mundo: El Círculo Circumpacífico, cinturón sísmico en el cual han ocurrido mas del 80% de los sismos que se han detectado hasta nuestros días.

Mediante la estadística se ha ubicado diferentes zonas donde continuamente ocurren movimientos sísmicos. A estos lugares se les denomina zonas sísmicas o fallas geológicas y fundamentalmente son cuatro: (1)

- a) La Circumpacífica que comprende, Alaska, el oriente de China , Japón, Borneo y Filipinas, la costa oriente de Australia, Chile , Perú, Ecuador, Colombia, Centroamérica, México, y la costa occidental de Estados Unidos.
- b) La de los mares mediterráneos que abarca el Mediterráneo propiamente dicho, las costas del Mar Rojo, el sur de la India, las islas Célibes, atravieza el Pacífico hasta las Galápagos (frente a Ecuador), sube por Panamá, pasa por el Mar de las Antillas (Caribe) y vuelve a Gibraltar.
- c) La falla de Africa Oriental, baja por Abisinia, sigue por Kenia , Somalía, Tanganica, Mozambique y por Sudáfrica y baja hasta Cabo de Buena Esperanza.
- d) La que se podría llamar "asiática", que comprende el Mar Negro, va hacia el Noroeste de Irán, se dirige al Cáucaso y termina por la Cordillera de Himalaya.

El origen de la actividad sísmica, es asociado principalmente al movimiento de placas. El levantamiento del material en las crestas de

las cordilleras oceánicas del Pacífico y Atlántico, produce dos fuerzas laterales cuya interacción es manifestada en la costa oriental de Sudamérica. Mapas de los parámetros de sismicidad para el Perú (2), revelan que la actividad sísmica ocurre en la zona de interacción entre las placas Nazca y Sud-americana (Fig. N.1.1.)

Un mapa de "energía" para el período 1947-1963, muestra que la actividad sísmica se concentra en dos bandas sismogénicas. Una la Banda Costera (en la que se encuentra Lima), que corre entre la fosa marina Perú-Chile y los Andes, y la otra, la Banda Sub Andina, entre los Andes y la Planicie Amazónica. La distribución de epicentros de sismos fuertes desde 1900 hasta 1972, confirma en líneas generales esta distribución areal de la actividad sísmica.

Si se clasifican por países, los sismos de magnitud superior a 5, ocurridos en América del Sur, en el período comprendido entre 1960-1969, se obtiene el siguiente cuadro: (3).

<u>PAIS</u>	<u>NUMERO DE SISMOS (*)</u>
Chile	370
Perú	238
Ecuador	96
Argentina	93
Colombia	63
Brasil	55
Bolivia	49
Panamá	37
Venezuela	22
Nicaragua	21
Costa Rica	17

---

(\*) También se ha considerado como sismos ocurridos en un país aquellos cuyo epicentro ha estado ubicado en el mar frente a su costa; y aquellos sismos cuyo epicentro ha estado en la frontera de 2 países se ha considerado como si hubiera ocurrido en ambos.

# EFFECTO DE LA PLACA DE NAZCA EN LA COSTA DEL PACIFICO



<b>RAUL E. ROSALES TRELLES</b>		<b>PLACAS QUE EJERCEN PRESION SOBRE LA COSTA DEL PACIFICO</b>		<b>FIG 1.1</b>
<b>TESIS DE GRADO</b>				
<b>FECHA</b>	1973	<b>ESCALA</b>	<b>REFERENCIA</b>	
			JAMES E. (4)	

Del siguiente cuadro, podemos deducir que después de Chile, Perú es el país que detenta mayor actividad sísmica en América del Sur.

Un mapa de intensidades calculadas por Huaco y Castillo en 1963 en base de las magnitudes de los sismos usando las fórmulas de Shebalin, que permiten hallar la intensidad (I) en función de la magnitud (M) y de la profundidad del foco (h), (\*) reveló que toda la costa fue afectada por intensidades mayores de VI en la escala Mercalli Modificada, con zonas altamente destruidas entre Ica y Moquegua, en el Sur, y norte de Lima, sur de Cajamarca en el norte. Estas zonas de alta intensidad calculada son el reflejo de los efectos de la banda sismogénica costera. En el interior del continente, centros de alta intensidad existieron al norte de Puno, Cuzco y Chachapollas. Estos centros están asociados con la Banda sismogénica Sub Andina. Asimismo, si observamos el mapa de distribución de los sismos destructores ocurridos en el Perú entre 1555 - 1973, elaborado por el Instituto Geofísico del Perú, encontramos que la zona de Lima y Callao ha sido afectada en ese período de tiempo, por sismos cuyas intensidades varían entre el grado VII y X de la escala Mercalli Modificada. (Veáse Fig. 1.2)

(\*) Las fórmulas de Shelabín son :

$$\text{Para sismos con } H \leq 60 \text{ Km} : I = 1.52 M - 3.5 \log h + 3$$

$$\text{Para sismos con } H > 60 \text{ Km} : I = 1.50 M - 3.4 \log h + 5.4$$

## 1.20. LIMA, SEDE DE LA INDUSTRIA NACIONAL.-

Lima, constituye en la actualidad, el eje de la actividad industrial del país, como lo es también de su actividad económica, financiera, administrativa, social y cultural.

Los productos industriales limeños, desplazan actualmente a la producción artesanal o semi industrial de otras áreas del país, que por razones de aislamiento o no integración a la economía monetaria moderna que se desarrolla en Lima, han desarrollado economías de tipo regional.

Es significativo señalar que conteniendo el área Metropolitana un 50% de la población con capacidad de compra, produzca el 82% de los bienes de consumo y el 92% de los bienes de consumo duradero y de capital (5), lo cual da una idea que Lima abastece con productos manufacturados al resto del país.

El flujo de manufacturas del área de Lima Metropolitana, hacia el resto del país, tiende a impedir que las ciudades del interior desarrollen una industria propia, ya que su reducido mercado local o regional, no les permite competir con las industrias limeñas que cuentan con un mercado mucho más amplio, permitiéndoles alcanzar escalas de producción mas ventajosas.

Otros factores, que favorecen la concentración industrial de Lima Metropolitana son los siguientes:

- Disponibilidad de energía en mayor cantidad y generalmente a mas bajo precio que en el resto del país.

- Existencia en el área de obreros calificados, profesionales y técnicos.

Las pocas facilidades y atractivos que brinda el resto del país, no facilitan ni estimulan el desplazamiento de personal de este tipo.



Existencia en el área de Lima, de los mas importantes servicios auxiliares de la industria (reparaciones, repuestos, etc), esto induce a los propios industriales, a preferirla como sede de sus empresas.

- La dependencia de la industria nacional con respecto a insumos y equipos importados. Aún cuando otras ciudades costeñas disponen de mayores facilidades portuarias, el puerto del Callao, sigue siendo el principal puerto importador del país con el 83% de importaciones. Así, la concentración del mercado nacional en el área de Lima Metropolitana actúa como polo de atracción de las importaciones.

- La concentración en el área de Lima Metropolitana de los servicios financieros y crediticios.

Analizando la producción industrial, de los establecimientos industriales de Lima Metropolitana con mas de 5 personas ocupadas, referida al total del país, se tienen los siguientes resultados:

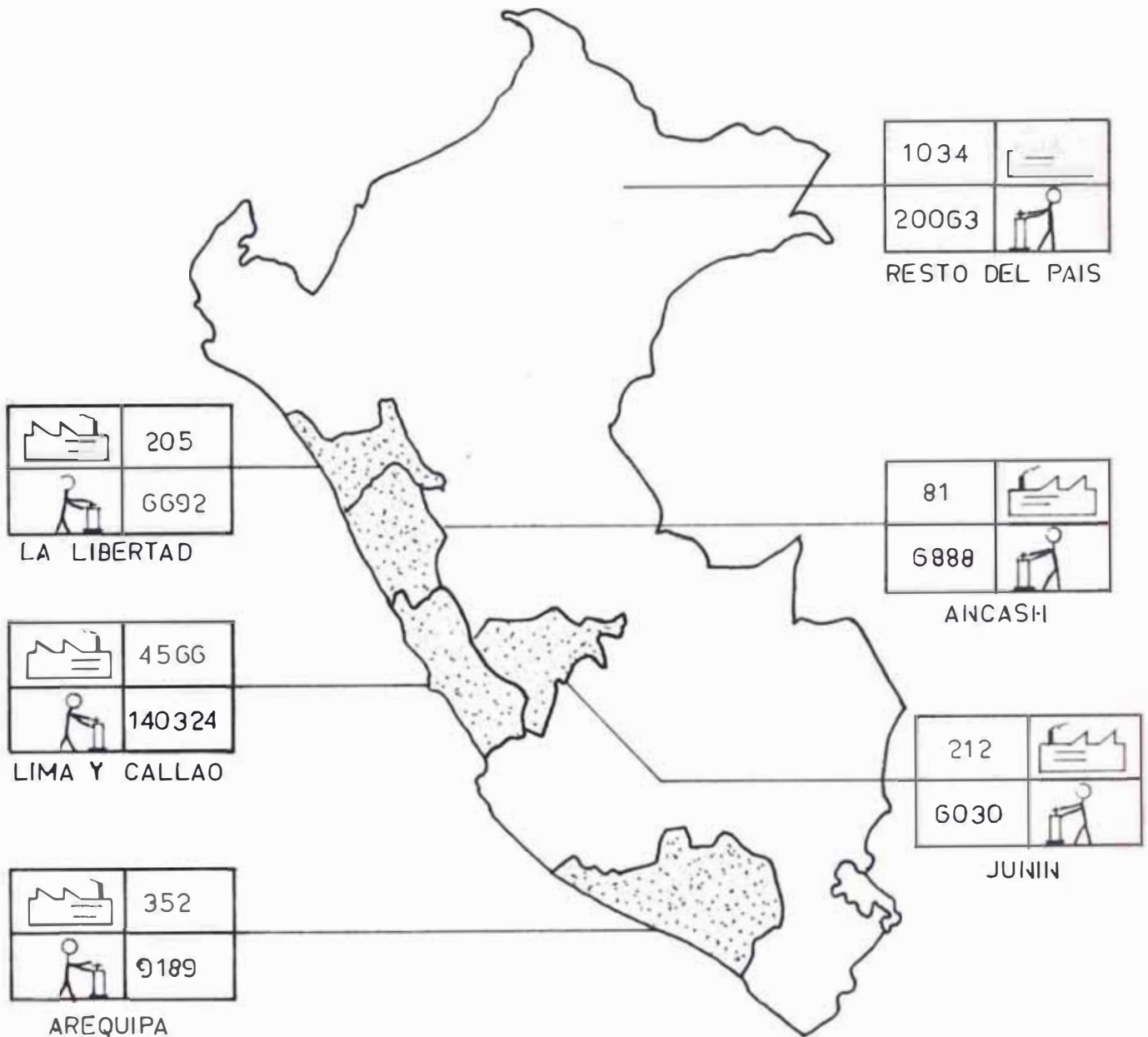
CUADRO N. 1.1 (6)



ASPECTO	TOTAL DEL PAIS	LIMA METROPOLITANA	% DEL TOTAL
Número de establec. ind.	6,619	4,566	69
Personas ocupadas	194,241	140,324	72.2
Valor bruto de la producción (miles de soles)	96'942,640	63'048,323	65
Valor total de los insumos (miles de soles)	51'575,512	33'165,426	64.2
Valor agregado (miles de soles)	45'367,128	29'882,897	66

Este cuadro, muestra claramente, el alto porcentaje de concentración industrial existente en Lima Metropolitana, no solo en cuanto al número de establecimientos industriales (Fig. 1.3), sino también en cuanto al valor bruto y agregado de la producción (Veáse anexo # 2), (Fig. 1.4). No obstante, hay que señalar que la producción del resto del país está conformada por productos escasamente elaborados y por consiguiente relacionados con el sector primario (agricultura y minería), que con el secundario (industria).

Así tenemos que el 75% de la producción industrial de la zona norte, está constituida por azúcar y petróleo y el 80% de la producción del norte medio por azúcar y harina de pescado (40% y 40%) el 37% y el 50% de la producción industrial del centro corresponde a la refinación de minerales y a la harina de pescado, respectivamente. Deducidos por lo tanto, las empresas de exportación queda únicamente fuera de Lima Metropolitana, el 15% de la producción industrial que de algún modo atiende la demanda nacional (5).

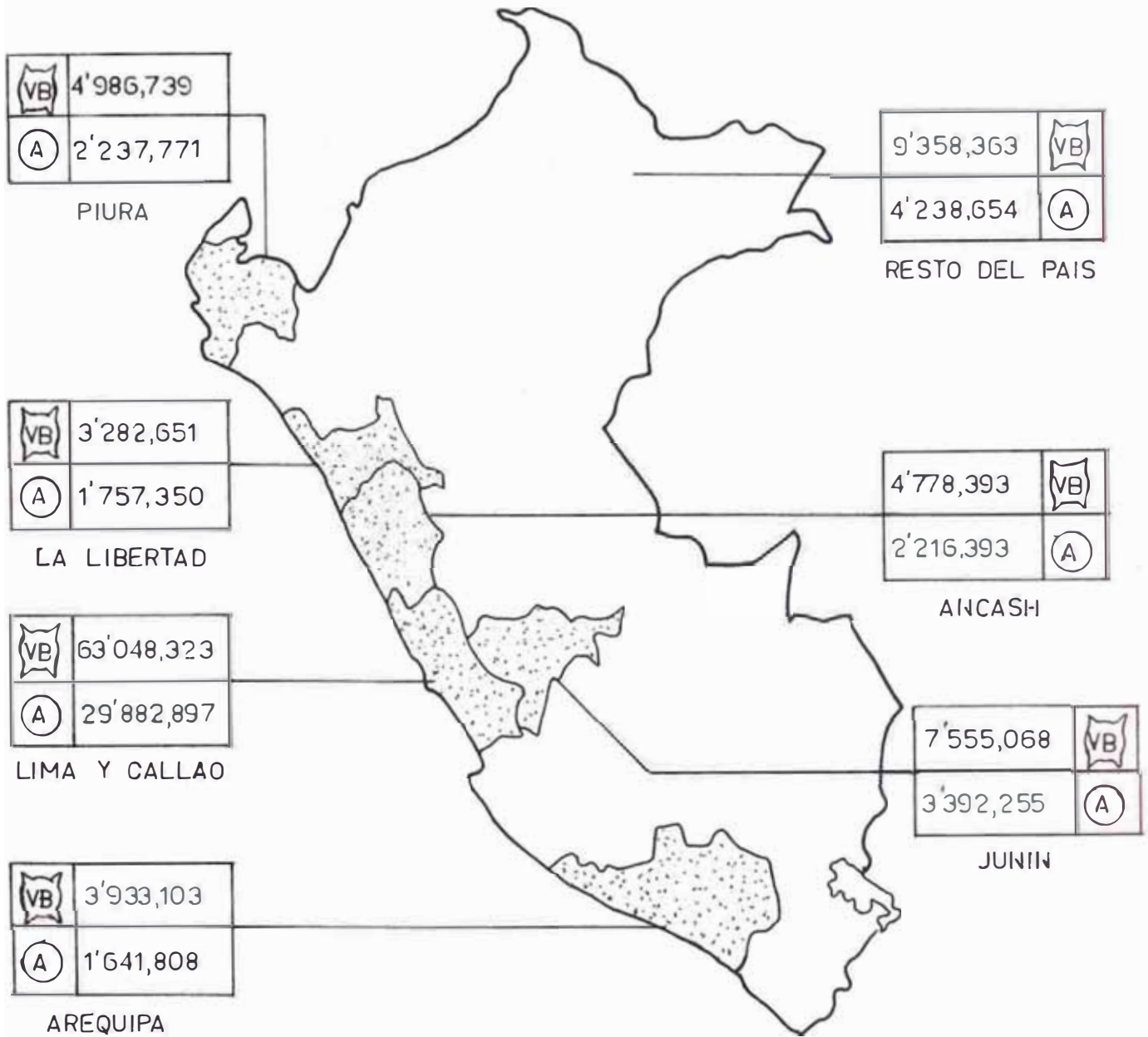
NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS Y PERSONAS OCUPADAS  
POR DEPARTAMENTOS AÑO 1969



	Nº ESTABLEC. TOTAL 6619	RAUL E. ROSALES TRELLES <b>TESIS DE GRADO</b>		LA INDUSTRIA LIMEÑA COMPARADA CON LA DEL RESTO DEL PAIS	fig 1.3
		PERS. OCUPADAS TOTAL 194,241	FECHA 1973	ESCALA ———	

VALOR BRUTO DE LA PRODUCCION Y VALOR AGREGADO

POR DEPARTAMENTOS AÑO 1969



	VALOR BRUTO DE LA PRODUCCION TOTAL : 96'942,640
	VALOR AGREGADO TOTAL : 45'367,128

RAUL E ROSALES TRELLES		LA PRODUCCION DE LA INDUSTRIA LIMENA COMPARADA CON LA DEL RESTO DEL PAIS	
TESIS DE GRADO			
FECHA	1973	ESCALA	—
		REFERENCIA MINISTERIO DE IND. Y COMERCIO	

fig 1.4

### 1.30. NECESIDAD DE PROTEGER LA INDUSTRIA PERUANA.

Las pérdidas materiales que ocasionan los desastres naturales en el mundo entero, son de un valor incalculable. Solo en los Estados Unidos de Norte América, estas pérdidas son del orden del billón de dólares por año (7). Estas tal vez son las pérdidas más fácilmente medibles, por ser quizá la parte menos importante de estas.

Las pérdidas humanas, la interrupción de la actividad productiva y el gasto en socorrer en el desastre son difícilmente considerados, porque a grandarían mucho las pérdidas ocasionadas por el desastre.

Los sismos como desastres naturales, pueden causar daños extremadamente significativos y críticos en la totalidad del bienestar y economía de un país. Hace 50 años, hacia el mediodía del primero de Setiembre de 1,923 la mayor parte de Tokyo y sus zonas circundantes, quedaron convertidas en un montón de ruinas por un terremoto donde murieron 143,000 personas. Las pérdidas materiales fueron calculadas en esa época en 2500 millones de dólares (8). Para mencionar un ejemplo mas cercano a nuestra realidad, se citará el caso de Chile: el terremoto de 1960 en el sur de Chile, produjo pérdidas estimadas en 500 millones de dólares (\$ de 1960), una cifra tan alta como el 50% del Presupuesto Nacional para ese año y 12% del Producto Nacional Bruto. (9) El caso de Huaráz, recordado por todos nosotros, originó 50,000 muertos, 150,000 heridos, 20,000 desaparecidos (10) y daños estimados en 550 millones de dólares . Finalmente, el reciente sismo de Managua, aparte de las pérdidas de vidas que ascendieron a 12,000, ocasionó daños estimados en 1,000 millones de dólares, desbaratando casi el 50% del Producto Nacional Bruto de la nación, perdiéndose

más del 50% de las fuentes de ingreso del gobierno y el 25% de la población del país quedó sin medios para atender las mas esenciales necesidades de la vida (11)

Si consideramos que esta ciudad es ocho veces mas pequeña que Lima , se podrá hacer un estimado, que nos de una idea de los estragos que un fenómeno de esta naturaleza podría causar en Lima Metropolitana.

Tan altos precios pagados por los sismos, no son concebibles en una nación en vías de desarrollo, y esto impide considerablemente el progreso de una nación.

Nuestro país, una nación en vías de desarrollo, presenta al igual que otros países en similares condiciones, características específicas al problema de la protección sísmica. Analicemos estos aspectos:

En un país en desarrollo, hay escasés de capital como resultado de la baja renta. Por lo tanto los porcentajes de interés, son significativa - mente altos en comparación con los de los países desarrollados, que generalmente están proveídos de un mercado de capital. La escasés de capital en un país en desarrollo como el nuestro, obliga a asignar preferencia, a inversiones en instalaciones capaces de producir básicamente bienes y prestar servicios. Teniendo por consiguiente gran prioridad los trabajos públicos y otras inversiones, lo que limitan la infraestructura básica.

El alto valor del capital, la protección de las fuentes de producción en caso de fallas, debidas por ejemplo a sismo, son factores que nos encaminan a comprender la necesidad de protección sísmica de la industria de nuestro país. En nuestro caso, la alta concentración de la industria peruana en el área de Lima Metropolitana (Veáse 1.20), aumenta el riesgo sísmico, por concentrar en un solo sitio las principales y mas

grandes industrias.

Todo esto nos lleva a pensar, que es necesario tomar precauciones, reforzar nuestras edificaciones y tratar por todos los medios de minimizar los efectos que podría ocasionar en esta área un sismo destructivo.

Otros países ubicados en zonas de alto riesgo sísmico y de tecnología mas adelantada que la nuestra, así lo han comprendido. El gobierno de Tokyo, anunció en Agosto de este año, que gastará un equivalente de unos 4,600 millones de dólares, durante un período de cinco años, en un esfuerzo por reforzar la ciudad contra los temblores y los incendios. (8). Este plan contempla, un reacondicionamiento de todo tipo de construcciones, que comprende desde locales escolares, hospitales e industrias, hasta estaciones de bomberos y reforzamiento de puentes vehiculares y peatonales.

## CAPITULO II

### OBJETIVO E HIPOTESIS DEL PRESENTE ESTUDIO

#### 2. 10. OBJETIVO.

Este trabajo, aparte de su función como Tesis de Grado para Optar un título académico, forma parte de un plan de Defensa Civil del área de Lima Metropolitana, ante los efectos destructores de los terremotos. El objetivo fundamental de este trabajo es entonces:

a) Analizar los posibles daños que podrían sufrir los establecimientos industriales ubicados en esta importante parte del país, bajo la siguiente hipótesis:

"Que se produzca un sismo de grado VIII M.M., en la región central del Perú con epicentro cercano a la ciudad de Lima".

b) Determinar las medidas preventivas necesarias para minimizar los posibles daños, proponiendo posibles soluciones.

#### 2. 20. HIPOTESIS.

Tal como se indica en el acápite anterior, para los efectos de este estudio, se ha planteado la hipótesis de que se produzca un sismo de grado VIII M.M. (Veáse Escala Mercalli Modificada en anexo N. 3)

La presente hipótesis de trabajo, no ha sido planteada al caso, la intensidad que se ha supuesto, es similar a la del sismo que hace solo tres años, azotara la región de Ancash, causando tanta destrucción y muerte. En el presente siglo, Lima también ha sido afectada por un sismo de intensidad VIII M.M., el 24 de Mayo de 1940 (Vea antecedentes sismológicos de Lima Metropolitana, anexo N. 1), este sismo causó gran destrucción en esta área. Si nos remontamos a la antigua historia de la ciudad de Lima, y miramos el mapa de distribución de los sismos destructores desde 1560 hasta 1973 (Cap 1. 1, Fig N. 1. 2), encontramos que la



zona de Lima ha sido afectada por sismos destructores cuya intensidad varía desde el grado VII M.M., hasta el grado X M.M., de manera que históricamente, la presente hipótesis se justifica, y al suponer un sismo de grado VIII M.M., estamos prácticamente ubicándonos en un punto medio, incluso podría pensarse que la hipótesis es un tanto conservadora, pero no es así, ya que si bien es cierto, que han ocurrido sismos de mayor intensidad que el de la hipótesis, la frecuencia de estos es bastante baja y se presentan en períodos de tiempo bastante grandes, por lo cual, no se puede esperar que las estructuras estén diseñadas para soportar tales eventos, que se presentan tan esporádicamente ya que ello resultaría antieconómico.

A continuación, se hace un análisis estadístico sobre la probabilidad de ocurrencia de sismos destructivos en el área de Lima Metropolitana.

## 2.30. ESTUDIO ESTADISTICO DE LA OCURRENCIA DE SISMOS EN EL AREA DE LIMA METROPOLITANA.

Para este estudio, se ha tomado un área comprendida entre los paralelos 10° y 14° de latitud Sur y entre los meridianos 75° y 79° de Longitud Oeste.

Se ha hecho uso de los parámetros de índice de sismicidad, riesgo sísmico y período medio de retorno, determinados en base a la ecuación de Gutenberg y Richter (12),  $\log N(M) = a - bM$ , la cual ha sido calculada en base a observaciones instrumentales de sismos  $M \geq 5.5$  en el período comprendido entre 1928 y 1971 (13).

## 2.31. SISMICIDAD DEL AREA EN ESTUDIO. - Para la realización del presente análisis, se ha partido de la relación de Gutenberg y Richter.

$$\log N(M) = a - bM \dots\dots\dots (1)$$

Expresión en la cual  $N_{(M)}$  es el número de sismos cuya magnitud está comprendida entre  $M$  y  $M + dM$ .

La constante "a", puede ser considerada como un "índice de sismicidad" para cada región sísmica y depende principalmente del período de observación y del tamaño del área en estudio. En cuanto al valor de "b", teóricamente es independiente del período de observación en concordancia con (14,15) y está directamente relacionado con las características sismotécnicas de cada región sísmica. Miyamura (16,17), también encontró diferencias entre el valor de "b" para varias regiones del globo y adelantó la hipótesis de una relación existente entre los parámetros "a" y "b" y las condiciones geotécnicas de una región. Miyamura, explica la variabilidad regional de "b" correspondiente a las zonas sísmicas mundiales, de acuerdo a la fase de desarrollo tectónico de la región, así regiones tectónicamente antiguas, tales como zonas sísmicas continentales estables, presentan valores de "b" que oscilan entre 0.5 y 0.7 y las regiones tectónicamente jóvenes, tales como zonas sísmicas oceánicas, regiones del cinturón circumpacífico y regiones del Himalaya, muestran valores de "b" entre 0.9 y 1.5. Por otro lado, Karnik (18), encontró para las zonas sísmicas europeas, grandes valores de "b" ( $b = 0.9$ ) para sismos muy superficiales y reducidos valores de "b" ( $b = 0.5 - 0.8$ ) y ( $b = 0.35$ ) para el caso de los sismos superficiales e intermedios de Europa. Se observó también, una tendencia general de "b" a decrecer con la profundidad. Estos resultados corresponden perfectamente con los experimentos de laboratorio realizados por Mogi (19) y Vinogradov (20). Ellos demostraron que el parámetro "b", disminuye a medida que aumenta la homogeneidad del material, la tasa de tensión y el módulo de masa.

A un pequeño grado de homogeneidad y una baja tasa de tensión, les corresponden un incremento de "b". De donde se puede asumir que,

la homogeneidad se incrementa con la profundidad. Es interesante anotar, que sobre la base de estas mismas consideraciones, regiones que tienen alta actividad o con fuertes movimientos sísmicos, tienen bajos valores de "b" (21).

Es posible que "b" varíe también con el tiempo, como resultado de un cambio de la tasa de tensión. Se ha observado que períodos de relativa calma, corresponden a altos valores de "b" e inversamente.

2.32. DETERMINACION DE LA RELACION DE GUTENBERG Y RICHTER.

El presente estudio se ha referido al área comprendida entre los paralelos 10° y 14° de latitud Sur y entre los meridianos 75° y 79° de Longitud Oeste.

Se ha considerado, los sismos de magnitud superior a 5.5 ocurridos en el período 1928 - 1971 (44 años). Así se han contabilizado:

- 21 sismos de magnitud entre ..... 5.5 y 6.4
- 5 sismos de magnitud entre ..... 6.5 y 7.4
- 1 sismo de magnitud entre ..... 7.5 y 8.4

Partiendo de la expresión:

$$\log N = a - b M$$

Mediante el método de los mínimos cuadrados se tiene:

$$a = \frac{(\sum X) (\sum X.Y) - (Y) (\sum X^2)}{n (\sum X.Y) - (\sum Y) (\sum X)}$$

$$b = \frac{(\sum X)^2 - n \sum X^2}{n \sum X.Y - \sum Y (\sum X)}$$

Siendo :  $M = Y$   
 $\text{Log } N = X$   
 $n = 3$

M	N	Log N = X	M = Y	(Log N) <sup>2</sup> = X <sup>2</sup>	(Log N) M = XY
5.5 - 6.4	21	1.322	6	1.747	7.932
6.5 - 7.4	5	0.699	7	0.488	4.893
7.5 - 8.4	1	0.000	8	0.000	0.000
		2.021	21	2.235	12.825

$$a = \frac{(2.01) (12.825) - 21 (2.235)}{3 (12.825) - 21 (2.021)} = 5.29$$

$$b = \frac{(2.021)^2 - 3 (2.235)}{3 (12.825) - 21 (2.021)} = 0.660$$

Luego :

$$\underline{\text{Log } N = 5.29 - 0.66 M \dots\dots\dots (2)}$$

2.33. INDICE DE SISMICIDAD.

Integrando la ecuación (1), es posible obtener la distribución de frecuencia acumulada para una magnitud determinada.

$$\text{Log } N_{\sum(M)} = a' - b M \dots\dots\dots (3)$$

Expresión en la cual  $N_{\sum(M)}$  denota el número total de sismos de magnitud M y mayores, y está expresado por :

$$a' = a - \text{Log} (b \cdot \text{Ln } 10) \dots\dots\dots (4)$$

Siendo el valor medio anual de actividad sísmica :

$$\bar{a}' = \text{Log} N_{\Sigma(M_0)} + \bar{b} M_0 - \text{Log} T \dots\dots\dots (5)$$

donde T es el período cubierto por las observaciones (44 años);  $M_0$  es el límite inferior de la magnitud en el intervalo considerado,  $\bar{b}$  es el valor mas probable de b. En este caso  $\bar{b} = b = 0.66$

De (3),  $\text{Log} N_{\Sigma(M_0)} = a' - \bar{b} M_0$

de donde :  $\bar{a}' = a' - \bar{b} M_0 - \bar{b} M_0 - \text{Log} T$

$$\bar{a}' = a' - \text{log} T \dots\dots\dots (6)$$

Por consiguiente:

$$a' = 5.29 - \text{Log} (0.66 \times 2.3026) \dots\dots\dots a' = 5.1082$$

$$\bar{a}' = 5.1082 - \text{Log} 44 \dots\dots\dots \bar{a}' = 3.465$$

Disponiendo del valor de  $\bar{a}'$ , se calcula el número anual de sismos  $M \geq 6$ ,  $M \geq 7$  y  $M \geq 8$  usando la expresión:

$$N_1 (M \geq M_0) = 10^{\bar{a}' - M_0 b} \dots\dots\dots (7)$$

$$N_1 (M \geq 6) = 10^{3.465 - 6(0.66)} \dots\dots N_1 (M \geq 6) = 0.317$$

$$N_1 (M \geq 7) = 10^{3.465 - 7(0.66)} \dots\dots N_1 (M \geq 7) = 0.0695$$

$$N_1 (M \geq 8) = 10^{3.465 - 8(0.660)} \dots\dots N_1 (M \geq 8) = 0.015$$

Los valores obtenidos son comparados con los correspondientes a la zona afectada por el sismo de 1970.

CUADRO # 2.1

COMPARACION ENTRE LOS VALORES DE  $N_1$ , PARA LIMA Y PARA LA ZONA AFECTADA POR EL SISMO DEL 31/5/70

$M_0$	LIMA	ZONA AFECTADA SISMO 31.5.70 (22)
6	0.317	0.1590
7	0.0695	0.0727
8	0.015	0.0330

2.34. RIESGO SISMICO.

Se ha calculado a continuación, la probabilidad de ocurrencia de sismos  $M \geq 6$ ,  $M \geq 7$ ,  $M \geq 8$ , asumiendo una distribución de Poisson de los intervalos de tiempo. Se ha considerado estas magnitudes, en razón de que a diferencia de las de menor magnitud, son las que revisten caracteres destructivos.

Se ha calculado también, el período de recurrencia de los mismos sismos. Puesto que la distribución de intervalos de tiempo se ajusta a la forma exponencial  $e^{-ht}$ , se puede deducir la probabilidad de ocurrencia de uno o mas eventos sísmicos con magnitud igual o mayor a una magnitud determinada durante un período T, mediante :

$$Pr (M,T) = 1 - e^{-N_1 (M) T} \dots\dots\dots (8)$$

y el período medio de retorno se calcula de :

$$\Theta = 1/N_1 \dots\dots\dots (9)$$

Los resultados aparecen en el cuadro # 2.2.

CUADRO # 2.2.

M	$N_1$	T = 10	T = 20	T = 30	T = 40	T = 50	T = 60	T = 70	T = 100	T = 150	T = 200	T = 250	$\theta$
6	0.317	95.82	98.3	100									3.15
7	0.0695	50.3	75.2	87.6	93.9	97	98.5	100					14.4
8	0.015	14	26	35.4	45.4	53	59.5	65.2	77.9	89.5	95.1	97.7	67.0

## 2.35. COMENTARIOS.

El valor de "b" encontrado ( $b = 0.66$ ), puede considerarse un tanto pequeño. De acuerdo a lo expresado por Miyamura, debería corresponder un valor de b entre 0.9 y 1.5, debido a la condición juvenil de esta zona. Esta discrepancia se explica porque la relación  $N(M)$  empleada por Miyamura es :

$$\text{Log } N = a + b (8 - M)$$

No obstante, el valor hallado concuerda con los determinados por Karnik (10) para las zonas sísmicas europeas. El determinó que valores de b comprendidos entre 0.6 y 0.7, estaban relacionados con las regiones de máxima actividad sísmica. Por otro lado Welkner (23) en Chile encontró que los mas pequeños valores de b correspondían a zonas de máxima probabilidad de ocurrencia de un sismo. Todo esto lleva a pensar el grave peligro que entraña el reducido valor del parámetro b, porque esto implica alta frecuencia de sismos de gran magnitud.

Con respecto al índice de sismicidad, se puede deducir analizando la tabla # 2.1, que la frecuencia anual para sismos de  $M \geq 6$  es mayor que para la zona afectada por el sismo del 31 de Mayo de 1970, siendo para el caso de los sismos de  $M \geq 7$  comparable a la calculada para dicha zona, resultando para el caso de los sismos de  $M \geq 8$ , notablemente inferior a la de dicha zona.

En relación con el riesgo sísmico, se desprende de la inspección de la tabla # 2.2, que la probabilidad de ocurrencia de sismos de  $M \geq 6$  es de 100 % en un período de 30 años con un período medio de retorno de 3.15 años, habiéndose encontrado para el caso de sismos de  $M \geq 7$ , una probabilidad de 100% para un período de 70 años, con período medio de retorno de 14.4 años y finalmente para sismos de  $M \geq 8$ , una probabilidad de 97.7 % en un período de 250 años, con período de retorno de 67 años.



## C A P Í T U L O III

### EFFECTOS Y ENSEÑANZAS DE SISMOS ANTERIORES

La recopilación de las experiencias de otros sismos, constituye actualmente una de las mas valiosas fuentes de información, cuando se trata de realizar un estudio de tipo sísmico.

Es por eso, que antes de entrar de lleno al estudio sísmico de las industrias de Lima Metropolitana, se ha creído conveniente informarse sobre la forma como se han comportado las industrias en los últimos sismos ocurridos tanto en el Perú como en el mundo.

Para la labor de recopilación, se ha tropezado con la dificultad de la poca información en cuanto a edificaciones industriales, ya que generalmente, se da mayor importancia a las edificaciones de vivienda. No obstante se ha obtenido referencias de los siguientes sismos:

<u>Lugar</u>	<u>Fecha</u>	<u>M</u>	<u>Intensidad (M.M)</u>
1. Lima-Perú	24 de Mayo de 1940	8.2	VII - VIII (*)
2. Cajón del Maipó-Chile.	4 de Setiembre 1958	6.8	VII
3. Sur de Chile	21 de Mayo de 1960	8.3-8.5	VIII
4. Niigata-Japón	16 de Junio de 1964	7.7	VIII - IX
5. Lima - Perú	17 de Octubre de 1966	7.5	VI - VII
6. Tokachi-Oki-Japón	16 de Mayo de 1968	7.8	VII - VIII
7. Ancash - Perú	31 de Mayo de 1970	7.8	VIII

Para el estudio del efecto causado por los sismos en las industrias, estos se han dividido en dos tipos de daños: Daños ocasionados por el sismo propiamente dicho y daños ocasionados por Tsunami (fenómeno que frecuentemente acompaña al sismo).

---

(\*) De grado VII en buen suelo y de grado VIII en suelo desfavorable.

Los daños producidos por el sismo propiamente dicho, se han subdividido a su vez en

- Daños ocasionados a la edificación.
- Daños ocasionados a las instalaciones industriales.

### 3.10. DAÑOS OCASIONADOS POR SISMOS.

3.1.1. DAÑOS OCASIONADOS A LA EDIFICACION. Los daños ocasionados a las edificaciones industriales, de acuerdo a los sismos tomados como referencia, se han clasificado de acuerdo a las causas fundamentales que produjeron dichos daños (\*) en :

- Daños debidos a errores o deficiencias constructivos
- Daños ocasionados por deficiencias de diseño y estructuración.

3.1.1.1. Daños debidos a errores o deficiencias constructivas.- Veamos primeramente los efectos del terremoto de 1940 en la Compañía Nacional de Cerveza del Callao (24).

En este caso, los daños se vieron agravados por un descuido de montaje de equipo en el edificio principal de la Compañía Nacional de Cerveza. Este edificio, una estructura de cuatro pisos, de forma rectangular de 20 m. de frente por 11m de fondo y que al nivel del tercer piso soporta silos de palastro de 40tn. de capacidad cada uno, los que al ser armados por los representantes de la firma fabricante de equipo, no se fijaron a las vigas de acero que las sostienen.

La estructura del edificio es de concreto y el borde superior de los silos sobrepasa el nivel del cuarto piso por una abertura con un huelgo de unos 0,15m., están ubicados en plano, en un extremo del edificio produciendo así una importante asimetría de masa.

---

(\*) Es bueno anotar que si bien se han considerado los errores constructivos y las deficiencias de diseño como las causas fundamentales de los daños ocasionados en las plantas industriales, realmente estos factores, están estrechamente vinculados con otros como la geología, el tipo de suelo, la magnitud del sismo, etc.

El terremoto provocó entre los niveles del tercer y cuarto piso, averías en las bases y partes altas de los pilares características de flexiones exageradas y además estas averías eran mucho más importantes hacia los extremos que en los pilares centrales, algunos de los cuales no mostraban daño alguno. Un examen del local, permitió apreciar que los silos se habían movido sobre sus apoyos, actuando como aríetes al chocar contra los bordes de la losa del cuarto piso, provocando los daños anotados. Es probable que si los armadores hubieran fijado los silos, estos desperfectos se hubieran evitado, pues el resto de la construcción no sufrió averías.

Este ejemplo, ilustra claramente la importancia de las uniones en la construcción. Es bueno recordar, que en toda edificación, los materiales de construcción se utilizan en forma de piezas, las cuales se unen entre sí por diferentes medios. Las uniones entre piezas son por citar algunas, las juntas de mortero, en la albañilería, los pernos, tornillos, soldaduras en el caso del acero, los ensambles, clavos, pernos, adhesivos en la madera.

En el caso del concreto armado, este se supone monolítico. Se confía en que existe continuidad entre los dos materiales que lo integran: en el concreto armado y el acero. Sin embargo, al contruir se producen discontinuidades, que se resuelven por medio de uniones. Las interrupciones de la faena, obligan a colocar un concreto fresco sobre otro ya endurecido, lo que forma las llamadas juntas de concreto. La vulnerabilidad de las juntas al no estar bien realizadas, quedó patente en el terremoto de Chile de 1958.

Veamos algunos ejemplos :

Un silo de la planta de la Compañía Minera Merceditas, en el volcán era de concreto armado, de unos 10.25m de altura total (incluyendo soportes) y 5.30m de diámetro exterior. Su fondo era una losa plana, situada a 2.75m. del suelo; el recipiente tenía unos 7.50m. de altura y pared cilíndrica de 12 cms. de espesor. Se apoyaba en una viga circular sobre cuatro soportes de sección T. La alimentación del silo se hacía por un transportador inclinado, cuyo extremo superior descansaba en la losa cubierta.

A consecuencia del terremoto e del 4 de Set. de 1958 , se cortó el silo en una junta de concreto que existía al nivel de la losa del fondo, en el arranque de la pared del recipiente. El cilindro superior se cortó con respecto a la parte inferior del silo; el desplazamiento resultante (distancia entre centros) fué de 15 cms. de manera que sobrepasó el espesor de la pared. Además el cilindro quedó girado 24 cms. alrededor de su eje en esa parte, el giro aparente es de 36 cms. pero está afectado por el desplazamiento.

Hay que añadir que el cilindro resultó con un desplome de 3.5.cm/m. En la junta se cortaron todas las barras verticales que la atravezaban, que eran de 9 m.m., colocadas en una sola malla, en el centro de la pared; en la zona en que pudimos observarlas, la separación media entre barras era de 40 cms., si bien estaban dispuestas muy irregularmente. En la parte superior del silo se cortaron a cizalla los pernos (6 de 5/8 ") que fijaban el transportador a la losa de cubierta. El silo se encontraba vacío en el momento del terremoto. (25)

Otro caso, se presentó en la planta de yeso de la compañía El Volcán en este mismo pueblo. Había en ella 2 silos cilíndricos de concreto armado, con una generatriz común, solidaria entre sí; sus dimensiones eran 15.50 m. de altura y 4.80 m. de diámetro exterior. Estaban llenos de yeso cuando sobrevino el terremoto. Este produjo una grieta muy marcada a todo lo largo de una junta que ocupaba una sección horizontal de ambos silos a 5.50 m. de altura del suelo. (25)

La presencia de juntas defectuosas, hace en primer lugar, que disminuya el coeficiente de seguridad a la fisuración. Si las grietas alcanzan una cierta anchura, ya constituyen un daño que debe repararse, por el peligro de corrosión de las armaduras. Una vez que ya se ha producido la grieta, se tienen 2 piezas de concreto unidas únicamente por una costura de acero, de la que dependerá la resistencia y de formación de la junta.

La gran cantidad de fallas producidas por los terremotos en juntas de concreto, hacen necesario un mayor cuidado y vigilancia en la ejecución. Hay que tener en cuenta, que si bien habitualmente las juntas horizontales suelen trabajar a compresión vertical, que es la sollicitación mas favorable, durante los sismos se verán sometidas a esfuerzos de flexión y de corte, resultando los puntos mas críticos.

En Chile, el IDEM, realizó un estudio experimental en el que se ensayaron a cizalla, juntas de concreto simple preparado por diversos procedimientos. Empleando chorro de arena, se logró una resistencia del orden del 90% de la que

Tuvo el concreto monolítico, la junta sin ningún tratamiento, solo dió una resistencia de un tercio de la del concreto monolítico; y en obra todavía pueden esperarse resistencias menores, porque en laboratorio fué realizado bajo condiciones óptimas que no es de esperar en obra. Mejorando la rugosidad del concreto, se obtuvie

ron resistencias del orden de la mitad de la resistencia del concreto monolítico.

Como conclusión final, se puede decir que a menos que se empleen procedimientos especiales en la ejecución de juntas, no debe confiarse en su resistencia y por lo tanto para los efectos del cálculo se debe contar con la existencia de juntas débiles.

Los daños causados, se correlacionan también estrechamente con la naturaleza del suelo de cada región. Si tenemos un suelo inadecuado y construimos en él sin tomar las providencias del caso, los efectos se manifestarán claramente con un sismo. Veamos este ejemplo: la mayoría de las estructuras de la planta industrial de Huachipato cerca de Concepción en Chile, descansan sobre arena cuidadosamente compactada. Esta formación se encontraba antes de su ocompactación en estado bastante suelto cerca de la superficie, dando origen a un número bajo errático de golpes por pie en pruebas standart de penetración hasta la profundidad de 7 m. a la cual el número de golpes ya excede de 40 por pie en forma sistemática. Cuando se contruyó la planta, se decidió compactar la arena mediante la hincas de pilotes, hasta la profundidad de 7 m. bajo la ubicación de las cimentaciones que se proyectaba ejecutar. La mayor parte de las estructuras que se cimentaron sobre este suelo compactado, exhibieron un comportamiento realmente satisfactorio durante el sismo, pero los pisos de concreto, que descansaban sobre arena sin compactar, sufrieron hundimientos diferenciales hasta de 20cm.

en ciertas partes. Algunos pequeños edificios con muros portantes, que fueron cimentados en material no compactado, también se asentaron en forma diferencial, apareciendo en ellos grietas hasta de 1 cm. de espesor. (26)

En otros casos, los daños son producidos por negligencia constructiva, debido al empleo de materiales no acordes con el diseño ni con las normas respectivas. Así por ejemplo en la planta siderúrgica de Chimbote, como consecuencia del sismo del 31 de Mayo de 1970, un edificio de almacenamiento hecho de concreto armado, resultó con varias columnas rotas. Las roturas mas severas ocurrieron en la parte de claraboya donde se producía un cambio de nivel en el techo. La causa de los daños se atribuyó a que el concreto tenía agregados muy grandes en las columnas. (27).

### 3.1.1.2. Daños debidos a deficiencias de diseño y estructuración.

Tan ~~causantes~~ de daños son los errores constructivos, como los diseños inadecuados y las deficiencias de estructura ~~ación.~~

Cuando en el diseño, se ignoran las fuerzas sísmicas y los esfuerzos y deflexiones que estas originan, las estructuras pueden verse severamente afectadas. El diseño sísmico se ha de referir directamente a la capacidad de absorción de energía, que está relacionado con la ductibilidad o capacidad de deformación y en segundo término a la resistencia. Veamos un ejemplo originado por no dar la debida importancia a estos conceptos:

Como consecuencia del sismo de 1940, que afectó a esta ciudad colapsó, el tercer piso de un edificio auxiliar de la ya citada Fábrica Nacional de Cerveza, que soportaba en la azotea un tanque de 400 m<sup>3</sup>. de agua. Debido a la esbeltez de las columnas que sostenían el techo del tercer piso, con las primeras sacudidas osciló violentamente todo ese plano, con destrucción de las columnas y la caída del techo sobre el tercer piso, cayendo el tanque hasta la planta baja, después de atravesar los otros dos pisos. La fig. # 3.1, muestra algunas de las columnas del tercer piso, colgando de sus extremos inferiores por sus aceros de refuerzo, se puede apreciar la exagerada esbeltez de los elementos, que si bien soportaron perfectamente las cargas verticales para las cuales fueron diseñados, no ofrecían ninguna garantía para fuerzas horizontales (24). Existen numerosas deficiencias de diseño y estructuración que pueden originar considerables daños. Algunas veces



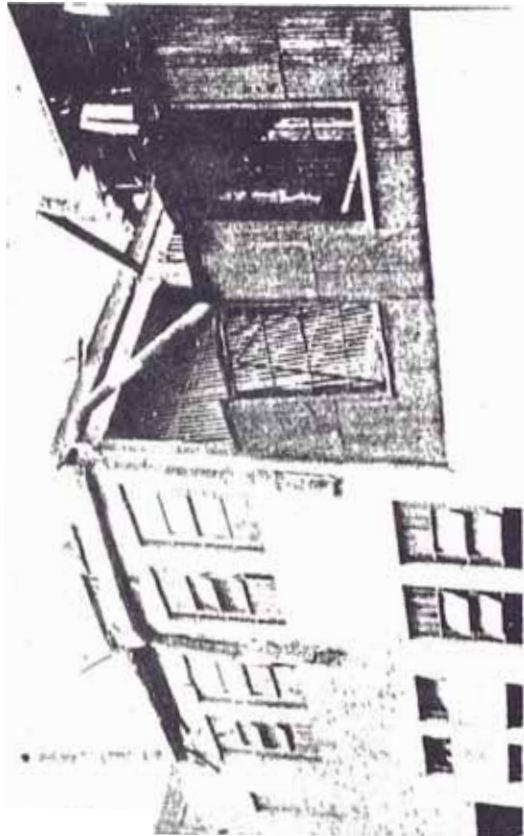


Fig. 3.1. Lima, 1940. Edificio auxiliar de la Cía Nacional de Cerveza. Obsérvese algunas de las columnas del tercer piso, colgando de sus aceros de refuerzo y las vigas del techo de la planta superior del edificio, descansando sobre su piso.

los daños son originados como consecuencia de introducir luego de construida la estructura, elementos extraños, sin tener en cuenta que estos pueden variar la concepción inicial de la estructura y producir efectos negativos, otras veces, los daños se deben a un franco error de cálculo o a una mala concepción estructural. Veamos algunos ejemplos:

En una fábrica de papel próxima a Valdivia (Chile), el edificio principal consistía de tres secciones estructurales (Ver Fig. 3.2) y tenía una antigüedad de aproximadamente 50 años. En fecha posterior, se agregó una torre de enfriamiento sobre la sección central. Esta sección falló totalmente el 22 de Mayo de 1960, mientras que la otras dos apenas manifestaron daños menores. En los demás edificios de la misma fábrica, ocurrieron fallas en elementos que no estaban anclados a la estructura.

La torre principal que constituye una estructura independiente, rígida aunque esbelta, quedó inclinada 25 cm. no obstante hallarse aún intacta. (26)

Otro caso digno de mencionar, es el de una fábrica de calzado en Valdivia (Chile), el edificio estaba cubierto por dientes de sierra de concreto armado y se cayó totalmente Fig. 3.3. En una dirección poseía muros de concreto con refuerzo apenas nominal: barras de  $3/8$ " cada 60 cms. en un solo lecho, en ambas direcciones. También nominal era el refuerzo en el lecho superior de las vigas. La separación de los estribos excedía sistemáticamente el doble del peralte efectivo de los miembros. Si no falló la estructura anteriormente, se debió a la poca actividad sísmica de

la zona durante los 5 - 10 años de vida que tenía la estructura. (26)

Las estructuras metálicas no escapan a este tipo de efectos. Una planta industrial en Huachipato, en la costa cercana a Concepción (Chile), comprende edificios típicos industriales, chimeneas y otras estructuras, la mayor parte de las cuales son de acero.

La principal nave industrial, está cubierta por dientes de sierra constituidos por armaduras y largueros metálicos convencionales. Las armaduras, se apoyan en columnas metálicas arriostradas mediante diagonales en ciertas crujías del perímetro de la nave. Se admitió que las bases de las columnas trabajarían a manera de articulaciones, motivo por el cual las bases consisten en placas metálicas que se apoyan sobre zapatas de concreto; sobre las placas descansan las columnas directamente, sin mas liga que cuatro pernos. Los cuales no están diseñados para tomar un momento importante. En efecto, la mayoría de los pernos se deformó apreciablemente a consecuencia del sismo del 21 de Mayo de 1960 (Fig. 3.4.) Se supuso también, que las diagonales se panderían cuando trabajaran en compresión y así sucedió con un número importante de ellas (Fig. 3.5.). En esta misma nave, el sismo hizo resaltar detalles defectuosos del diseño de algunas conexiones (26), (Fig 3.6 y 3.7)

En general, los daños sufridos por las estructuras de la planta de Huachipato no fueron de gran importancia. No obstante el alargamiento de pernos y pandeo de diagonales, elementos que hacen las veces de fusibles, absorbiendo energía plástica e impidiendo la transmisión

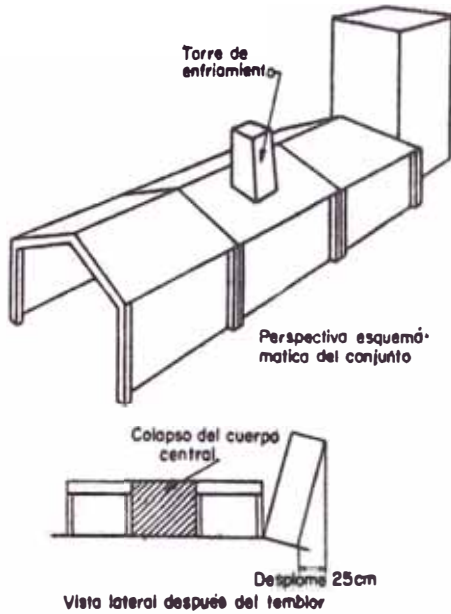


Fig. 3.2. Chile 1960. Fábrica de papel en Valdivia.

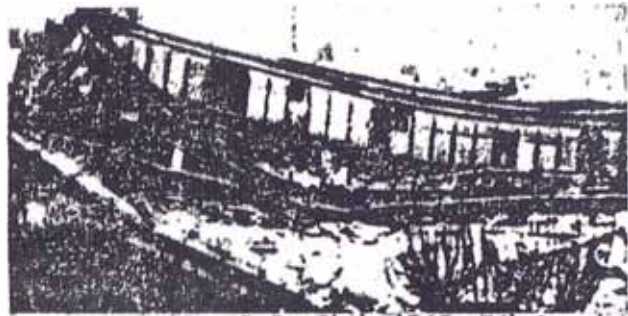


Fig. 3.3. Chile 1960. Fábrica de Calzado de Valdivia

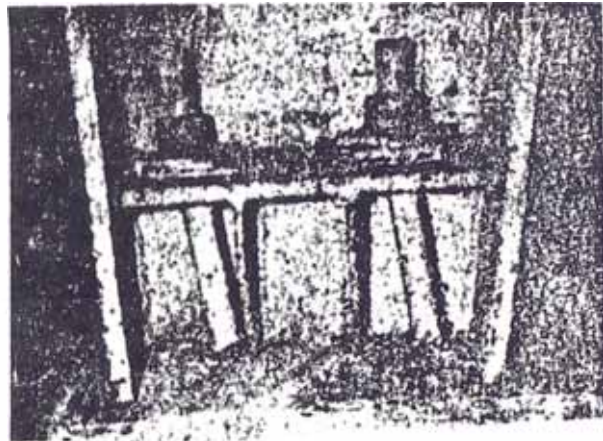


Fig. 3.4. Chile 1960. Alargamiento pernos de anclaje planta de Huachipato.

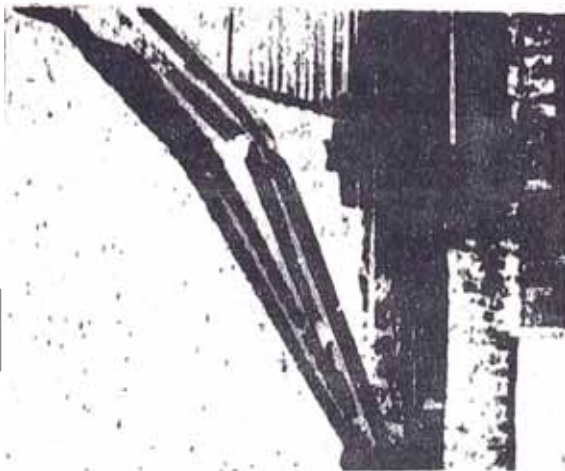


Fig. 3.5. Chile 1960. Pandeo de elementos de arriastre

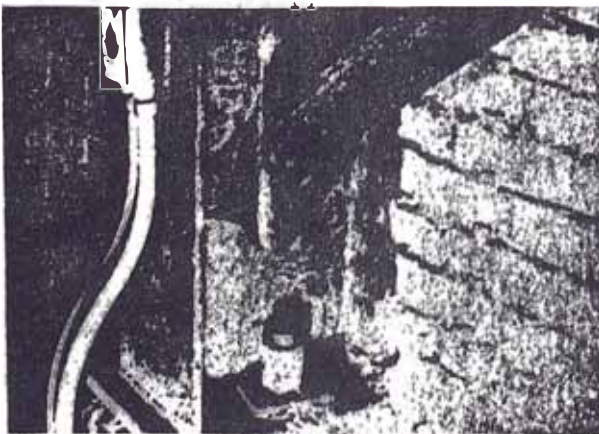


Fig. 3.6. Chile 1960. Conexión defectuosa Planta de Huachipato.

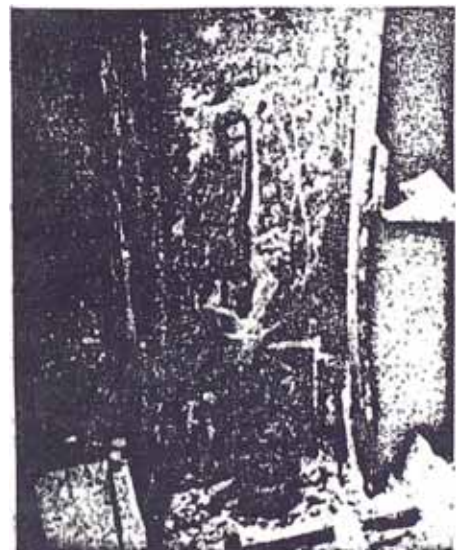


Fig. 3.7. Chile 1960. Conexión defectuosa, Pta. Huachipato.

de fuerzas excesivas al resto de la estructura, son fallas difíciles de reparar satisfactoriamente a bajo costo y presentan un aspecto objetable. Es conveniente en este tipo de estructuras, el aprovechamiento de ciertos elementos, que obren a manera de fusibles, por ejemplo, pernos de reparar, placas de fácil repuesto, que cedan doblándose plásticamente, antes de permitir alargamientos del perno. etc.

### 3.1.2. DAÑOS OCASIONADOS A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.

Las instalaciones industriales, no se han visto excluidas de los efectos devastadores de los terremotos. Así tenemos, que el sismo del 31 de Mayo de 1970, afectó seriamente en este aspecto a las fábricas de harina de pescado de Casma y Chimbote.

He aquí los resultados de un reporte : (28)

La losa del piso se resquebrajó, presentándose grietas hasta de 10 cm. y asentamientos de 24 cm.

La maquinaria, como resultado del hundimiento del piso, quedó completamente desnivelada, habiéndosele tenido que retirar con el fin de hacerles nuevas cimentaciones.

Las instalaciones de energía eléctrica, agua y desagüe quedaron dañadas.

Como resultado de este sismo, estas fábricas se vieron paralizadas en su producción durante varios meses.

En otros lugares, también se han observado daños de gran importancia. A continuación se mencionan los daños sufridos por las diferentes instalaciones industriales, debido a los sismos de Niigata, Tokachi Oki y Valdivia. (29,30,26)

Los efectos en instalaciones industriales, se han clasificado de acuerdo al tipo de instalación que han afectado, en los siguientes ítems:

- Daños en máquinas y herramientas.
- Daños en grúas
- Daños en máquinas sobre rieles (Tipo tren)
- Daños en chimeneas
- Daños en depósitos elevados
- Daños en equipos convencionales y válvulas de pequeñas dimensiones.
- Daños en hornos y calderos
- Daños en tuberías
- Daños en depósitos de petróleo y gasómetros.

3.1.2.1. Daños en máquinas y herramientas. Durante el sismo de Niigata, se observaron daños causados por asentamientos irregulares del suelo.

Una máquina taladora de plantillas, pesaba 77 ton. y su peso total era de 270 ton. Estaba cimentada sobre 42 pilotes de fricción inclinados  $1,9^\circ$  hacia el río. Como consecuencia del sismo, se produjo un asentamiento diferencial causado por una irregular distribución del peso (Fig. 3.8).

Varias máquinas barrenadoras se inclinaron. Su cimentación no estaba soportada por pilotes y sus centros de gravedad eran un poco altos. Los brazos de varias de ellas giraron y chocaron o ladearon por la excentricidad de su centro de gravedad.

3.1.2.2. Daños en grúas y máquinas transportadoras. Durante el sismo de Tokachi-Oki, un contrapeso del brazo giratorio

de uno grúo alimentada con mineral fué quebrada. El peso encima de las 10 ton. estaba soportado por dos brazos perfilados, los costados de los brazos se pandearon y la grieta se propagó a travez de toda su sección. (Fig. 3.9)

Dos transportadoras de mineral, sufrieron daños por pandeo. Estas transportadoras tenían una capacidad de 10 ton. y un alcance de 78 m., los miembros superiores de la armadura se pandearon. (Fig. 3.10)

El límite de carga para el pandeo de los perfiles metálicos fue extremadamente bajo, debido a que la plancha atiesadora que conectaba esos dos canales no fué adecuadamente colocada. Si la plancha atiesadora hubiera sido bien colocada, haciendo de los dos canales un solo miembro, se hubiera podido esperar un incremento del límite de carga de cien veces lo previsto.

La naturaleza de las fuerzas que causaron tales daños, no fué aclarada, no habiéndose especificado si se trataba de fenómeno resonante el caso arriba mencionado. En el sismo de Niigata, las grúas no sufrieron accidentes severos, pero varias grúas elevadas, no pudieron moverse por deformación de los rieles o los marcos portantes, los que en algunas casos se desconectaron.

- 3.1.2.3. Daños en máquinas sobre rieles (tipo tren). Durante el sismo de Niigata, una máquina de fabricación de papel, fué inclinada con un radio de 60 cms. en 80 m. y fué cortada parcialmente. Esta máquina de papel, estaba instalada en el segundo piso de un edificio de concreto armado. El piso se inclinó debido al irregular asentamiento de su cimentación por pilotes. El peso unitario

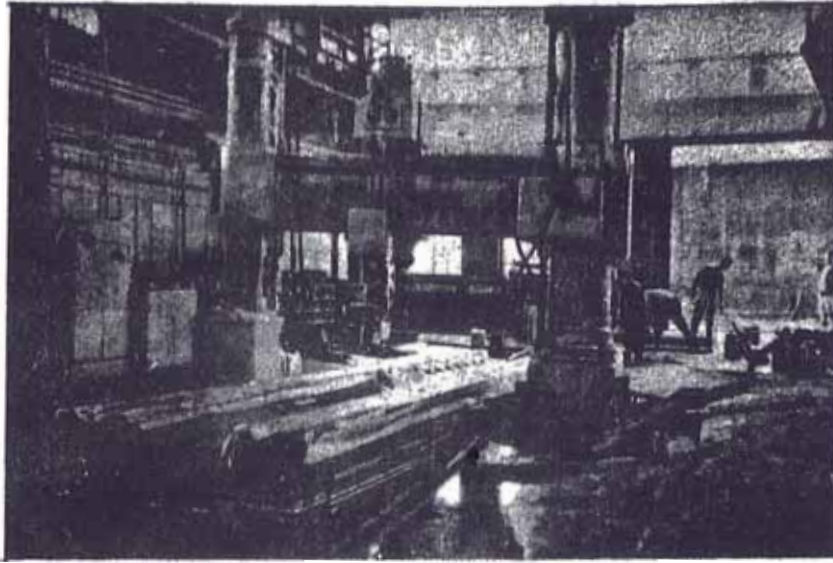


Fig. 3.8. Niigata, 1964. La taladora de plantillas a un costado del río, es un ejemplo de daños de máquinas de grandes dimensiones, nótese el asentamiento de su cimentación



Fig. 3.9. Tokachi-Oki. Alimentador de minerales. El brazo que sostenía el contrapeso se rompió.



a un lado era mayor que al otro lado. La manera de repararlo fué desmenbrándolo después de reforzar las vigas y piso del edificio. (Fig. 3.11)

2.1.2.4. Daños en chimeneas. Como parte de una fábrica de papel cercana a Valdivia (Chile), se levantaba una chimenea metálica sobre pedestal de concreto. La chimenea estaba anclada a las estructuras próximas y al terreno mediante cables. El terremoto de Mayo de 1960, tensionó fuertemente los cables abriendo los ganchos en que remataban estos y dejando a la chimenea que oscilara sola. Las fuertes oscilaciones agrietaron el pedestal.

En Huachipato, las chimeneas metálicas de la planta habían sido diseñadas con un criterio en apariencia bastante conservador.

El momento de volteo calculado en la base de las chimeneas, se tomó para fines de diseño con una disminución hacia arriba mucho mas gradual de lo que indicaba el análisis estático. Sin embargo la mayoría de las chimeneas sufrió pandeo local a cierta altura, el cual se tradujo en una arruga importante. Las bases de concreto sobre las que estas chimeneas descansan, se agrietaron y los pernos de anclaje se alargaron fracturando e en algunos casos. No fué posible analizar dinámicamente estas estructuras para discernir las causas de los daños que sufrieron, pero el pandeo local fué atribuido a una amplificación en la proximidad de la sección donde cambia el espesor de las paredes, de la onda originada en el impacto que sufrió la chimenea al caer sobre sus placas de apoyo, después del alargamiento de los pernos.

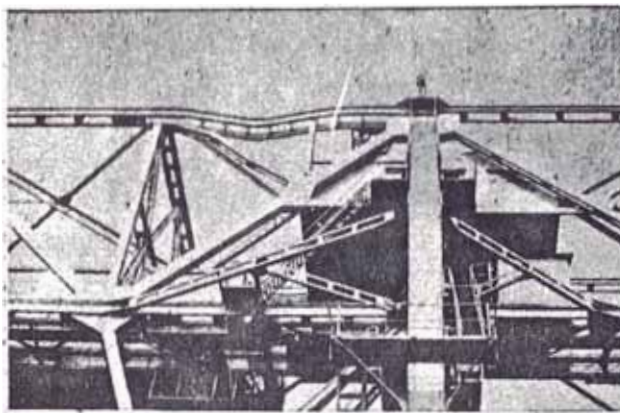
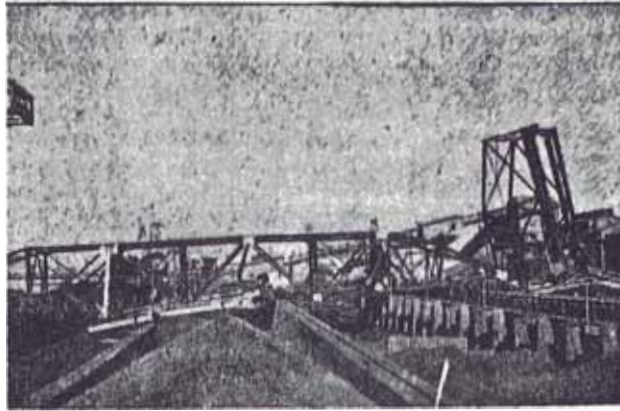


Fig. 3.10. Tokachi, 1968. Transportadores de mineral. Los miembros superiores de las armaduras, se pandearon y una colapsó

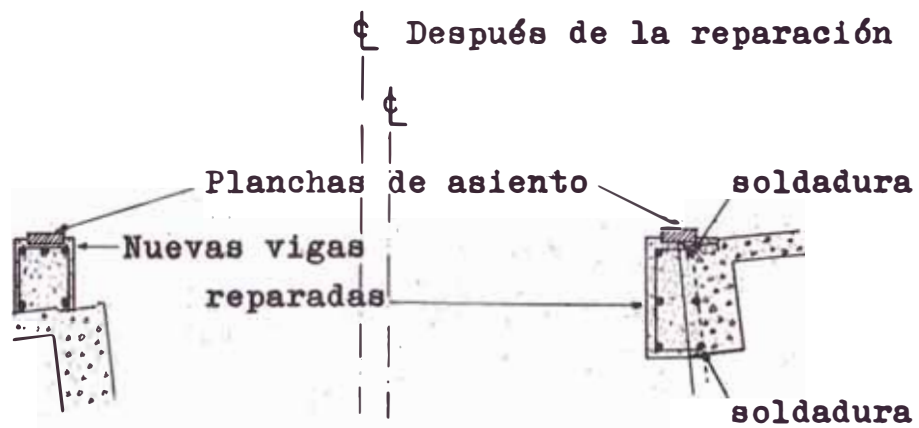


Fig. 3.11. Niigata, 1964. Esquema de la reparación de la cimentación de una máquina de fabricación de papel.

Como consecuencia del sismo de Niigata, una chimenea se rompió en el punto medio, la parte superior cayó dentro de un taller de máquinas. La chimenea estaba hecha de concreto armado.

El concreto de las chimeneas, es generalmente atacado por un humo acidificador (perclórico) y disminuye por este motivo su resistencia.

3.1.2.5. Daños en depósitos elevados (Tipo torre). En el sismo de Niigata, debido a que el centro de gravedad de estos depósitos, está muy alto, no pudieron mantenerse verticales, cuando el suelo a sus pies fué licuado (Fig. 3.12).

Uno de los mas pesados, estaba soportado por pilotes de manera que pudo escapar al efecto del asentamiento. En cambio, uno de los mas livianos, fué empujado por las estructuras mas pesadas a travez de las tuberías.

La manera de repararlos, fué incertando cuñas entre el fondo y la cimentación y llenando con mortero las brechas.

Algunos de ellos, dejaron de inclinarse, pero otros tuvieron que ser desmembrados.

En Tokachi-Oki, depósitos tipo torre, por ejemplo limpiadores, digestores y altos hornos, alcanzaron la resonancia dcon el movimiento del suelo.

Se detectaron los siguientes casos:

Ocho digestores, oscilaron y golpearon el borde del tercer piso (Fig. # 3.13). La deformación de una plancha del tercer piso (13.8 m. de altura) mostraron que la máxima amplitud en la cúspide de un depósito tipo torre podría exceder de 300 mm.

Unos modelos antiguos, tenían las patas hechas de fierro fundido y tres de ellos resultaron con sus patas agrietadas.

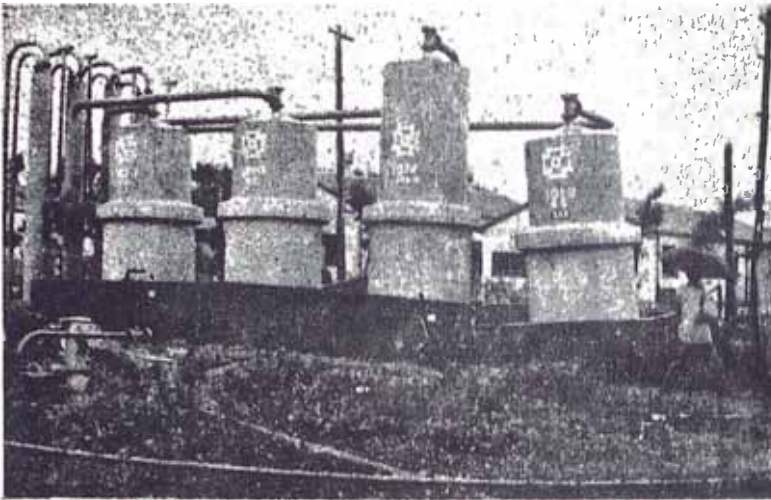


Fig. 3.12. Niigata, 1964. Acumulador de aire inclinado por un pozo de gas natural.

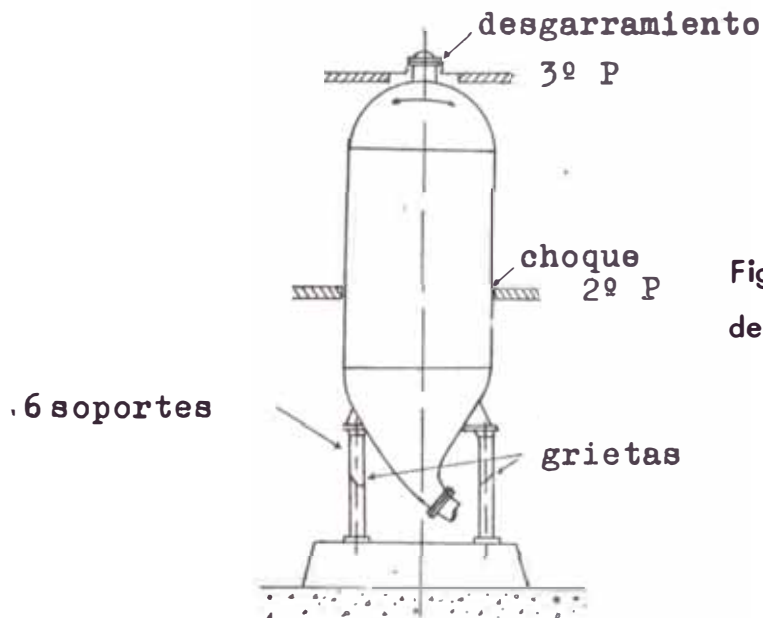


Fig. 3.13. Tokachi-Oki, 1968. Daño de un digestor.

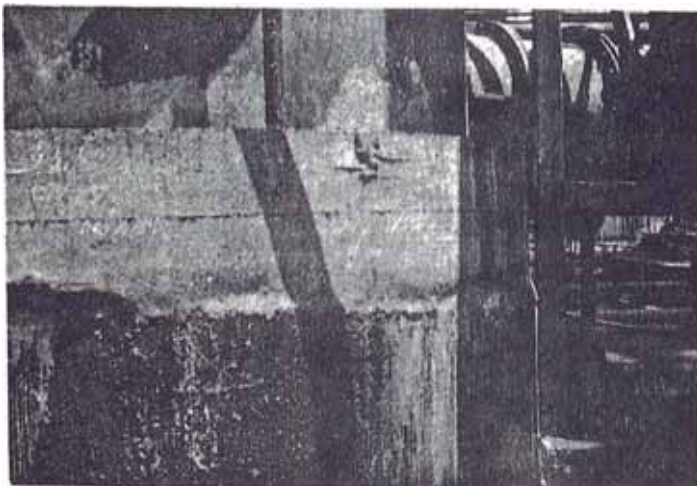


Fig. 3.14. Tokachi-Oki, 1968. Limpificador de benzol, cubierto de concreto.

Limpiadores de benzol, resonaron y se balancearon. La mayoría de sus tornillos de anclaje fluyeron y varias tuercas fueron sacadas de sus tornillos. Remaches conectados a la pared y patas de gato fueron aflojados, un limpiador de aceite se agrietó escapándose el aceite a través de un boquete alrededor de sus patas. Después de reemplazar los pernos y tuercas, aquellas partes de los limpiadores fueron llenados con concreto. (Fig. 3.14)

Se estimó que el coeficiente de diseño sísmico podría ser cuando menos 0.1 de acuerdo a sus dimensiones. El coeficiente sísmico que es usado desde hace años en Japón es de 0.2 y después del terremoto de Niigata, hubo una tendencia a usar 0.3

Los altos hornos, los cuales tienen 37 m. de altura y 8.5 m. de diámetro, fueron también balanceados. Sus catorce pernos de anclaje fueron rotos o elongados.

Sobre un horno, 10 pernos fueron rotos y otros alongados entre 30 y 90 mm. La mayor parte de las pestañas entre las paredes y la base de las planchas fueron doblados (Fig. # 3.15)

3.1.2.6. Daños en equipos convencionales y válvulas de pequeñas dimensiones. En el terremoto de Niigata, las bombas y otros equipos fueron empujados por tuberías o rotos por colapso de las estructuras. Las cajas de acero de las válvulas fueron rotas por la deformación de las tuberías en varios lugares (Fig. # 3.16)

En Tokachi Oki, habían recipientes soportados por pilotes y dos de cuatro bombas estaban conectadas a los recipientes. La cimentación de las bombas era independiente de la de los recipientes. Los recipientes no se

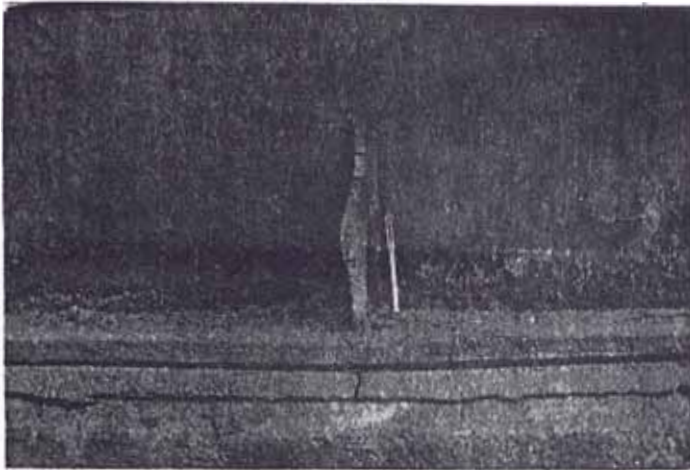


Fig. 3.15 Tokachi-Oki, 1968. Pandeo de pestañas en altos hornos de fundición.

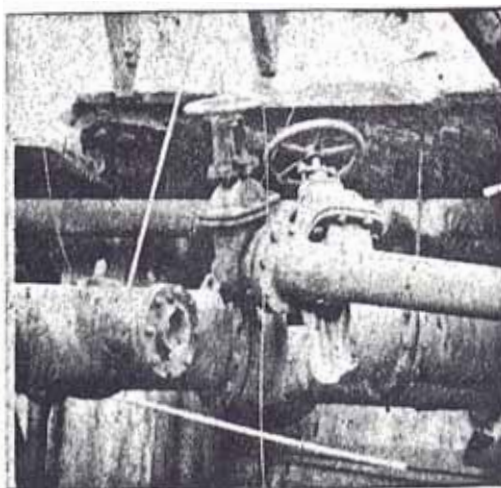
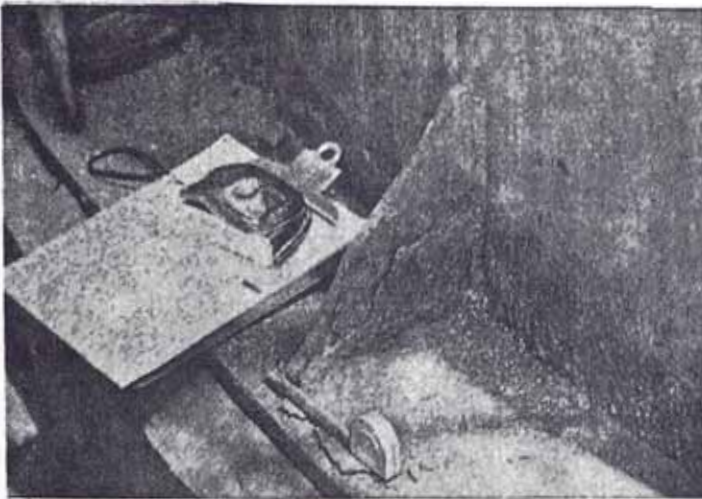


Fig. 3.16. Niigata, 1964. Las cajas de las válvulas, fueron rajadas por fuerzas y momentos transmitidos por las tuberías.

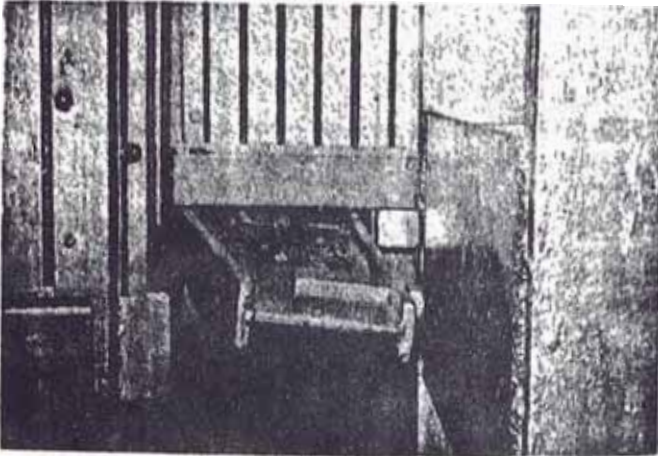
asentaron, pero el suelo bajo la cimentación de las bombas perdió su capacidad de carga. Así la mayor parte de la tubería conectada a la bomba fué agrietada en determinados puntos debido al asentamiento de la bomba.

3.1.2.7. Daños en calderos y hornos. Durante el terremoto de Tokachi-Oki, las tuberías conectadas a un caldero, fueron rotas cuando este se balanceó debido al sismo. Afortunadamente el caldero estaba paralizado porque estaba siendo inspeccionado. Los inspectores que estuvieron dentro del caldero, reportaron que ellos no sintieron el terremoto tan fuerte como para escapar. La razón de esto se considera se debió a que el caldero se balanceó como un péndulo de período largo, tal que la aceleración del movimiento fué baja. A su vez, la mayoría de calderos suspendidos chocaron contra las estructuras de apoyo y algunas de ellas se deformaron (Fig. # 3.17). En los casos mas severos, la deformación de los pórticos causó el agrietamiento de las tuberías y travesas.

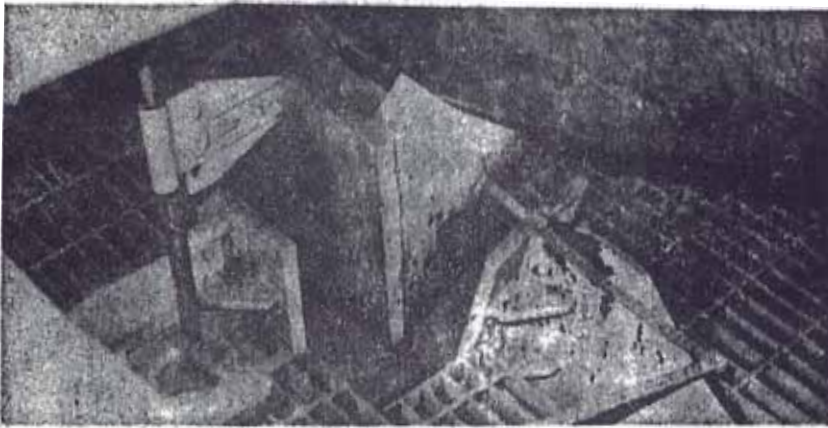
En el sismo de Niigata, también ocurrieron daños de este tipo, el colector de vapor de una caldera suspendida, se balanceó y golpeó fuertemente contra la estructura de apoyo (Fig. # 3.18), la brecha que se produjo en el colector de vapor fué de 90 mm.

Los ladrillos refractorios de un viejo tipo de caldera, se agrietaron a lo largo de sus juntas y algunas de ellos se salieron.

Una caldera de ladrillo, se asentó por un pozo de combustible (subterráneo). El quemador de petróleo se salió de su sitio y se retorció sobre el piso en llamas, estas maquinarias quedaron inutilizadas.



**Fig. 3.17. Tokachi-Oki, 1968**  
Deformación de un pórtico de una caldera suspendida.



**Fig. 3.18. Niigata, 1964**  
El colector de vapor, chocó contra sus apoyos.



**Fig. 3.19. Tokachi-Oki, 1968.** El Ducto de purga de un alto horno de gas, fué roto.



En Tokachi-Oki, el ducto entre el conducto de un tubo, descendente de un alto horno fué quebrado, pero se reportó que las grietas fueron causadas por el período natural de vibración durante sus operaciones diarias (Fig. # 3.19)

3.1.2.8. Daños en tuberías. - En Niigata, en un solo sitio se produjo ruptura de tubería debido a resonancia (Fig. # 3.20) fué estimada la frecuencia natural de esta tubería en 3.6 ciclos / seg. El punto de ruptura, estaba cerca del punto en el cual el momento flector es máximo.

La causa mas frecuente de ruptura de tuberías es por la interacción de las estructuras (Fig. # 3.21) . Para tales fuerzas los puntos críticos de las tuberías son los siguientes:

Cajas de válvulas, juntas soldadas de uniones curvas, las partes roscadas de las juntas atornilladas y algunos tipos de juntas de expansión (Fig. # 3.16). Los codos y juntas soldadas son tambien débiles aunque ellos son fuertes comparados con los puntos arriba mencionados.

Para minimizar este tipo de daños, es recomendable el empleo de mangueras parcialmente flexibles o por lo menos curvables y por una longitud lo suficientemente grande para cubrir esta rigidez (Fig. 3.22)

Otro aspecto que hay que tener en cuenta, es en el uso de tuberías puente. No es un buen diseño que las tuberías sean soportadas por columnas de soporte individuales.

Al menos las columnas deben conectarse unas a otras mediante otras tuberías. Igualmente en este caso, el movimiento relativo de las dos estructuras debería tomarse en cuenta y es



Fig. 3.20. Niigata, 1964. Daños en tubería. Algunos tipos de tuberías en Z, fueron dañadas en las juntas soldadas. Las tuberías apoyadas en columnas se doblaron.

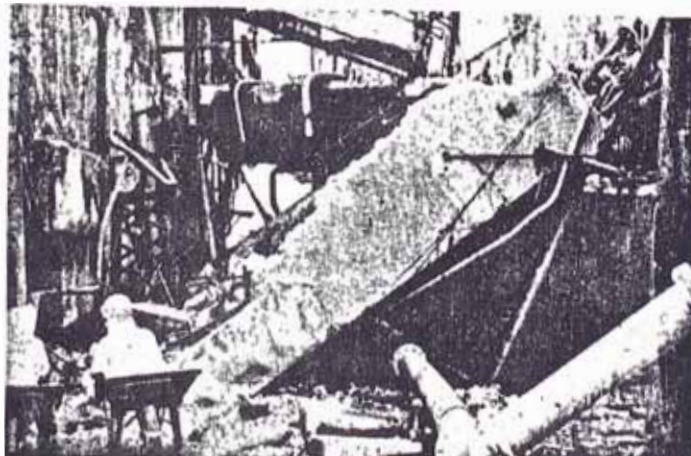


Fig. 3.21. Niigata, 1964. Las tuberías ancladas a las estructuras, fueron rotas junto con estas.

necesario proveerlas de la debida flexibilidad (Fig. 3.22) Una manguera flexible que conectaba un depósito de petróleo, trabajó bien, cuando los depósitos se asentaron varios cientos de milímetros (Fig. 3.23). Solo 3 codos atornillados insertados en unas montantes para líquidos espumoso, soportaron 300 m. m. de desplazamiento relativo (Fig. 3.24)

Se observó, que las roscas perfectamente atornilladas son apropiadas para desplazarse bastante distancia sin sufrir ningún daño.

En cuanto a las tuberías de poly vinilo, que son usadas para conducir agua y vapor a baja presión, resultaron muy frágiles y fueron acortadas muy repentinamente (Fig. 3.25)

En Tokachi-Oki, varios sistemas de tuberías de plantas de fuerza de vapor, tuvieron un pequeño problema durante el sismo. Las oscilaciones de una línea de vapor, no causaron su rotura esta vez, pero el aislador térmico que cubría las tuberías fué destrozado muy fácilmente. La magnitud del esfuerzo fué estimado por el constructor, valiéndose de la amplitud del desplazamiento de una línea de tuberías principales, como menor que el esfuerzo permisible, pero se observó una deficiente disposición de sistemas de tuberías.

La principal línea de vapor fué malograda cerca de la estructura del edificio, esta al golpearla en diferentes partes causó la ruptura del material aislante en varios sitios.

(Fig. 3.26). Este tipo de daños, también ocurrió en el siguiente caso (Fig. 3.27): El indicador de nivel de un caldero, el cual estaba conectado al colector de vapor, mediante tuberías de 4 cm. de longitud, había sido fijado a la estructura del edificio. Como es fácil imaginar las uniones

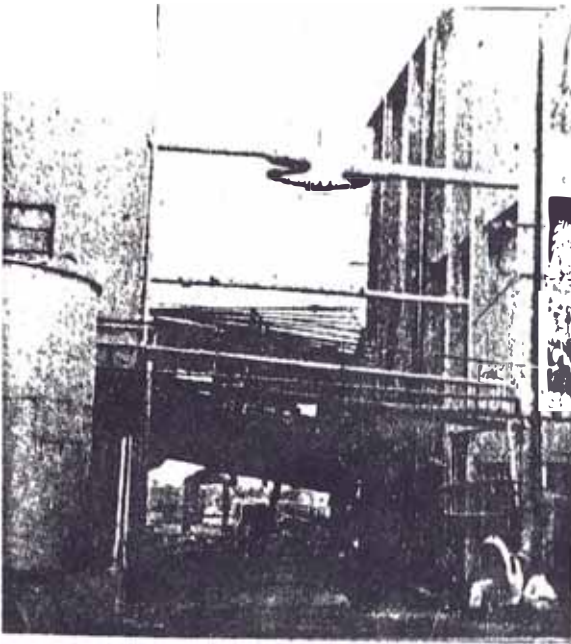


Fig. 3.22.

Niigata 1964. La forma de lazo  $\Omega$  de la tubería tuvo suficiente flexibilidad para evitar su ruptura.

Fig. 3.23

Niigata 1964. Manguera flexible que soporta el asentamiento del tanque sin romperse.

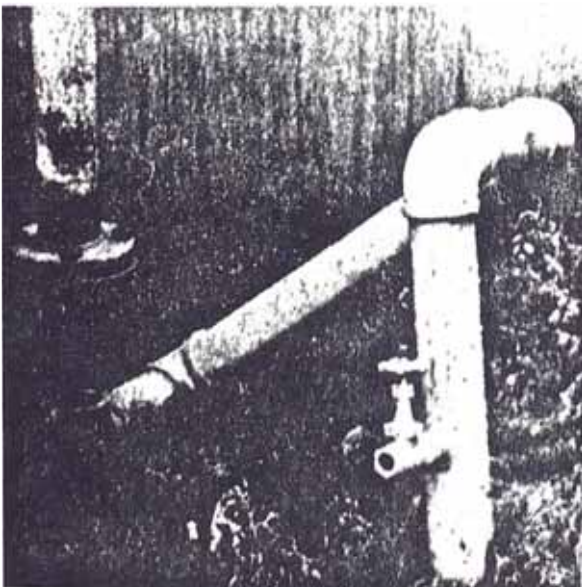
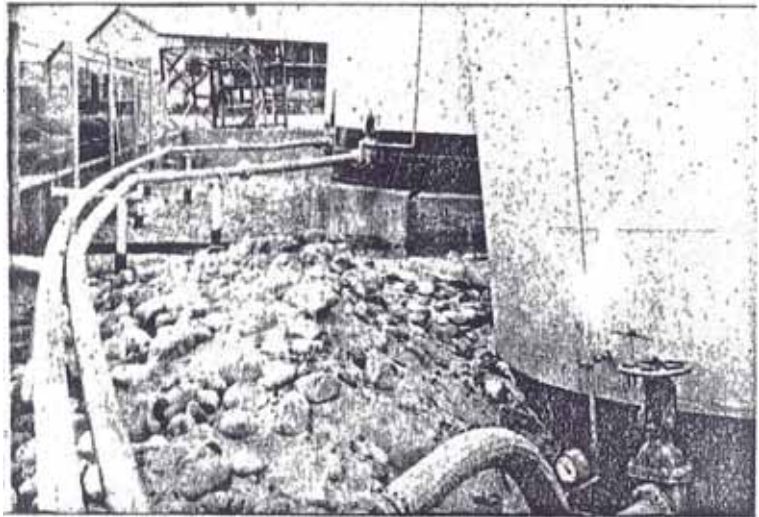


Fig. 3.24.

Niigata 1964. Los codos salvaron a la tubería de la ruptura.

de las tuberías correctadas fueron rotas cuando el colector se balanceó. Pero, afortunadamente, el caldero no estaba operando.

En algunos lugares, se asentaron los apoyos de algunas tuberías por la licuefacción del terreno de cimentación pero no se reportaron daños severos en los sistemas de tuberías.

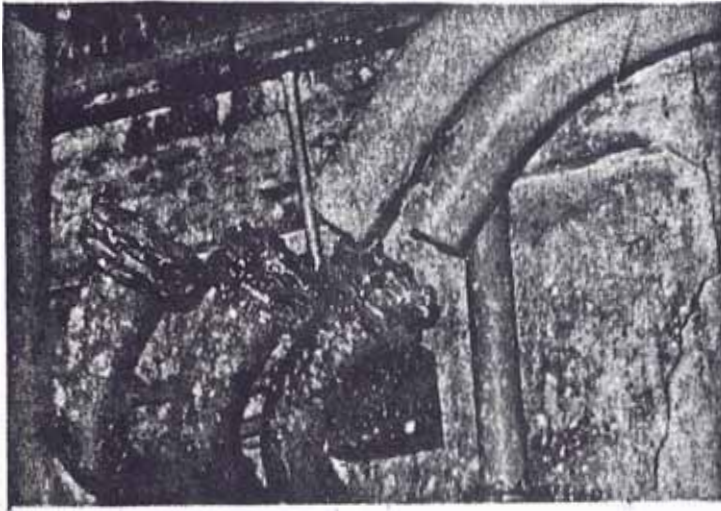
### 3.1.2.9. Daños en depósitos de petróleo y gasómetros. En Niigata,

los incendios de gigantescos depósitos de petróleo, ocasionaron gran cantidad de daños a la industria y al público, alrededor de las plantas. Tres depósitos de 30,000 Kl., se quemaron, no se aclaró como se produjo el incendio. El techo flotante de un depósito de petróleo se inclinó de manera que se podía ver la parte inferior del techo. Después de varias oscilaciones, el petróleo crudo se incendió.

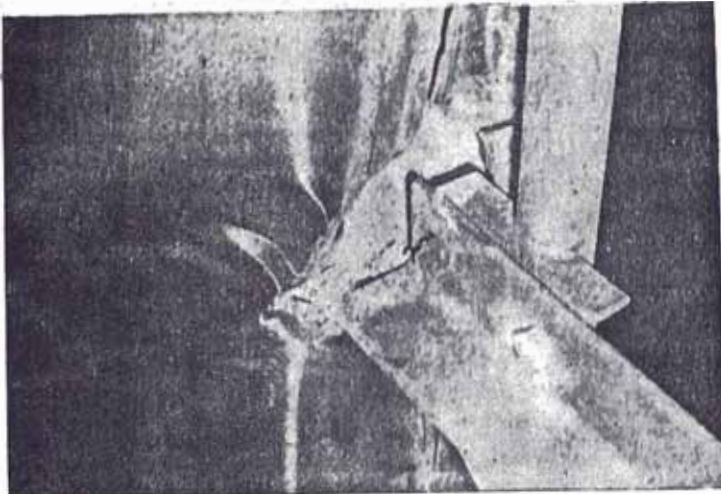
Se reportó, tres tipos de daños en depósitos de petróleo, uno de ellos fué ocasionado por el zangoloteo del petróleo. Esto hizo, que el techo flotante oscilara y que se rompiera un techo fijo (Fig. 3.28). Este mismo efecto del petróleo, inclinó las paredes y techo cuando el nivel del petróleo disminuyó hasta el punto medio (Fig. 3.29)

El tercer tipo de daños, se debió al asentamiento del fondo. Algunos tanques, se asentaron desigualmente y se observó el arrugamiento de sus paredes. Varios de ellos se asentaron cerca de 700 mm. Los asentamientos causaron frecuentemente la ruptura de pilotes y de las boquillas de las paredes. El procedimiento de recuperación durante la fase de emergencia, es uno de los problemas mas importantes, por el traslado del petróleo.

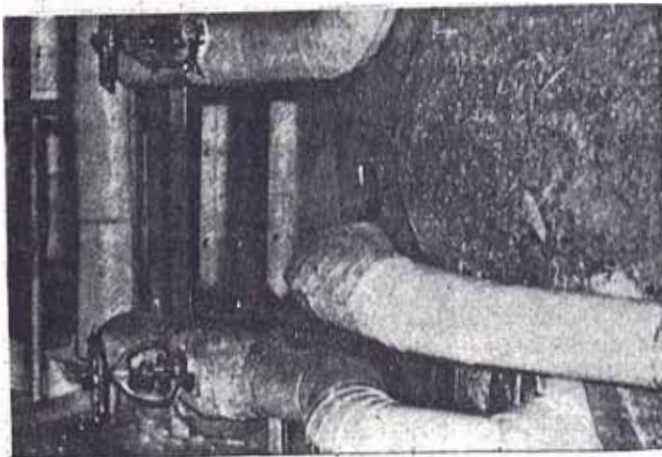
En Niigata, el abastacimiento por bombeo, fué cortado debido al sismo, y en los tanques con techo flotante, el techo



**Fig. 3.25.**  
Niigata 1964. Las tuberías de poly vinilo, fueron rotas bruscamente.



**Fig. 3.26**  
Tokachi-Oki, 1968. La fricción entre la tubería y la estructura, rompió el material aislante de la tubería.



**Fig. 3.27**  
Tokachi-Oki, 1968. Las tuberías de agua del indicador de nivel, conectadas al colector de vapor, fueron rotas.

no pudo acompañar al nivel del petróleo en todos los sitios debido a su distorsión. Para evitar la formación de un espacio entre la superficie del petróleo crudo y el interior del techo, se echó agua para sustituir a este.

Una defensa para separar los bloques de almacenaje de petróleo, fué agrietada en varios puntos de cada sección.

Así el petróleo penetró al otro lado de la defensa, desbordándose a ambos lados de los depósitos, no pudiendo evitar que el fuego se propagara en todas partes.

En Tokachi-Oki, no hubieron derrames de petróleo, semejantes a los ocurridos durante el sismo de Niigata, pero si se produjeron otro tipo de daños:

Sobre dos tipos de tanques de 30,000 Kl., se produjo arrugamiento del cilindro a lo largo de sus bordes superiores.

Cuando el sismo se produjo, el nivel del petróleo en ambos tanques, era mas bien bajo. Solo un daño acusó el petróleo filtrándose por una grieta a lo largo de una soldadura de las planchas del fondo. La capacidad del tanque es 500 Kl.

Se observaron algunas brechas entre los bordes de las planchas del fondo y el borde anterior de la cimentación (Fig. 3.30). El máximo de tales brechas fué de 150 mm. para un tanque de 5370 Kl. Una deformación de la cimentación, pudo también causar una brecha, pero la dirección de estas y otros aspectos hicieron pensar en la posibilidad de un desplazamiento de estos tanques y la grieta de la plancha del fondo podría haberse originado durante un movimiento desplazante.

En cuanto a gasómetros, en Niigata, un tapón de un gasómetro fué dañado. La cúspide acampanada se inclinó y roto, asimismo los brazos guías fueron sacados de sus rieles casi un metro. Este fenómeno fué también reportado en Tokachi-Oki.

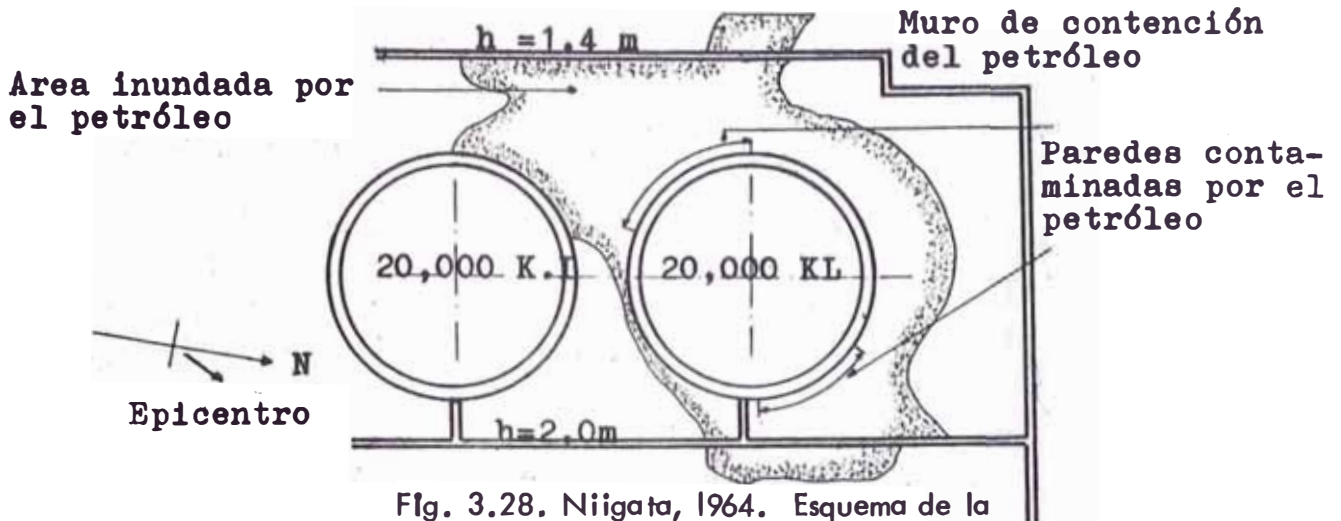


Fig. 3.28. Niigata, 1964. Esquema de la inundación de petróleo alrededor de un tanque con techo flotante, después del terremoto.

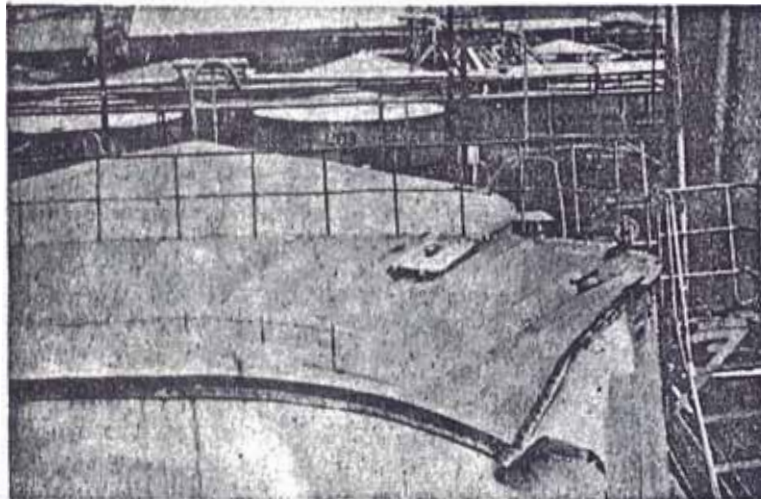


Fig. 3.29. Niigata, 1964. El oleaje del petróleo, produjo el abollamiento de un tanque de almacenaje.

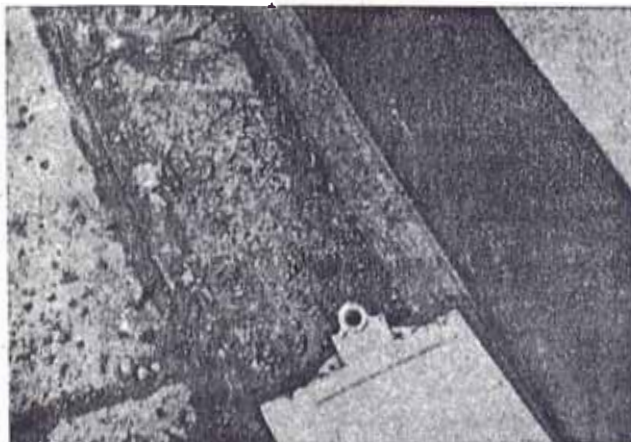


Fig. 3.30. Tokachi-Oki, 1968. Huella del deslizamiento de un tanque de almacenamiento de petróleo de 5370 K.L.



CUADRO # 3.1. CAUSAS DE LOS DAÑOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

TIPO DE INSTALACION INDUSTRIAL	FALLA DE LA CIMENTACION (ASENTAMIENTO)	EFFECTOS DINAMICOS DE LIECUEFACCION DEL SUELO	POR FUERZAS SISMICAS INCLUYENDO LA RESONANCIA	FALLA DE ESTRUCTURAS POR AGRIETAMIENTOS OTRAS ESTRUCTURAS	DEBIDO A PEQUEÑOS DAÑOS EN LA CIMENTACION.
MAQUINARIA DE GRAN TAMAÑO	Diagonal				
MAQ. DE FORMAS IRREGULARES	Diagonal				
MAQUINARIA SOBRE RIELES	Diagonal				
CHIMENEAS Y TORRES			Diagonal		Diagonal
DEPOSITOS ELEVADOS (T. TORRE)	Diagonal				
VALV. Y BOMBAS EN SIST. TUB.	Diagonal			Diagonal	
CALDEROS	Diagonal		Diagonal		
TUBERIAS	Diagonal	Diagonal	Diagonal	Diagonal	
ESTRUCTURAS Y TUBER. ENTERRADAS	Diagonal	Diagonal			
TANQUES PARA LIQUIDOS	Diagonal		Diagonal		

### 3.2. DAÑOS OCASIONADOS POR TSUNAMI.

Se ha querido hacer una pequeña referencia al caso de los tsunamis, aún cuando este no es el tema de este trabajo, ya que estos son fenómenos que frecuentemente se originan como consecuencia de los sismos y que al igual que estos han originado gran destrucción y muerte.

Un tsunami, es un raro tipo de onda marina, la que es producida por :

- a) Grandes terremotos .
- b) Terremotos cuyos epicentros están cerca al área costera,
- c) Grandes desplazamientos submarinos,
- d) Erupciones volcánicas.

El primer tsunami que recuerda la historia data de 1400 años antes de Cristo, cuando un tsunami destruyó la ciudad de Amnisos, Creta. Como consecuencia, la gran ciudad de Helice pereció bajo los efectos de este fenómeno.

Más recientes ejemplos de otros daños debidos a Tsunamis son :

1 de Abril de 1946 Islas Hawai. - Causó 159 muertos y las pérdidas en esa época ascendieron a \$ 25'000,000 (7)

22 de Mayo de 1960 Chile. - Los muertos ascendieron a 4000 y las pérdidas fueron incalculables.

28 de Marzo de 1964. Alaska. - Un terremoto generó un tsunami que destruyó Valdez, Alaska y extendió su muerte hasta lugares tan distancias como California.

En nuestro medio, los tsunamis también han ocasionado graves daños, las industrias no han sido la excepción. Sin ir muy lejos, veamos los daños ocasionados por el pequeño tsunami que acompañó al sismo del 17 de Octubre de 1966 (31) .

Dos de las cuatro fábricas de harina de pescado de Casma sufrieron graves pérdidas, tanto en la harina de pescado como en las instalaciones de las maquinarias. Se estima su valor en 50 millones de soles.

La marejada cubrió todos los muelles particulares de la zona y avanzó

hacia las fábricas pesqueras ubicadas en la orilla.

La pesquera Casma, perdió mas de dos mil toneladas de harina de pescado y los destrozos ascendieron alrededor de 15 millones de soles.

En la pesquera Ancora, la harina y gran parte de la planta queda-ron cubiertos de agua. Las otras dos harineras, San Blas y Mongón, también sufrieron graves pérdidas. La violencia de las olas fué tal

que un muro de concreto armado de mas de 70 cm. de espesor en la fábrica San Blas, fué partido en pedazos.

En el terremoto de Niigata (Japón), la inundación del agua ocasionado por el tsunami y el cambio de nivel relativo, del suelo con respecto al océano, ocasionaron también enormes pérdidas en maquinaria y equipo.

En las fábricas de productos químicos, el agua se mezcló con aceites pesados, originando una gran contaminación en todo sitio. Acidos tan corrosivos como el sulfúrico y el nítrico se diluyeron por la inundación y actuaron terriblemente sobre las planchas de acero.

## C A P I T U L O   I V

### CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL AREA EN ESTUDIO Y METODOLOGIA DEL TRABAJO

#### 4.10. GENERALIDADES.

#### 4.11. UBICACION DE LAS INDUSTRIAS DE LIMA METROPOLITANA.

Las industrias en Lima Metropolitana, se encuentran distribuidas en los siguientes distritos:

- Distrito de Lima.- En la zona comprendida entre las avenidas Argentina y Colonial y parte de la Avenida Venezuela.
- Distrito de Breña.- Adyacente a la zona industrial de Lima , las fábricas se ubican en las avenidas Tingo María, Venezuela y arterias aledañas.
- Distrito de la Victoria.- Comprende la zona de la avenida Aviación y parte de la avenida Méjico, las avenidas Nicolás de Ayllón, Nicolás Arriola, etc.
- Distrito de Ate.- Su zona industrial está ubicada a lo largo de la Carretera Central.
- Distrito del Rímac.- Comprende las zonas aledañas a la Avda. Francisco Pizarro, jirones Cajamarca, Trujillo y otras arterias.
- Distrito de San Martín de Porres.- Comprende la zona de la carretera Panamericana Norte, Avenida Zarumilla y otras arterias.
- Distrito de Surquillo.- La zona industrial es contigua a las avenidas República de Panamá y Tomás Marzano.
- Distrito de Chorrillos.- En la parcelación la Villa y zonas aledañas a la Panamericana Sur.
- Provincia del Callao.- Comprende la zona industrial de la avenida Argentina (en el sector que corresponde al Callao), la zona de la avenida Elmer Faucett y la de la carretera a Ventanilla.

Existen además pequeñas zonas industriales en los distritos de Pueblo Libre, Magdalena, San Miguel, Lince, San Isidro, Villa María, etc.

Para los fines de este estudio, se han agrupado las industrias en 5 zonas geográficas:

Zona I. - Comprende los distritos de Lima, Breña y Pueblo Libre.

Zona II.- Comprende las zonas industriales del Callao y San Miguel.

Zona III.- Comprende las zonas industriales de los distritos del Rimac y San Martín de Porres.

Zona IV. - Comprende los distritos de Ate, La Victoria y Lince

Zona V. - Comprende la zona Sur: Surquillo, San Isidro, Villa María y Chorrillos.

#### **4.12. CONDICIONES FISICAS DEL AREA EN ESTUDIO.**

Hablando en términos generales, los efectos de un sismo, estarán gobernados esencialmente por la magnitud y la distancia epicentral. Si nos circunscribimos a un área limitada como Lima Metropolitana, estos factores serán prácticamente constantes, pero encontraremos diferencias en el comportamiento de las estaciones dentro de esta área, que serán resultado de diferencias geológicas y de suelos incluido el nivel de la napa freática.

El sismo de 1966, que se sintió con regular intensidad en esta área, puso de manifiesto esta diferencia. Las curvas isosistas pusieron en relieve zonas, que por sus características geológicas tienden a registrar mayor intensidad que el resto de la ciudad.

Al observar las intensidades con mayor detenimiento, se encontró una gran influencia del suelo. Se comprobó que todos los puntos que experimentaron una intensidad mayor que las áreas circundantes, tenían terreno aluvional y la napa freática estaba a muy

poca profundidad (32). Dentro de este acápite, se ha hecho un pequeño análisis de tres factores de vital importancia en la amplitud de los fenómenos sísmicos: la geología, el tipo de suelo y el nivel de la napa freática. Se han considerado en conjunto estos 3 factores para cada zona de estudio, tratando de llegar a una calificación de cada una de ellas como buena o mala zona sísmica.

Para una mayor apreciación de los aspectos indicados, se presenta un plano que muestra la geología y otro la profundidad de la napa freática en los diferentes conglomerados industriales de Lima Metropolitana (Fig. 4.1; 4.2). A continuación se hace el análisis de cada zona industrial

#### ZONA I (LIMA Y BREÑA).

Geológicamente, está formada por depósitos aluviales del sistema cuaternario. La zona no es de contacto ni se aprecia la existencia de fallas geológicas.

En cuanto al subsuelo, es un conglomerado y la napa freática se encuentra bastante profunda (de 15 a 30 m. de profundidad), por lo cual se estima no afectará el comportamiento del suelo.

La zona se puede catalogar como de buen comportamiento sísmico.

#### ZONA II (CALLAO Y SAN MIGUEL).

La zona del Callao, está constituida mayormente por lentes de arcilla. Los sondeos realizados en la zona, muestran que la arcilla es relativamente blanda en la superficie. A mayores profundidades, la consistencia del material aumenta. Los perfiles que se indican en el párrafo anterior, indican a su vez que la arcilla descansa sobre un lecho de cascajo. La napa freática en esta zona, se encuentra a menos de 5m. de profundidad, razón por la cual existe problemas de asentamiento en algunos sectores.

Por lo expuesto, se puede concluir que en esta zona, desde el punto de vista de interacción suelo estructura, las fuerzas sísmicas que actuarán en las construcciones de esta área, serán mayores que en otras zonas. Por tal motivo se ha catalogado como zona de cuidado, resultando zona poco adecuada para construcciones muy altas y poco rígidas, debiéndose usar en esta zona cimentaciones conectadas o pilotes.

### ZONA III (RIMAC Y SAN MARTIN DE PORRES).

Geológicamente, la zona del Rímac, es de contacto formacional entre sedimentos poco consolidados y rocas volcánico-sedimentarias. En cuanto a la zona industrial de San Martín de Porres, existe una falla geológica que atravieza longitudinalmente dicha zona industrial (Ver plano geológico), dicha falla actualmente se encuentra inactiva, pero cabe la posibilidad de que pudiera activarse con un movimiento sísmico.

En cuanto al suelo, en esta zona está formado por cascajo y tierra de cultivo, encontrándose la napa freática profundidades que varían desde 5 metros en la zona de la acarretera a Ancón, hasta los 50 m. en la zona del Rímac, por lo cual su influencia en el comportamiento del suelo debe ser poca. Se puede concluir que debido a los aspectos geológicos arriba anotados, esta zona se puede catalogar como de cuidado.

### ZONA IV (LA VICTORIA Y ATE).

Geológicamente, esta zona no presenta dificultades, tampoco desde el punto de vista del tipo de suelo, el que está formado por conglomerado y arena gruesa, la napa freática se encuentra bastante profunda (25-75m) siendo esta profundidad mayor en el sector de la Victoria.

Se puede catalogar esta zona como buena sísmicamente.

#### ZONA V (SURQUILLO Y CHORRILLOS).

El sector más crítico de esta zona, corresponde a las industrias de Chorrillos, ubicadas en una zona de contacto formacional entre sedimentos muebles y rocas sedimentarias y atravesado parcialmente por una falla geológica que al igual que en la zona 3 actualmente se encuentra inactiva pero que podría activarse con un movimiento sísmico.

En cuanto al suelo, es bueno (conglomerado), y la napa freática se encuentra bastante profunda en el sector de Surquillo (50 m.), pero esta profundidad disminuye hasta 5 metros en Chorrillos, agravando las condiciones de este sector.

Se puede concluir por las condiciones arriba expuestas que el sector de Chorrillos es de cuidado.

Como una recomendación final, se sugiere la realización de estudios más detallados en este aspecto en las zonas indicadas, ya que ellos serían de gran utilidad para evaluar el comportamiento de las edificaciones establecidas en estas zonas. En este acápite, solo se indican las características físicas más generales de cada zona, escapando de los fines de este trabajo un estudio más minucioso.

#### 4.20. METODOLOGIA DE LA ENCUESTA.

Teniendo en cuenta el elevado número de industrias existentes en el área de Lima Metropolitana (9863) que prácticamente hacía imposible hacer un estudio individual de cada establecimiento industrial, se optó por emplear el método estadístico del muestreo, es decir efectuar una labor de encuesta, pero únicamente en determinado porcentaje de las industrias establecidas en el área en estudio.

En este sub-capítulo, se indicará la metodología seguida en la encuesta realizada y se ha creído conveniente empezar por una



descripción de las fichas empleadas en el trabajo de campo, para luego hacer una indicación sobre la forma como se ha seleccionado la muestra y finalmente indicar como se llevó a cabo la encuesta.

#### 4.21. DESCRIPCION DE LAS FICHAS DE ENCUESTA.

Con el fin de determinar las características y probable resistencia sísmica de las industrias de Lima, se elaboraron fichas de encuesta en las cuales se trató de reunir variados aspectos sobre la edificación, las instalaciones industriales y las medidas de seguridad tomadas en las fábricas en caso de sismo e incendio.

Las fichas constan de tres partes:

- 1) Datos generales de la industria (Una ficha por establecimiento industrial.
- 2) Datos sobre la edificación (Una ficha por bloque o zona de construcción homogénea dentro de la fábrica)
- 3) Datos sobre las instalaciones industriales (Una ficha por bloque o zona de construcción homogénea dentro de la fábrica)

Las fichas mencionadas, serán descritas y además se acompañará un modelo de ellas a fin de que se tenga una idea mas clara

4.21.1. DATOS GENERALES DE LA INDUSTRIA. Esta ficha comprende de las siguientes partes:

- 1) Nombre y ubicación. - En este acápite se consignan los datos indispensables para localizar la industria: nombre, calle, número, distrito y provincia.
- 2) Tipo de Industria. - Se considera datos sobre la agrupación industrial y productos que fabrica, aspectos que son necesarios para la fase de tabulación de resultados. Asimismo se considera el número de personas que laboran en la fábrica.

Con la finalidad de hacer una evaluación de las posibles pérdidas, se ha considerado el capital invertido en la industria así como el monto aproximado de la producción.

- 3) Características locales.- En este acápite, se trata de recopilar la información sobre las características físicas del lugar en el que está ubicada la industria.

Se consignan los siguientes aspectos:

a) Topografía.- Factor que tiene cierta influencia en el comportamiento sísmico de las estructuras.

b) Tipo de Suelo.- Es una información de mucha utilidad para poder asumir el posible comportamiento de la edificación durante un sismo, ya que las características del movimiento variarán de acuerdo al tipo de suelo.

Se han considerado los siguientes tipos de suelo:

Roca

Grava

Arena

Limo

Arcilla

Conglomerado

Otros (especificar)

Para complementar este factor, se ha considerado también el nivel de la napa freática.

- 4) Historia sísmica.- El comportamiento que ha tenido una estructura durante sismos anteriores, es un factor de vital importancia, cuando se trata de evaluar la resistencia sísmica de una edificación.

En este sentido se ha creído conveniente consignar el tipo de daños sufrido por la edificación en sismos pasados:

Ninguno

Pequeños

Regulares

Grandes

Indicar la fecha en que se produjeron y especificar en que consistieron esos daños y cual fué su monto en soles. Finalmente, indicar como se reparó la zona afectada y a cuanto ascendió la reparación.

Es bueno aclarar, que si bien es cierto estos datos pocas veces pueden ser llenados de una manera completa, aún así sirven como un buen indicador del futuro comportamiento de la industria.

- 5) Seguridad Industrial.- Este acápite, está encaminado a determinar, los medios tanto físicos como humanos, con que cuentan los establecimientos industriales para afrontar los desastres, telúricos y los incendios (desastre que frecuentemente acompaña al sismo) Es conveniente resaltar, la gran importancia de este acápite por cuanto comprende no solo la seguridad de las instalaciones industriales sinó también la protección de la vida humana, lo cual dependerá en gran parte de las medidas de seguridad que se tomen con los sismos, del grado de entrenamiento en caso de de astres que se halla dado al personal, de los simulacros de sismo que se lleven a cabo, etc.

6) Abastecimiento de energía. - La paralización de las fábricas, puede significar muchos millones de soles en pérdidas. En este acápite, se trata de investigar cuan suficientes son las fábricas, para autoabastecerse de energía, en el supuesto caso de que el abastecimiento de energía eléctrica de la red pública, se viera interrumpir por un sismo.

4.21.2. DATOS SOBRE LA EDIFICACION. Esta ficha comprende dos aspectos :

- a) Materiales de que está hecha la edificación.
- b) Evaluación del estado de conservación en que se encuentra la edificación.

a) Materiales de que está hecha la edificación. En este aspecto, se han considerado los materiales que generalmente son mas usados en las diferentes partes de una construcción, habiéndose considerado la anotación de algunas medidas como por ejemplo altura y espesor de muro, para calcular su relación de esbeltez.

b) Estado del ambiente. Consiste en una calificación de los diferentes elementos de que consta una edificación: columnas, muros, vigas y cobertura, indicando el estado en que se encuentran: aceptable, deformado, agrietado, rota, caída y calificando a su vez ese estado como leve o grave según sea la deficiencia encontrada, de poca importancia o de gravedad. La deficiencia es a su vez también calificada como parcial y total, según comprometa a una porción a a toda la edificación.

Finalmente se consignan otras deficiencias igualmente importantes, como juntas deficientes, asentamientos, desplazamientos y otras.

Como conclusión final se ha colocado una apreciación del estado del ambiente: malo, regular y bueno.

Asimismo, se ha dejado espacio en blanco para que sea empleado en anotar las observaciones y recomendaciones que el encuestador crea conveniente.

**4.21.3. DATOS SOBRE LA INSTALACION INDUSTRIAL.** Esta encaminada a determinar el grado de seguridad que la maquinaria y equipo tiene ante un movimiento sísmico e incendio y los riesgos que ello podría significar para las restantes instalaciones.

Se consigna un cuadro para la maquinaria, el que comprende dimensiones, combustible y tipo de cimentación de los diferentes tipos de maquinaria.

Se ha tratado también de considerar algunas instalaciones bastante frecuentes en la industria como sistemas de tubería, válvulas, chimeneas, tanques, grúas y otras maquinarias, que de acuerdo a experiencias de otros sismos resultan puntos críticos en las instalaciones industriales. Se ha dejado en cada caso espacio para observaciones que el encuestador, considere de importancia anotar.

ITEM .....

HOJA # .....

FICHA PARA EL ESTUDIO SISMICO DE LAS  
INDUSTRIAS

<b>NOMBRE Y UBICACION</b>	Nombre de la fábrica ..... Calle .....N° ..... Distrito ..... Provincia.....
<b>TIPO DE INDUSTRIA</b>	Agrupación Industrial ..... # Personas ..... Productos que fabrica ..... ..... ..... Monto aproximado de la producción ..... Capital invertido en la industria .....
<b>CARACTERISTICAS LOCALES</b>	Extensión .....m2. Topografía ..... Tipo de suelo: Roca ..... Grava .... Arena .. Limo .. Arcilla ..... Conglomerado ..... Otro..... Nivel de la napa freática ..... Observaciones..... .....
<b>HISTORIA SISMICA</b>	Efectos causados por sismos anteriores : Ninguno ..... Pequeños ..... Regulares..... Grandes... Fecha en que se produjeron : Año ... Mes... Día ..... ..... ..... Tipo de daños ..... ..... ..... Monto de daños ..... Manera como se reparó la zona afectada ..... ..... Costo de la reparación .....

<p><b>SEGURI- DAD IN- DUSTRIAL</b></p>	<p>Tipo de edificaciones en el vecindario .....</p> <p>Tiene Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial? .....</p> <p>Este Reglamento incluye un Plan de Control de Desastres? ....</p> <p>Cuenta la fábrica con un sistema de emergencia en caso de : Terremotos ..... Incendios ..... tsunamis ..... Otros desastres .....</p> <p>Con que medios cuenta? .....</p> <p>Conoce y ha sido adiestrado el personal en evacuación de plan- tas en caso de desastres? .....</p> <p>Cuenta con ingenieros o Supervisores de Seguridad ? .....</p> <p>y Comité de Seguridad e Higiene Industrial? .....</p> <p>Cuenta con Servicios Médicos o de Primeros Auxilios? .....</p> <p>Especificar .....</p>
<p><b>ABASTE- CIMIENTO DE ENER- GIA</b></p>	<p>El abastecimiento de energía es propio? .....</p> <p>Cuenta la fábrica con generadores de emergencia? .....</p> <p>Cantidad ..... Capacidad .....</p> <p>Con los generadores de emergencia la fábrica podría funcionar al : 100 % ..... 75% ..... 50% ..... 25% ..... otros ... Porcentaje ..... de su capacidad normal</p>

ITEM .....

HOJA # .....

DATOS SOBRE LA EDIFICACION

AMBIENTE ..... Dimensiones : L..... A..... H.....

TIPO DE CIMENT.: C. Corrido ..... Zap. Aisl...Zap. Conectada .....

Pilotes ..... Otro .....

COLUMNAS :

Mat	H	Sección
C.A.		
Acero		
Madera		

ESQUEMAS

MUROS :

Material	H	e	Observaciones
Adobe			
Ladrillo			
Asb.cem.			
Otro			

PISO : Concreto .... Madera .....

Otro .....

TECHO: a) Forma del techo :

Plano ..... Inclineda : 1 Agua .....

2 Aguas .....

D.Sierra .....

b) Tipo de armadura del techo:

MAT.	TIPO DE ARMADURA			
	Pórtico	Ret. simple	Ret.acart.	Otro
C.Arm.				
Acero				
Madera				

c) Cobertura : L. conc..... Asb.cem.....Mad.....L.alig..... Otro.....



ESTADO DEL AMBIENTE :

ELEMENTO \ ESTADO	COLUMNAS				MUROS				VIGAS				COBERTURA			
	P	T	L	G	P	T	L	G	P	T	L	G	P	T	L	G
ACEPTABLE																
DEFORMADAS																
AGRIETADAS																
ROTAS																
CAIDAS																

Amplitud de la deficiencia : P : Parcial

T : Total

Calificación de la deficiencia : L : Leve

G : Grave

Otras deficiencias en el ambiente : Juntas deficientes .....

Asentamientos ..... Desplazamientos ..... Otros .....

Riesgos en el ambiente .....

.....

Apreciación del estado del ambiente : Malo .... Reg. .... Bueno .....

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES : .....

.....

.....

.....

ITEM .....

HOJA # .....

DATOS SOBRE LAS INSTALACIONES  
INDUSTRIALES

AMBIENTE .....

TIPO DE MAQUINARIA	Cant.	Dimens			Combustible			Cimentación			
		L	A	H	Pet	Gas	Elec	Otro	Zap	Pil	Otro

OTRAS INSTALACIONES :

SISTEMAS DE TUBERIAS : Elemento que conduce .....

Estado de las tub..... Forma de sujeción .....

Observaciones .....

VALVULAS : Tipo de válvulas .....

Ubicación .....

Observaciones .....

CHIMENEAS : Dimensiones: Largo ..... Ancho ..... Altura .....

Material : Ladrillo ..... C. Arm ..... Acero ..... Otro .....

Estado de conservación : Malo ..... Regular ..... Bueno.....

Observaciones ?.....

TANQUES: Elemento que almacenan .....

Volúmen ..... Material .....

Estado de conservación ..... Peligros .....

.....

Precauciones .....

.....

Observaciones .....

.....

.....

GRUAS Y OTRAS MAQUINARIAS ELEVADAS: Capacidad .....

Altura ..... mts. Forma de arriostre .....

.....

Precauciones .....

.....

Observaciones .....

.....

.....

POSIBLES RIESGOS: .....

.....

.....

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.

.....

.....

.....

.....

.....

#### 4.22. ELECCION Y DISEÑO DE LA MUESTRA.

Para la elección de la muestra mas conveniente, lo primero que se ha hecho, es delimitar el universo de acuerdo al tipo de estudio que se quería realizar. Teniendo en cuenta los objetivos de este estudio, se analizó que aún cuando en Lima Metropolitana, existen 9,863 industrias con una o mas personas ocupadas (33), esta cifra es poco significativa debido a que 86% de estas son pequeñas por la reducida mano de obra con que cuentan (de 1 a 19 personas), (Véase cuadro # 4.1.).

CUADRO # 4.1.

NUMERO DE PERSONAS OCUPADAS	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES	%
1 - 19	8,519	86
20 ó más	1,344	14
	TOTAL 9,863	100

Para la elección de la muestra, no se ha considerado la pequeña industria por las siguientes razones:

- De acuerdo a la hipótesis de trabajo, de producirse un sismo en el área de Lima Metropolitana, las mayores pérdidas tanto humanas como económicas se producirán en los establecimientos mas grandes, que cuentan con mayor población laboral e instalaciones mas costosas.
- Desde el punto de vista social, el mayor número de trabajadores que podrían quedar sin empleo en caso de colapso de algunas industrias por un sismo, se encontrará en las medianas y grandes industrias.
- Mayor impacto a la economía nacional causaría la destrucción de industrias medianas y grandes que las pequeñas.

Se ha tomado como índice del tamaño de la empresa el número de personas y no el capital de la empresa porque este último podría dar una idea errada del tamaño de la industria, sobre todo en aquellas empresas que tienen muchos años de funcionamiento, por la depreciación de los activos fijos. Además el catalogarlas por el número de personas ocupadas permite tener una idea clara del local que emplea la empresa. De acuerdo a estudios realizados por la O.P.D.U., el 73% de los establecimientos que emplean entre 1 y 19 personas demandan áreas menores a los 300 m<sup>2</sup>, lo cual dice claramente que el 73% de estas industrias emplean locales que han sido viviendas.

Para la elección de la muestra, en coordinación con la O.N. E. C., se acordó darle un mayor peso en la muestra a las siguientes agrupaciones industriales :

- a) Industrias alimenticias y de bebidas. - Por la gran importancia que podrían tener en caso de sismo en la atención de básica necesidad de alimentación de la población.
- b) Industrias dedicadas a la fabricación de harina de pescado. - Por el rol preponderante que desempeña esta industria en la economía del país.
- c) Industrias dedicadas a la fabricación de sustancias y productos químicos. - Porque incluyen a los laboratorios que elaboran los productos farmacéuticos, e industrias de gran riesgo porque emplean sustancias muy inflamables que en caso de sismo podrían causar daños tanto a la misma industria, como a las edificaciones de los alrededores.

Para estas agrupaciones industriales se ha tomado un 12% del número de industrias existentes (con mas de 20 personas ocupadas) en su respectiva agrupación industrial. En los restantes grupos industriales se tomó el 5% de las industrias.

Finalmente la muestra quedó constituida de la siguiente manera:

<u>GRUP IND.</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>
20	Ind. Manufactureras de productos alimenticios	14
20X	Fabricación de harina de pescado	2
21	Industria de bebidas	4
22	Industria del tabaco	1
23	Fabricacion de textiles	8
24	Ind. de la madera y el corcho excepto fabricacion de muebles	2
25	Fabricación de calzado y prendas de vestir	9
26	Fabricación de papel y productos de papel	1
27	Fabricación de muebles y accesorios	4
28	Imprentas, editoriales e industrias conexas	3
29	Industrias del cuero excepto calzado	2
30	Fabricación de productos de caucho	1
31	Fabricacion de sustancias y productos químicos	14
33	Fabricacion de productos minerales no metálicos	3
34	Fabricacion de productos metálicos básicos	
35	Fabricación de productos metálicos excepto maquinaria y equipo de transporte	5
36	Construcción de maquinaria, excepto maquinaria eléctrica	3
38	Construcción de material de transporte	4
39	Industrias manufactureras diversas	4
	TOTAL :	91

#### 4.23. TRABAJO DE CAMPO.

Para la realización de la encuesta, se contó con la colaboración de un grupo de alumnos del curso de Ingeniería Antisísmica de la U.N.I., quienes fueron debidamente preparados, asesorados y acompañados en las visitas.

En la encuesta misma, se tropezó con numerosas dificultades para el ingreso a las industrias, debido al celo del personal directivo de las empresas, por razones de seguridad y espionaje industrial. Habiéndose tenido que cambiar por este motivo numerosas industrias en la muestra.

En la industrias que si permitieron el ingreso, hubo poca colaboración para la inspección de las instalaciones y para la toma de fotografías.

## C A P I T U L O V

### EVALUACION DE LOS RESULTADOS

#### 5.10. METODOLOGIA EMPLEADA.

Para la evaluación de los resultados, en coordinación con la O.N.E.C., se clasificaron las industrias en tres grupos de acuerdo al grado de importancia que estas podrían tener en caso de un sismo.

Este orden de prioridad es el siguiente :

#### Grupo de prioridad 1 :

<u>Agrup. Ind.</u>	<u>Actividad</u>
20	Industrias manufactureras de productos alimenticios
20X	Fabricación de harina de pescado.
21	Industria de bebidas.

#### Grupo de prioridad 2:

<u>Agrup. Ind.</u>	<u>Actividad</u>
23	Fabricación de textiles
24	Fabricación de calzado
25	Industria de la madera
27	Fabricación de papel
31	Fabricación de sustancias químicas
34	Industria metálica básica
35	Fabricación de productos metálicos
36	Fabricación de maquinaria
37	Construcción de maquinaria eléctrica
38	Materiales de transporte

#### Grupo de prioridad 3:

<u>Agrup. Ind.</u>	<u>Actividad</u>
22	Industria del tabaco



26	Fabricación de muebles
28	Imprentas
29	Industria del cuero excepto calzado
30	Fabricación de productos de caucho
33	Fabricación de productos minerales no metálicos
39	Industria de manufactura diversa.

Para la evaluación de la resistencia sísmica de las industrias de Lima Metropolitana, estas han sido clasificadas según su probable resistencia sísmica en cuatro tipos A,B,C y D de acuerdo a la siguiente tabla:

**TIPO A.** - Edificaciones con gran probabilidad de falla total o de daños muy graves que hagan impráctico su reparación (mas de 75% de daños). Peligro de muerte o heridos graves para sus ocupantes, por ejemplo :

1. Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión natural o roedores ubicadas sobre cualquier tipo de suelo.
2. Edificaciones de adobe y/o ladrillo sin columnas, con poca densidad de muros ubicados sobre cualquier tipo de suelos blandos o en zonas de contacto.
3. Muros de ladrillo o adobe altos, de poco espesor y ningún arriostre.
4. Edificios de ladrillo y/o concreto con dos o mas defectos graves de estructuración (columnas cortas, torsión, impacto , ubicados en terrenos desfavorables).

**TIPO B.** - Edificaciones donde se pueden producir daños importantes que aunque no produzcan su colapso, hacen imposible su utilización sin ser reparada, estimándose las pérdidas entre el 30 y 60 % de su valor. Pueden producirse accidentes por caídas de bloques de albañilería o concreto, rotura de vidrios etc., por ejemplo :

1. Edificaciones de concreto y/o ladrillo con defectos de estructuración, que provoque concentración de esfuerzos en algunos puntos (columnas cortas, torsión, juntas inapropiadas que causen fallas por impactos, falta de confinamiento en muros paralelos a la dirección donde hay una baja densidad de muros, etc.
2. Construcciones de adobe bien estructurado, de un solo piso y construido en terreno firme.

TIPO C. - Edificaciones donde se estiman se producirán daños moderados o leves. El sistema estructural conserva sin mayor peligro gran parte de su resistencia y puede seguir siendo utilizado. Las pérdidas se estiman entre el 10 - 20 % de su valor. Alguna posibilidad de accidentes; por ejemplo:

1. Edificaciones de ladrillo con columnas pero que no han sido especialmente calculados para resistir sismos, presentando algunos defectos como baja densidad de muros y que no todos los paños estén confinados por columnas. Edificios y construcciones no calculados para resistir sismos.

TIPO D. - Edificaciones donde se estiman no se producirán daños o estos serán muy leves. Las pérdidas no sobrepasan el 5% de su valor.

No hay peligro para sus ocupantes pero se recomienda a estos mantenerse alejados de ventanales u objetos que puedan volcarse o caerles encima. Ejemplo:

1. Edificaciones de ladrillo, concreto armado o acero, diseñado de acuerdo a normas de diseño sísmico, con materiales de buena calidad, buena mano de obra e inspección rigurosa.

NOTA: En caso que las construcciones hayan sido hechas con materiales de baja calidad, mano de obra mala de inspección no rigurosa, las edificaciones de tipo B,C y D; serán consideradas en el tipo inmediato inferior.

## 5.20. RESULTADOS Y COMENTARIOS.

### 5.21. EDIFICACION.

Se han considerado los siguientes aspectos:

5.21.1. MATERIALES. - Como resultado de la encuesta han obtenido los siguientes datos :

A) MUROS. - En general, se puede anotar que el material predominante en las industrias de las zonas estudiadas, es el ladrillo, encontrándose los mas altos porcentajes en las zonas 2, 5 y 3 (Ver cuadro # 5.1), esto es explicable porque estas zonas cuentan con algunos sectores bastante recientes.

Por el contrario, las industrias construídas con muros de adobe están concentradas mayormente en la zona I (Lima y Breña), representando aproximadamente el 26% de las industrias de esa zona. Con menos concentración que la zona I, tenemos la zona IV (La Victoria), la que tiene un 9% de industrias de adobe.

Si consideramos que existen industrias construídas con ambos materiales, estos porcentajes variarán un poco.

B) COLUMNAS. - En las zonas 1,3, 4 y 5, predominan las columnas de Concreto Armado, sobre los otros materiales (Ver Cuadro # 5.2), no sucede lo mismo en la zona 2, donde el concreto armado y el acero son usados prácticamente en igual proporción, notándose ligero predominio del acero.

La madera también es usada sobre todo en los sectores antiguos de las zonas I, II, III y IV, encontrándose el mayor porcentaje

en el sector i en el distrito de Lima y Breña.

- C) VIGAS. - El concreto armado y el acero en conjunto son los materiales mas usados a nivel de Lima Metropolitana (25%). Sin embargo, en la zona del Callao, predomina el acero (42%). En cuanto a la madera, se encuentra en todas las zonas pero en menor porcentaje (Ver cuadro # 5.3).
- D) COBERTURA. - Prácticamente en todas las zonas industriales predominan las edificaciones con cobertura de as besto cemento y losa aligerada con un 43% del total, le sigue en porcentaje el asbesto cemento solo con un 25% y luego la losa aligerada con 18%, siendo el porcentaje de madera de un 6% (Ver cuadro 5.4).

CUÁDRO # 5.3.- VIGAS

MATERIAL	ZONA I		ZONA II		ZONA III		ZONA IV		ZONA V		TOTAL	
	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%
Concreto Armado	91	15	17	10	23	29	100	37	19	24	250	21
Acero	33	5	70	42	8	10	17	6	10	13	138	11
Madera	108	17	34	21	8	10	49	18	-	-	199	16
C.Arm. Acero	189	30	28	17	25	31	37	14	20	25	239	25
Acero, Madera	62	10	10	6	8	10	57	21	20	25	157	13
Acero, Madera	91	15	6	4	-	-	-	-	10	13	107	9
C. A., Acero, Madera	47	8	-	-	8	10	12	4	-	-	67	5
	621		165		80		272		79		1217	

CUADRO # 5.4. - COBERTURA

MATERIAL	ZONA I		ZONA II		ZONA III		ZONA IV		ZONA V		TOTAL	
	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%
Losa aligerada	76	12	-	-	23	29	100	37	20	25	219	18
Asbesto cemento	112	18	109	66	8	10	54	20	19	25	302	25
Madera'	60	10	-	-	8	10	-	-	-	-	68	6
Losa alig. asb. cement	300	48	56	34	33	41	94	35	40	50	523	43
Losa alig. madera	29	5	-	-	8	10	-	-	-	-	37	3
Asb. cement. madera	29	5	-	-	-	-	12	4	-	-	41	3
Losa alig. mad. asb.	15	2	-	-	-	-	12	4	-	-	27	2
	621		165		80		272		79		1217	

### 5.21.2. RESISTENCIA SISMICA DE LAS EDIFICACIONES.

Los resultados obtenidos, han sido tabulados en dos formas:

- Por grupos industriales prioritarios
- Por zonas de estudio

A) Por grupos prioritarios. - Se han obtenido los siguientes resultados :

CUADRO # 5.5.

TIPO	GRUPO I		GRUPO II		GRUPO III	
	CANT.	%	CANT.	%	CANT.	%
A	-	-	15	2	18	6
B	45	36	199	26	185	57
C	73	50	369	48	111	34
D	17	14	181	24	10	3

#### Análisis de los resultados . -

Grupo I. - En este grupo, que comprende industrias alimenticias, de bebidas y harina de pescado, no se han encontrado industrias de tipo A (mas de 75% de daños), pero el porcentaje de tipo B (Entre 30 y 60% de daños), es bastante elevado (36%). Los tipos C y D constituyen la mayoría, sobre todo C que constituye el 50% de las industrias de ese grupo.

Concluyendo podemos decir, que aún cuando posiblemente ninguna industria de esta agrupación, va a colapsar totalmente, hay un 35% que podría sufrir considerablemente pérdidas.

Grupo II. - Se encuentra en este grupo un 2% de industrias del tipo A, lo que significa aproximadamente 15 fábricas que podrían colapsar. Del tipo B hay un 26%, encontrándose siempre mayor porcentaje de los tipos C y D.

Grupo III. - Es el grupo que presenta mayor porcentaje de industrias de tipo A y B (6% y 57% respectivamente) lo cual significa que alrededor de 18 industrias de esta agrupación podrían colapsar y 185 sufrirían pérdidas entre el 30 % y el 60%.

B) Por zonas de estudio. - Observando el cuadro # 5.6, podemos concluir, que la zona posiblemente mas afectada sería la zona I (Lima y Breña) donde un 5% de las fábricas (aprox. 33) podrían colapsar con un sismo de esa intensidad y 251 (40%) podrían sufrir daños de consideración (entre 30% y 60%). En porcentaje de daños seguiría la zona IV (La Victoria - Ate), en el cual un 39% de las fábricas podrían ser afectadas seriamente (Tipo B). Finalmente la zona industrial del Rímac y San Martín de Porres con un 29% de fábricas de tipo B y el Callao con 24% de industrias también de este tipo.



CUADRO # 5.6. RESULTADOS POR ZONAS DE ESTUDIO

ZONA	TIPO	NUMERO DE INDUSTRIAS	%
I	A	33	5
	B	251	40
	C	270	44
	D	67	11
II	A	-	-
	B	39	24
	C	74	45
	D	52	31
III	A	-	-
	B	23	29
	C	57	71
	D	-	-
IV	A	-	-
	B	106	39
	C	107	39
	D	59	22
V	A	-	-
	B	10	12
	C	45	53
	D	30	35

### 5.21.3. DEFICIENCIAS EN LAS EDIFICACIONES INDUSTRIALES.

#### A) DEFICIENCIAS EN LAS EDIFICACIONES DE ADOBE.

A.1. DEFICIENCIAS EN LOS MUROS. La gran altura de los muros, que no concuerda con su espesor, constituye uno de los principales problemas encontrados en las construcciones de adobe.

Es frecuente encontrar en las industrias construídas de este material, muros de solo 40 cms. de espesor que alcanzan alturas de 6 y 7 metros.

De acuerdo a la experiencia de otros sismos, sobre todo el de Huaráz, las edificaciones que tenían muros con estas características, prácticamente colapsaron. Estos muros tienden a fallar debido a los momentos flexionantes producidos por la fuerza sísmica horizontal, trabajando como muros sen cantiliver.

En este caso, el problema se agrava, si consideramos que estos muros se encuentran generalmente bastante erosionados debido a su antigüedad, es de suponer que con un sismo de las características supuestas, el colapso sería evidente, ocasionando graves pérdidas materiales a las maquinarias y equipo que albergan. Así por ejemplo en una fábrica textil, al costado de un muro de adobe de 7m. de altura y bastante deteriorado, se encontraba maquinaria evaluada en S/6'000,000, como este, existen muchos otros ejemplos. Si comparamos las pérdidas que podrían ocasionar este muro, con lo que costaría reemplazarlo por otro mas resistente, veríamos que no se justifica económicamente correr tanto riesgo.

A.2. DEFICIENCIAS EN LAS ARMADURAS. Generalmente las industrias edificadas con muros de adobe, poseen armaduras o reticulados de madera, en general se puede decir que un 24 % de las industrias de Lima, (\*) presentan vigas de madera deformadas o en mal estado de conservación, lo que podría originar su falla. Asimismo las uniones en varios casos son deficientes, siendo el arriostre insuficiente en muchos casos.

**Veamos dos ejemplos**

En una industria ubicada en el Callao, se encuentra en la sección calderas, un tijeral de madera que evidentemente ha fallado. Este tijeral, está constituido por montantes de acero, siendo los demás elementos de madera. Como consecuencia de una falla de la caldera, se produjo una gran escape de vapor, lo que originó se aflojara el anclaje de la barra central, fallando por flexión el tijeral.

Se han encontrado también otras deficiencias, como mala estructuración de las armaduras, debido a que muchas de las fábricas antiguas han sido construidas empíricamente, frecuentemente sin planos y sin control técnico. Así por ejemplo, se encontró en una fábrica de muebles, una armadura que carecía de elementos diagonales para absorber el cortante (Ver Fig 5.1.)

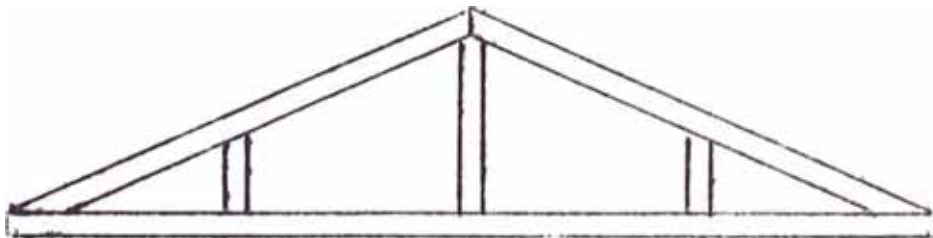


Fig. 5.1. Tijeral de madera en una fábrica de muebles. Obsérvese la carencia de elementos diagonales.

---

(\*) Este porcentaje incluye construcciones de ladrillo, adobe y mixtas en las que se emplean armaduras de madera.

## B). DEFICIENCIAS EN EDIFICACIONES DE LADRILLO.

Se ha encontrado que en las fábricas que cuentan con muros de ladrillo, un 16% de estos, carecen de arriostre o están insuficientemente arriostrados. (Fig. 5.4)

Por las características propias del proceso industrial, generalmente los muros de las fábricas, son de gran longitud y altura y por carecer de arriostre, son susceptibles de fallar por flexión, perpendicular al plano del muro.

Este tipo de falla, se puede presentar favorecida por la poca inercia del muro en este sentido, y debido a que carecen de arriostre en la parte superior del muro. De acuerdo a esto último, los muros en presencia de fuerza sísmica, vibran como membranas restringidas de movimiento, por los encuentros de paredes de los muros adyacentes, y por estar fijados en la parte inferior. Dicha vibración produce alternativamente esfuerzos de tracción y compresión en ambas caras del muro, y debido a que la albañilería cuenta con poca resistencia a la tracción, aparecerán rajaduras verticales. Este tipo de fallas producen el colapso de los muros.

Otra notable deficiencia, asociada con las industrias construídas de este material, es que a veces, con el objeto de obtener iluminación se colocan mochetas de ladrillo sobre el muro, haciendo las veces de "columnas" sobre las que se apoyan las vigas (Fig. 5.5.) Cuando la luz por cubrir es relativamente grande, es colocada una mocheta intermedia para suplir este problema.

Si analizamos este sistema, vemos que si bien puede ser un método muy sencillo y barato, resulta ser totalmente inseguro. Sabemos que una de las causas mas notables de falla en contrucciones de albañilería, es la falta de adherencia de los elementos constituyentes (mortero y ladrillo) siendo así es muy posible, que de producirse un sismo como el supuesto la junta muro-mocheta, no pueda absorber el esfuerzo cortante y se produzca el volteo de la mocheta alrededor del eje del muro, provocando el colapso del techo que soportaba.

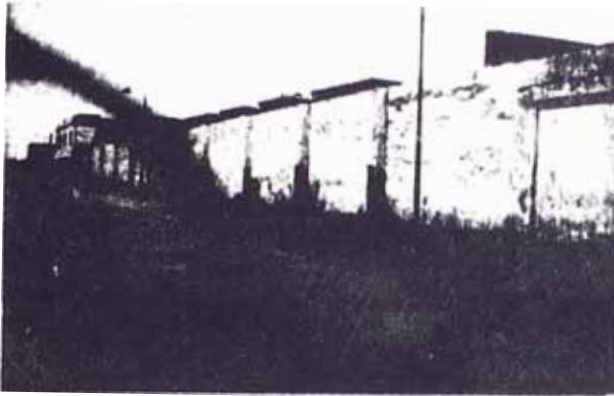


Fig. 5.2. Fábrica muy antigua construida con muros de adobe. Obsérvese como se encuentran carcomidos.

Fig. 5.3. Edificación industrial de adobe en mal estado.

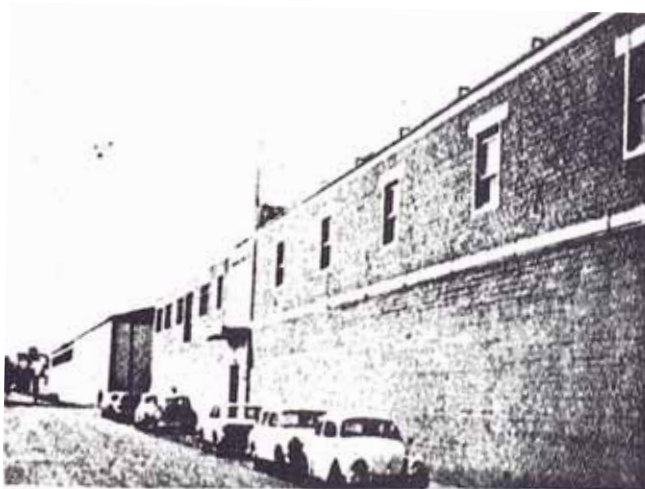


Fig. 5.4. Edificación industrial de ladrillo. Obsérvese la carencia de columnas de amarre en los muros.

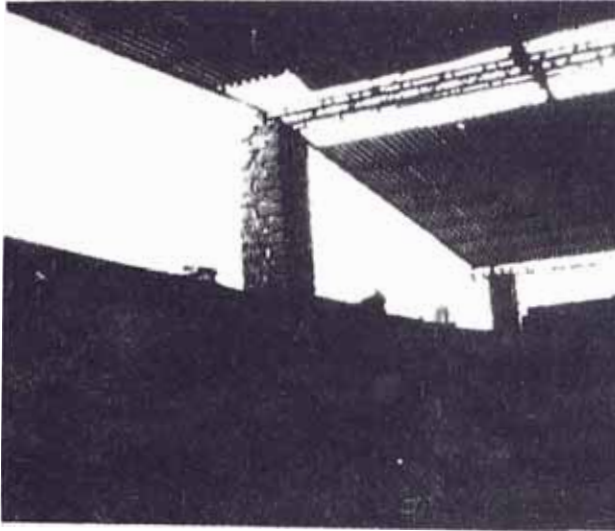


Fig. 5.5. Mochetas de ladrillo que reemplazan a columnas sirviendo de apoyo al techo. Obsérvese en la vista interior un agrietamiento en la parte inferior de la mocheta.



### C). DEFICIENCIAS EN LAS EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO.

Los errores de diseño y de construcción encontrados en las industrias de Lima Metropolitana, son prácticamente los mismos que han causado graves daños en otros sismos. Se trata generalmente de deficiencias fáciles de determinar y que no requieren de estudios detallados ni de análisis minuciosos,

Es bueno anotar, que si bien generalmente estas deficiencias no comprometen a todas las edificaciones de una planta industrial, si nos dan una idea de cuales son las deficiencias mas frecuentes, a fin de buscar las medidas adecuadas para solucionarlas.

Se han encontrado las siguientes deficiencias:

C. 1. RIGIDIZACION DE COLUMNAS Y POS'BLE EFECTO DE COLUMNA CORTA. - Es el problema mas frecuentemente encontrado en las edificaciones industriales de concreto armado, la rigidización de las columnas se presenta generalmente cuando los muros disminuyen la altura libre de las columnas, originando concentración de esfuerzos en el tramo libre. Asimismo, numerosas edificaciones industriales tienen uno o dos de los pórticos longitudinales con sus columnas libres, en tanto que las otras, tienen paredes o paneles que se levantan desde el piso hasta cerca de 50 a 100 cms. del piso superior. Esto deja la columna empotrada en la pared, en casi la totalidad de la altura del entrepiso a excepción de los 50 a 100 cms. superiores. Esta porción libre tiene que tomar una gran porcentaje de la fuerza lateral, desde que ellas son en general mas de 30 veces mas rígidas que las columnas de los otros pórticos (los libres). Es decir que el efecto de rigidización causado

por estos muros en una fracción del total de columnas de la estructura, hace que estas pocas columnas arriostradas, tomen gran parte del esfuerzo de corte a nivel del piso considerado y sufran al no estar diseñadas para resistir estos esfuerzos aumentados, la destrucción parcial o total. Los daños estructurales que puede causar esta deficiencia varían desde una grieta por tracción diagonal en algunas columnas, hasta colapso parcial, como fuera observado en Acapulco, San Salvador, Lima, Caracas y Huaráz.

Veamos algunos ejemplos encontrados en las visitas que se llevaron a cabo.

Dos pabellones de una moderna fábrica de productos químicos, presenta en su perímetro, muros de ladrillo calcáreo de 0.25m, que empotran parcialmente a las columnas dejando libres los 0.70 superiores. A consecuencia del sismo de 1970, se produjeron daños en una columna de esquina, consultando esto a una compañía de ingenieros, encontraron que los daños se habían producido debido a deficiencias de estribaje de la columna ya que había sido tratada como columna esbelta.

Veamos como otros elementos no considerados en el diseño también pueden acortar la luz libre de las columnas y causar daños.

En un edificio de 6 pisos de una fábrica del Callao, se observa a - grietamiento de una columna en el punto en que empotrada por una caja de equipo contra incendio (Ver fig. 5.6). Esta caja, reduce la altura libre de la columna.

Las restantes columnas se encuentran intactas. Este defecto, se aprecia también en los restantes niveles, en donde también se encuentran dichas cajas, aunque se observa que el ancho de la grieta disminuye en los pisos superiores, lo cual se explica por la disminución del esfuerzo cortante en los niveles superiores.

**C.2. POSIBLE EFECTO DE TORSION EN PLANTA.** Este posible efecto también se ha encontrado en las industrias encuestadas, pero en menor porcentaje (2% de las industrias).



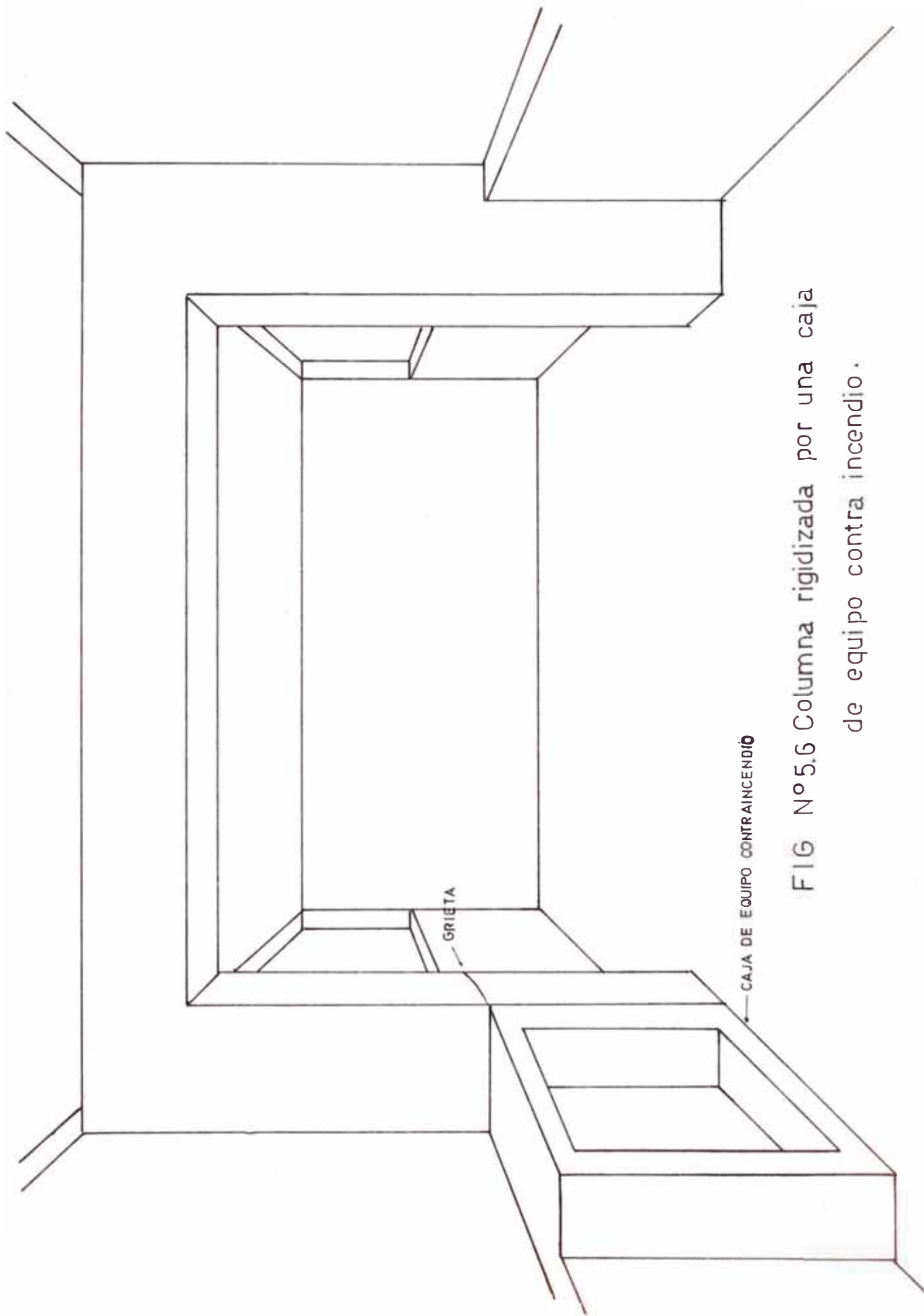


FIG N° 5.6 Columna rigidizada por una caja de equipo contra incendio.

Es fácil que en una edificación, pase desapercibida una marcada torsión en planta, pero esto se hace evidente después que el edificio ha sido afectado por un sismo.

Este efecto debe ser tomado en cuenta al hacer una distribución del esfuerzo sísmico entre los elementos resistentes de acuerdo a su rigidez.

Es recomendable eliminar la torsión en las estructuras, diseñando las de manera que concuerde el centro de masa con el centro de rigidez, de esta manera el trabajo de la estructura frente a un sismo será mas adecuado.

#### D) DEFICIENCIAS EN EDIFICACIONES DE ACERO.

En general, las edificaciones industriales construidas con elementos estructurales de acero, son bastante nuevas y deben ofrecer una adecuada resistencia sísmica.

No obstante, se han encontrado algunas deficiencias. Por ejemplo se ha determinado que el 2% de las industrias encuestadas, podrían tener problemas originados por un insuficiente arriostramiento lateral de las armaduras metálicas. Asimismo, un 4% presentaba uniones inseguras o peligrosas y el 2% mostraba excesivo pandeo.

Vale la pena recordar, que aún cuando las estructuras de acero tienen gran capacidad de absorción de energía y resistencia antisísmica, también colapsan como ya se ha observado en Méjico y Niigata (34).

En nuestro medio, también han ocurrido este tipo de fallas, aunque de menor importancia. Así se nos refirió en una de las industrias encuestadas, que como consecuencia del sismo de 1966, se desoldó una armadura metálica de un techo, colapsando. Felizmente no originó grandes daños ya que no habían instalaciones bajo dicha estructura.

## 5.22. INSTALACIONES INDUSTRIALES.

Determinar los posibles daños que podrían sufrir las instalaciones industriales, es una tarea bastante complicada y que requiere de estudios mas profundos. Es por esta razón y por la poca colaboración con que se ha contado en las fábricas para estudiar este aspecto, que se limitará a indicar las deficiencias mas saltantes. Las chimeneas, por sus características generales de gran esbeltez, resultan generalmente afectadas durante los movimiento sísmicos. Como consecuencia del sismo de 1966, numerosas chimeneas del sector industrial, perdieron su verticalidad.

En las visitas efectuadas, se ha encontrado que gran número de estas, pese a su gran altura, carecen de arriostre lateral. Asimismo se ha encontrado algunas chimeneas sobretodo de ladrillo que presentan signos de deterioro y aparentes planos de falla (Ver fig. 5.7.)

Otro aspecto que se juzga importante, es el relacionado con las tuberías, cuando las tuberías están ancladas a estructuras mas flexibles o a dos estructuras diferentes, existe el peligro de que esta sea rota, debido a desplazamientos diferenciales, originados por el diferente modo de vibración de ambas estructuras. En tales casos, lo recomendable es proveer a la tubería de una unión con una manguera flexible o por lo menos curvable. En la encuesta realizada, se ha encontrado que este sistema es muy poco utilizado en nuestro medio. Sería conveniente difundir su uso, cuando menos para aquellos sistemas de tuberías que conducen sustancias inflamables a fin de evitar posibles incendios que esas sustancias podrían ocasionar.

Finalmente otra práctica que es conveniente resaltar de bido a su peligrosidad, es la costumbre detectada de algunas industrias de colocar muy cerca a los hornos y calderas, el tanque de combustible encargado de abastecerlo. Este sistema, empleado tal vez por

razones de economía, resulta sumamente peligroso. Sería conveniente en tales casos alejar dichos tanques o de no ser posible tal solución, emplear cisternas o pozos

### 5.23. SEGURIDAD INDUSTRIAL.

No se podría hablar de protección de las industrias, si olvidáramos un concepto tan importante como es la Seguridad Industrial, disciplina cuya función básica es salvaguardar la vida, salud e integridad física de los trabajadores, así como también la protección de las instalaciones industriales con el objeto de garantizar las fuentes de trabajo y mejorar la productividad.

En el Perú, las empresas industriales, con mas de 50 personas ocupadas, están obligadas a contar con un reglamento de Seguridad e Higiene Industrial. Según Resolución Directoral # 1472-72-IC-DGI, dado en Lima con fecha, 28 de Agosto de 1972, en el artículo 1° del capítulo I dice:

"Toda empresa industrial de la República inscrita en el Registro Nacional de Industrias, que cuente con mas de 50 trabajadores, constituirá obligatoriamente un Comité de Seguridad e Higiene Industrial en cumplimiento del artículo 147 del Reglamento de la Ley General de Industrias, DL # 18350 en el artículo 46 del Reglamento de Seguridad Industrial Vigente".

Cabe anotar, que a pesar de que en nuestro país, se cuenta con un dispositivo legal que obliga a las Empresas Industriales inscritas en el Registro Nacional de Industrias a crear un Departamento de Seguridad e Higiene Industrial, muchos de ellos, solamente se limitan a crear una oficina de Seguridad e Higiene Industrial, sin darle mayor importancia. Otros cuentan con un reglamento pero muchas veces este es letra muerta.

En la encuesta realizada se encontró que un 75% de las fábricas grandes y medianas de Lima Metropolitana, cuentan con un Reglamento de

Seguridad e Higiene Industrial, pero este se refiere básicamente a prevención de accidentes de trabajo, considerando solo en un 49% de los casos un plan de control de desastres. Hay que anotar además que este plan de control de desastres en su mayoría comprende únicamente el caso de los incendios, resultando el caso de los sismos una novedad para la gran mayoría de los empresarios y personal de las fábricas; existiendo la idea casi generalizada que en caso de sismo cada cual debe salvarse como pueda ¿ y las instalaciones?. A continuación, se analizarán algunos aspectos relacionados con la Seguridad Industrial.

5.23.1. SEGURIDAD CONTRA INCENDIO. - Los incendios son una de las mayores amenazas siempre existentes en las fábricas. Toda instalación fabril, necesita "protección" contra incendio.

El fuego destruye o mutila las fábricas y causa tres tipos de pérdidas: directas, indirectas y humanas.

a) directas. - Comprenden la destrucción de edificios, materiales y maquinarias.

b) Indirectas. - Son de 2 a 3 veces mayores que las directas (35) y comprende las pérdidas ocasionadas por la interrupción del negocio, pérdida de personal preparado y especializado que emigra, la pérdida de clientes y del lugar conseguido en la competencia del mercado.

c) Humanas. - Comprende los muertos y heridos que el incendio puede ocasionar.

Las estadísticas indican: (35) que el 45% de las fábricas que sufren incendios no vuelven a abrir y el 70% de las que vuelven a abrir no sobre viven en 2 años.

Debe ser política de toda empresa en cuestión de seguridad industrial, evitar por todos los medios la producción de incendios, pero a la vez estar debidamente preparada para combatirlo eficazmente.

Todo el personal de la planta, debe tener presente que las causas mas frecuentes de incendio en la industria son las siguientes:

- Uso inadecuado de equipos eléctricos.
- Cigarrillos, encendedores. etc.
- Niños que inician incendios.
- Calor y chispas mecánicas
- Equipos que operan con aceite
- Daño malicioso
- Desperdicios, basura
- Electricidad estática

Es necesario tener en cuenta, que los materiales mas combustibles son :

- Desperdicios y basuras
- Elementos combustibles en estructuras, accesorios y aditamentos
- Aislamientos eléctricos
- Textiles (trapos, lanas, ropas, etc)

En las fábricas visitadas, se han encontrado algunos posibles focos de incendio como desperdicios o basura y conductores eléctricos sin la debida protección o mal aislados. El cordón eléctrico, se vuelve inseguro no solo a causa del mal uso sino también por las reparaciones, alteraciones o adiciones temporales.

**EQUIPO CONTRA INCENDIO.** - Según el Reglamento de Seguridad Industrial, en el Capítulo II, Artículo 142 a 144, se establece:

"Todos los establecimientos industriales estarán provistos de suficiente equipo para la extinción de incendios que se adapte a los riesgos particulares que estas presenten . . . . ."

En cuanto a extinguidores en su artículo 159 establece : "Todos los establecimientos industriales, incluyendo aquellos que están provistos de rociadores automáticos, estarán equipados con aparatos portátiles para combatir incendios, adecuados al tipo de incendio que pueda ocurrir, considerando la naturaleza de los procesos y operaciones el contenido del establecimiento o de sus dependencias".

En las visitas realizadas, se ha encontrado que solo un 10% cuenta con un sistema contra incendio completo y con personal entrenado para afrontarlo. El 66% de las fábricas cuentan únicamente con extinguidores en número muy variado.

El 24% restante, no cuenta con ningún medio para combatir incendios. Es bueno anotar, que generalmente en los extinguidores, no se indica de que tipo son (agua, espuma, etc) ni para clase de incendio deben ser empleados o son recomendables (\*). Esta es una deficiencia que es necesaria subsanar por cuanto, cada tipo de extinguidor tiene una determinada efectividad, que no es igual para todos los tipos de fuego, y si el personal no conoce que tipo de extinguidor debe usar, o estos no lo indican claramente, es muy posible que se cometan errores que agraven las consecuencias del siniestro.

5.23.2. EVACUACION. - La protección de la vida humana durante un movimiento sísmico, depende muchas veces de los medios de salida de que se disponga y del buen uso que de ellos se haga. Hay que tener en cuenta que en estos casos, siempre cabe la posibilidad de que se desate el pánico, es por eso, que la ruta de evacuación debe estar libre de todo aquello que pudiera obstruir la salida cuando la gente presa de pánico se precipite hacia afuera en busca de refugio. Por eso, en estos casos, es de primordial importancia darle un adecuado entrenamiento al personal.

En las visitas realizadas, se ha encontrado que solo en un 28% de las fábricas, el personal es adiestrado en evacuación de plantas, adiestramiento relacionado con los incendios únicamente, mas no con los terremotos. Asimismo se ha detectado que algunas fábricas podrían tener problemas de evacuación durante un evento sísmico u otro desastre. Este tipo de problemas han sido encontrados con mayor frecuencia en

(\*). Véase en anexo #5, tipos de incendio y el extinguidor mas recomendable para cada caso.

Las zonas industriales antiguas (Lima, Breña y La Victoria), debido a lo reducido del espacio con que cuentan algunas fábricas, careciendo en muchos casos de áreas libres.

Las causas que podrían dificultar la evacuación por orden de frecuencia son :

- Mala disposición de maquinaria en el 13% de las fábricas
- Pasajes muy estrechos para el número de personas (8% de las fábricas).
- Mala disposición de materiales en almacén en el 7% de las fábricas
- Falta de áreas libres dentro de la planta (4% de las fábricas).
- Piso constantemente mojado (3% de las fábricas).

A continuación, se hace un pequeño análisis de cada caso:

a) Mala disposición de maquinaria. - El congestionamiento de maquinaria, observado en varias fábricas, puede ser la causa de muchos accidentes al producirse un terremoto. Se recomienda como medida de seguridad, que las máquinas se coloquen en forma tal que el tránsito pueda ser fluido, debiendo adoptarse aquella posición que mayores garantías de seguridad ofrezca a los trabajadores.

b) Pasajes muy estrechos para el número de personas. - Al proyectarse una fábrica, debe tenerse en cuenta este factor, no solo para facilitar el libre tránsito dentro de la planta, sino también para evitar congestiones fatales en caso de desastres (llámese sismo o incendio).

Se han encontrado pasajes de tan solo 1 m. de ancho y 25 m. de longitud, por donde deberán evacuar cerca de 20 personas de producirse un desastre. Estas situaciones son sumamente inconvenientes porque aumentan el pánico y los accidentados por la imposibilidad del personal de encontrar fácilmente un área libre donde guarecerse.

c) Mala disposición de materiales en almacenes. - Los empresarios, suelen considerar el espacio para almacenamiento como un área no productiva, por lo que tratan de reducirla al mínimo. De hecho es tan alto el





Fig. 5.7. Chimenea de ladrillo de apreciable altura. Obsérvese posible plano de falla.

Fig. 5.8. Práctica peligrosa al costado de una caldera, se encuentra un gran tanque de petróleo (costado superior izquierdo). El problema es obvio. Lo recomendable sería aislarlo de la caldera.

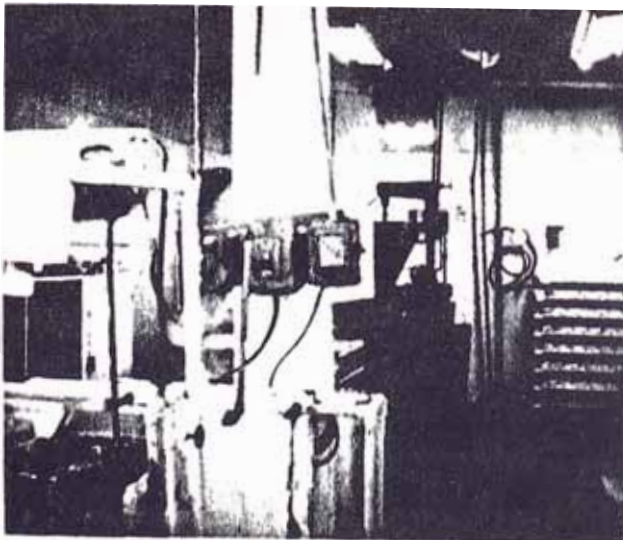
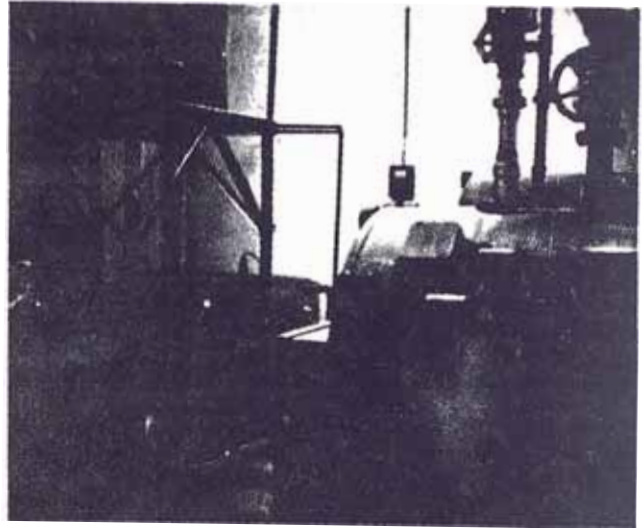


Fig. 5.9. Problema Seguridad Industrial. Instalación inadecuada, junto a un interruptor eléctrico atraviesa una tubería de agua.

costo del manejo de materiales en espacios inadecuados para almacenamiento que, con el transcurso de los años, resulta provechoso invertir la cantidad necesaria desde un principio, para que ese espacio de almacenamiento sea suficiente. El espacio reducido es el causante de malos acomodos, contribuye a los incendios y multiplica los peligros de accidente en caso de sismo.

d) Falta de áreas libres dentro de la planta. - Este problema felizmente está en proceso de solución, ya que en las nuevas fábricas, se observa una clara tendencia a dotarlas de grandes áreas libres. No obstante este problema aún subsiste, sobre todo en las fábricas mas antiguas (que son precisamente las que tienen mas peligro), debido a que las sucesivas ampliaciones han copado prácticamente todos los espacios oprovechables.

e) Pisos constantemente mojados. - Los pisos mojados, sucios o resbalosos, pueden ser otra de las causas de accidentes.

Es fácil imaginarse, que en pisos que presentan estas características, la gente caerá fácilmente al tratar de correr presa del natural temor a los sismos. Como consecuencia, se producirán una serie de accidentes.

5.23.3. SERVICIOS MEDICOS Y DE PRIMEROS AUXILIOS. - En las fábricas encuestadas, se ha encontrado que un 16% cuentan con enfermería, 10% con médico por horas y 6% sin él. Un 70% cuenta unicamente con botiquín de primeros auxilios y el 14% restante no cuenta con ningún servicio ni médico ni de primeros auxilios.

5.24. ABASTECIMIENTO DE ENERGIA. - Respecto a este acápite, de las industrias encuestadas, solo un 4% poseía un abastecimiento de energía propio y el 10% contaba con generadores de emergencia en número muy variado, los cuales generalmente no podrían permitir un normal funcionamiento de la fábrica, ni siquiera parcialmente, porque son de una capacidad muy inferior a la requerida por las plantas.



Fig. 5.10

Fábrica de confecciones. Nótese la estrechez de los pasillos, agravado por el amontonamiento de ropa sobre las máquinas. En caso de sismo o incendio, fácilmente se generaría el pánico por las dificultades en la evacuación

Fig. 5.11.

Fábrica de alimentos. Obsérvese la angosta escalera de caracol que comunica con las oficinas. Este tipo de escaleras, debe evitarse, ya que significa un peligro para sus usuarios, mas aún en caso de emergencia.

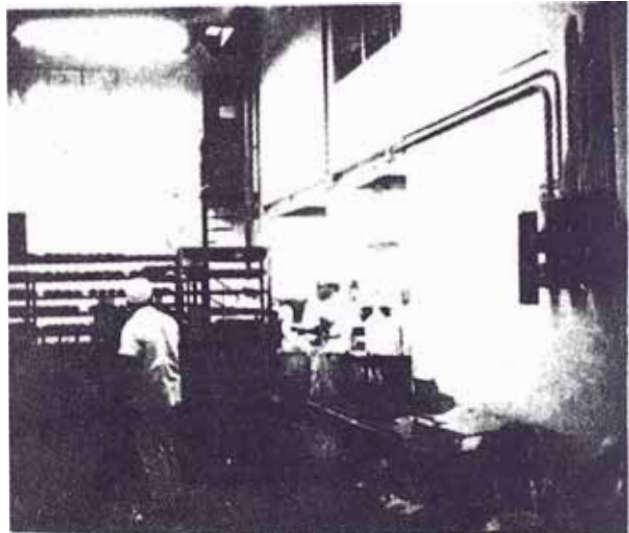


Fig. 5.12.

Nótese el deficiente acomodo de los materiales, los que podrían derrumbarse fácilmente con un sismo, bloqueando la única ruta de evacuación de la fábrica.



### 5.30. EVALUACION DE LAS PERDIDAS ECONOMICAS.

#### 5.3.1. METODOLOGIA SEGUIDA.

La evaluación de las pérdidas económicas se ha realizado de acuerdo al Cuadro # 5.7., teniendo en cuenta el siguiente criterio:

a) Pérdidas en la edificación. - Para las edificaciones industriales tipo A, B, y C, se ha tomado el porcentaje promedio de los límites de daños especificados para cada tipo de edificación. Para el tipo D, por tratarse de un porcentaje pequeño, se ha tomado el límite superior (5%), porcentaje que fácilmente puede ser alcanzado con la rotura de vidrios, acabados y otros daños menores que no comprometen a la estructura.

CUADRO # 5.7.  
PORCENTAJE DE PERDIDAS POR TIPO DE EDIFICACION

TIPO	PORCENTAJE DE PERDIDAS			
	EDIF.	MAQUINARIA	MUEBLES Y ENSERES	EXISTENCIAS
A	85	85	30	30
B	45	15	15	15
C	15	5	-	5
D	5	5	-	5

b) Pérdidas en maquinaria, muebles y existencias (\*). - En las fábricas tipo A y B en las que de acuerdo a la hipótesis habrá colapso de la edificación, o derrumbe de muros, se ha considerado que se inutilizará la tercera parte de la maquinaria que se encuentra en un ambiente destruido.

(\*) El valor de las existencias comprende :

- a) El valor de los productos acabados, almacenados en el establecimiento.
- b) Valor de los productos acabados, no fabricados en el establecimiento.
- c) Valor de las materias primas y materiales.
- d) Otras existencias.

Así por ejemplo, en el tipo B, al suponer que se pierde un 45% de la edificación le corresponde un 15% de pérdida en maquinaria, muebles y existencias.

Para los tipos C y D en los cuales no habrá colapso de la edificación, se ha tomado como pérdida un 5% del valor de la maquinaria y existencias. Estos daños, pueden deberse principalmente a malos anclajes de maquinaria que produjeran su volteo, pequeñas fallas de cimentación, caída de chimeneas y pequeñas averías debidas al movimiento sísmico, esto para el caso de las maquinarias. Para el caso de las existencias, las pérdidas podrían ser ocasionadas por la caída de productos almacenados deficientemente o algún otro deterioro que pudiera sufrir por el sismo.

También ha sido calculado el costo de la reparación de los bienes malogrados. Para calcular este costo, se ha supuesto, que el porcentaje del bien que ha sido dañado, deberá ser reemplazado por otro similar, pero al precio actual en plaza. Es decir, que mientras para el caso de las pérdidas, estas se han calculado como un porcentaje del precio que tiene el bien como se encuentra en la actualidad, vale decir en el momento del sismo ( $\text{Valor actual del bien} = \text{Costo de adquisición} - \text{Revaluación} - \text{Depreciación}$ ). Para el caso del costo de reparación, este se ha calculado con los mismos porcentajes usados para el cálculo de las pérdidas, pero considerando el precio que tiene un bien como el dañado en la actualidad ( $\text{Precio del bien nuevo} = \text{Precio anterior de adquisición} - \text{Revaluación}$ ).

### 5.32. RESULTADOS OBTENIDOS.

Las pérdidas han sido calculadas, en base a la declaración de los activos fijos que hicieran 60 de las 91 industrias encuestadas (Declaración hecha a la Dirección de Estadística del Ministerio de Industria y Comercio).

Se ha estimado que las pérdidas en maquinaria, edificación, muebles, enseres y existencias, para las 60 fábricas mencionadas, sería del orden de los S/ 542'985,000, habiéndose calculado que a nivel de Lima Metropolitana, las pérdidas podrían ser del orden de los S/8,000'000,000

Se ha calculado igualmente, que al precio actual, para su reparación se necesitaría invertir alrededor de doce mil millones de soles (S/12,000'000,000). Es bueno anotar que en las pérdidas, no se ha incluido lo que dejarían de percibir las fábricas durante su paralización, cantidad que puede resultar sumamente elevada, si tenemos en cuenta que estas fábricas (Las de tipo A y B que podrían paralizar), producen alrededor de S/112'000,000 diarios.

Las cifras mencionadas, podrían parecer por su magnitud, muy elevadas, pero no olvidemos que la experiencia de otros sismos, evidencian la realidad de los cálculos. Por citar un ejemplo, las pérdidas económicas en las actividades industriales y comerciales por la paralización que sufrieron en la zona afectada por el sismo del 31/5/70, ascendió a 800 millones de soles (36), si consideramos que las industrias de la zona afectada por el sismo del 31/5/70, tienen una producción bruta 13 veces menor que Lima Metropolitana, podríamos tener una idea aproximada de la magnitud de lo que se podría perder por la paralización en Lima Metropolitana.

5.40. APRECIACIONES SOBRE EL PROBLEMA SOCIO ECONOMICO A GENERARSE COMO CONSECUENCIA DE LA HIPOTESIS PLANTEADA.

La industria, constituye actualmente uno de los mayores mercados de trabajo, contribuyendo a solucionar uno de los problemas mas patéticos de la sociedad, cual es el empleo. Resulta muy significativo mencionar que actualmente este sector constituye la fuente de trabajo al 47% de la mano de obra activa del área de Lima Metropolitana (5) \*

Es por ello que la destrucción o paralización de las industrias de tipo A y B, podría originar un problema económico y social de ondas repercusiones para la estabilidad económica de miles de hogares que se verían privados de su única fuente de ingreso.

---

Este porcentaje no incluye el personal de servicios gubernamentales.

Como resultado de este trabajo, se ha calculado que alrededor de 80,000 personas podrían perder su empleo, o este podría verse seriamente comprometido por la destrucción parcial o total de su fuente de trabajo y la prolongada paralización que esto significaría.

En el plano nacional, los efectos serían igualmente, tremendamente críticos, ya que Lima Metropolitana como productora no solo suple las necesidades de esta región, sino que capta gran porcentaje de los mercados del resto del país. Esto es evidente ya que el 69% de los establecimientos industriales con mas de 5 personas ocupadas, se encuentran en Lima (Véase Cap 1.20, Cuadro # 1), de manera que la escasez de productos manufacturados sería catastrófico no solo para Lima Metropolitana sino para todo el país.

Además para la economía del país, solamente la paralización sería sumamente perjudicial. Esto es evidente si consideramos que en el sector industria, el departamento de Lima y Callao aportan el 69% del producto bruto (6).

Finalmente podemos preguntarnos sobre un aspecto que muy pocas veces se toma en cuenta al evaluar las pérdidas humanas después de un desastre ¿Cuanto representa para la economía y desarrollo del país, la pérdida de personal capacitado llámense profesionales, técnicos u obreros calificados? Si consideráramos todos estos aspectos y muchos otros mas que seguramente escapan a este trabajo, encontraríamos resultados que justificarían cualquier esfuerzo en pro de la seguridad y protección de la industria.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.10. CONCLUSIONES. -

#### 6.11. - CON RESPECTO A LAS CONDICIONES FISICAS DE LAS ZONAS EN ESTUDIO. -

- Las zonas industriales más críticas por su ubicación son :
  - a) Zona industrial del Callao, por tener suelo arcilloso, de baja resistencia y napa freática muy alta.
  - b) Zona industrial de Chorillos, por encontrarse en una zona de contacto, presentando la napa freática alta, y existiendo además una falla geológica.

#### 6.12. CON RESPECTO A LA SISMICIDAD DE LIMA. -

- El valor de "b" encontrado en la ecuación de Gutenberg y Richter, por ser bastante bajo, indica de acuerdo a estudios realizados por Karnik (10) y Welkner (23), una alta frecuencia de sismos de gran magnitud en el área de Lima Metropolitana.
- El número anual de sismos de  $M \geq 5$  esperado para Lima, es mayor que para la zona afectada por el sismo del 31/5/70, siendo para el caso de los sismos de  $M \geq 7$  bastante semejantes.
- La probabilidad de ocurrencia de sismos de  $M \geq 6$  es de 100% en un período de 30 años con un período medio de retorno de 3.15 años, habiéndose encontrado para el caso de los sismos de  $M \geq 7$  una probabilidad de 100% para un período de 70 años con un período medio de retorno de 14.4 años.



## 6.13. CON RESPECTO A LA EDIFICACION.

### 6.13.1. MATERIALES.-

- a) MUROS. - En Lima Metropolitana, predominan las industrias construidas con muros de ladrillo, pero existe un alto porcentaje (alrededor del 26%) de industrias construidas con muros de adobe, en las zonas industriales de los distritos de Lima y Breña.
- b) COLUMNAS. - Predomina el Concreto Armado en las zonas industriales 1,3,4 y 5, mientras que en la zona 2 (Callao), el concreto y el acero, son usados prácticamente en iguales porcentajes. La madera también es usada sobretodo en los distritos de Lima y Breña.
- c) VIGAS. - El concreto armado y el acero, en conjunto predominan a nivel de Lima Metropolitana. En el área del Callao, predomina el acero.
- d) COBERTURA. - Predominan las industrias cuyas oficinas tienen como cobertura losa aligerada, correspondiendo a los ambientes de producción coberturas de asbesto cemento.

### 6.13.2. RESISTENCIA SISMICA DE LAS EDIFICACIONES.

- En el grupo de prioridad I, no se han encontrado industrias del tipo A, pero existe un 36% de industrias del tipo B, vale decir industrias en las que se espera daños entre 30 y 60%.
- En el grupo de prioridad II, existe un 2% de industrias del tipo A y un 26% del tipo B, lo que representa unas 15 industrias en peligro de colapso y 199 en las que se esperan daños de consideración.

- El grupo de prioridad III, es el grupo mas crítico con 6% de industrias del tipo A y 57% del tipo B, lo que representa alrededor de 18 y 185 industrias de estos tipos.
- Analizando los resultados por zonas de estudio, se puede concluir que posiblemente la zona mas afectada sería la zona I (Lima y Breña) donde hay un 5% de fábricas en peligro de colapso y un 40% que podrían sufrir daños de consideración (tipo B). En porcentaje de daños, le sigue la zona de la Victoria-Ate en la cual, un 39% son de tipo B.

### 6. 13.3. RESPECTO A LAS DEFICIENCIAS EN LAS EDIFICACIONES INDUSTRIALES.

- En las construcciones de adobe, el problema fundamental es la gran esbeltez de los muros de este material, que aparte de la baja resistencia sísmica que es conocida en este material, se encuentran generalmente erosionados por la antigüedad, representando serio peligro para equipos y maquinarias que se encuentran en los alrededores.
- En las edificaciones de ladrillo, el problema mas comúnmente encontrado es la falta de arriostre (16% de las industrias de este material).  
Otra deficiencia, no menos importante resulta la práctica de reemplazar columnas por mochetas de ladrillo colocados sobre el muro y haciendo las veces de apoyo de las armaduras del techo.
- En las edificaciones de concreto armado, las deficiencias encontradas, son prácticamente las mismas que han causado graves daños a las construcciones en otros sismos. Así se han encontrado, que alto porcentaje de las fábricas pueden ser afectadas por un posible efecto de columna corta y torsión en planta.
- Las edificaciones de acero, deben ofrecer una adecuada resistencia sísmica, no obstante podrían sufrir algunos daños originados por insufi

ciente arriostamiento y uniones poco seguras.

- Muchas de las deficiencias, pueden atribuirse, a que hasta hace poco tiempo, no se tenía muy en cuenta el problema sísmico en el diseño de estructuras, por otro lado, la Ingeniería Antisísmica es una rama relativamente nueva en nuestro medio y hasta hace muy poco tiempo no se contaba con un dispositivo que normara el cálculo sismorresistente. Otro de los factores a los que se puede atribuir las deficiencias detectadas, son los diseños incompletos que originan que en obra deban de ser resueltos muchos detalles, aunque no siempre correctamente.

Finalmente la mano de obra, tiene parte de responsabilidad, en el problema, esto es ocasionado generalmente por el poco control de obra, originando en el diseño juntas deficientes, mortero de poca calidad, etc.

#### 6.14. CON RESPECTO A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.

- Si no se toman las providencias del caso, para dotar de una adecuada resistencia sísmica a la maquinaria, y equipos, estos pueden resultar dañados o destruidos. Esto podría resultar un grave perjuicio por las pérdidas que ocasionaría debido a la paralización y a la reparación o reposición de las maquinarias y equipos.

- En cuanto a instalaciones industriales, este trabajo se ha limitado a detectar, las deficiencias más saltantes ya que este aspecto requiere de un estudio más detallado y no se ha contado en las fábricas con la debida colaboración para llevarlo a cabo.

- Las deficiencias más saltantes son la carencia de arriostre de gran número de chimeneas, ausencia de mangueras flexibles en los puntos que puedan estar sujetos a grandes deformaciones o esfuerzos, esto es muy importante sobretodo en aquellas tuberías que conducen elementos muy inflamables. Asimismo, podrían ocasionarse daños en maqui

narias ancladas en la estructura de edificios de varios pisos, debido a la diferente deformación de los entrepisos. Asimismo, en algunas fábricas, se coloca muy cerca a hornos y calderos, el tanque de combustible que los abastece. Esta práctica es muy peligrosa porque puede representar un foco de incendio.

Finalmente existen instalaciones industriales que podrían sufrir graves daños debido a su cercanía o por encontrarse dentro de construcciones antiguas y peligrosas, sobretodo de adobe.

#### 6.15. CON RESPECTO A LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.

- A pesar de que en nuestro país, se cuenta con un dispositivo legal que obliga a las empresas industriales, con más de 50 personas a contar con un Reglamento de Seguridad Industrial, en la actualidad no se le da la debida importancia a este aspecto, y en gran porcentaje de los casos, el Reglamento es letra muerta. Asimismo, en solo un 49% de los casos, este Reglamento incluye un plan de control de desastres y en estos casos, se refiere en una gran mayoría únicamente al caso de los incendios,

- Las medidas de seguridad que deben ser tomadas contra los fenómenos sísmicos, resulta una novedad para la gran mayoría de empresarios y personal de las fábricas.

- El Supervisor de Seguridad en gran porcentaje de los casos, es un obrero que tiene otras funciones que desempeñar dentro de la fábrica y que carece de una adecuada preparación para tan delicada función.

- En toda industria, existe el peligro latente del fuego, pero un 24% de fabricas encuestadas, no contaban con ningún medio para combatir incendios.

- En los extinguidores, generalmente no se indica su tipo. Esto es bastante grave porque un mismo tipo de extinguidor no resulta adecuado ni conveniente para sofocar las diferentes clases de incendios.

- En varias fábricas podrían originarse problemas de evacuación, debido a mala disposición de maquinaria, pasajes estrechos, pisos mojados, etc.
- Existe un 14% de fábricas que no cuentan con ningún servicio médico ni de primeros auxilios y el 70% solo cuentan con un botiquín de primeros auxilios.
- Finalmente, pocas fábricas cuentan con afiches o carteles de Seguridad e Higiene Industrial.

#### 6.16. CON RESPECTO AL ABASTECIMIENTO DE ENERGIA.

- Las fábricas dependerán casi en su totalidad de la energía eléctrica de la red pública, solo el 4% tiene abastecimiento propio. Esto nos indica la necesidad de proveer a las redes públicas de la debida seguridad antisísmica porque independiente del comportamiento de las fábricas ante los eventos sísmicos, su paralización estará supeditada integralmente al comportamiento de dicha red.

#### 6.17. CON RESPECTO A LAS PERDIDAS ECONOMICAS.

- Las pérdidas que podrían sufrir las industrias del área en estudio (sin considerar las pérdidas por paralización), son de una magnitud tal, que son comparables a la tercera parte de las pérdidas totales estimadas para la zona afectada por el sismo del 31/5/70, y el monto que se necesitaría para su reparación podría ser del orden de los S/ 12,000'000,000 cantidad tan elevada como la cifra que se ha invertido en el bienio 1971-1973 para la reconstrucción de la zona afectada y que cubre únicamente el 50% de las pérdidas estimadas para toda el área afectada.

6.18. CON RESPECTO AL PROBLEMA ECONOMICO QUE PODRIA GENERARSE.

- La industria constituye el 47.9% de la mano de obra activa del área de Lima Metropolitana, por lo cual, cualquier daño o paralización que la industria sufriera, ocasionaría gran déficit ocupacional con los respectivos efectos multiplicadores que esta anomalía podría producir.
- Alrededor de 80,000 personas perderían su empleo, o este se vería comprometido por la destrucción o paralización de su fuente de trabajo: las fábricas en que laboran.
- En el plano nacional, las consecuencias en el aspecto industrial que un sismo de estas características podría ocasionar, serían catastróficas, ya que habría gran carestía de productos manufacturados, debido a la alta concentración de industrias en el área Metropolitana (69% de los establecimientos con más de 5 personas ocupadas se encuentran en Lima).

6.20. RECOMENDACIONES.

6.21. CON RESPECTO A LAS CONDICIONES FISICAS DE LAS ZONAS EN ESTUDIO.

- Instalación y mantenimiento de instrumentos de registro (acelerógrafos, sismoscopios), a fin de obtener más información tanto de las características de los terremotos como del comportamiento de las estructuras.
- Confeccionar un mapa de la capacidad portante del suelo, a nivel de Lima Metropolitana y tratar de establecer una interrelación entre esta capacidad y el aumento de intensidad sísmica M.M.
- Debe recalcar que por seguridad y economía, es impertergable realizar cuanto antes los estudios de microzonificación sísmica del

área de Lima Metropolitana, porque es un estudio que sería de gran provecho para realizar de una manera mas exacta la evaluación de la resistencia sísmica de las edificaciones de Lima Metropolitana.

6.22. CON RESPECTO A LA SISMICIDAD DE LIMA.

- El estudio estadístico que se llevó a cabo, se realizó para un período de 44 años, porque no estaban completos los valores de las magnitudes de sismos anteriores a 1928, se recomienda, tratar de completar estos valores, a fin de contar con un período mas amplio de estudio y poder determinar valores mas aproximados sobre la sismicidad.

- Realizar este tipo de estudio, a nivel de todo el territorio nacional, a fin de poder obtener mapas sobre algunos parámetros como por ejemplo el valor de  $b$ , en las diversas zonas del territorio, curvas de igual índice de sismicidad y curvas de igual riesgo sísmico:

$R(I,T)$ , para una intensidad dada y un período determinado. Todos estos mapas, serían de gran utilidad para planificar un orden de prioridades, de implementación de futuros planes de Defensa Civil en otras localidades del territorio nacional.

6.23. CON RESPECTO A LA EDIFICACION.

6.23.1. REFERIDAS A LAS DEFICIENCIAS ENCONTRADAS EN LA EDIFICACION.

- Las construcciones de adobe, lo mas conveniente sería reemplazarlas por otras mas resistentes, ya que el elevado valor de las maquinarias e instalaciones que frecuentemente poseen estas industrias no justifica correr un riesgo de esta naturaleza.

- Las edificaciones de ladrillo que carecen de arriostre, deben ser enmarcados, mediante elementos de concreto armado, esto a la vez

que incrementará apreciablemente la estabilidad del muro ante los efectos sísmicos, le dará mayor resistencia.

- En las construcciones de concreto armado, los pórticos en que se tenga columnas, cuya altura libre sea diferente, debido a la presencia de muros de albañilería adyacentes en un plano perpendicular a él, es recomendable que la longitud de ambas columnas sean iguales para evitar la concentración de la fuerza sísmica, para lo cual se recomienda el empleo de un material deformable entre la columna mas corta y el muro (Ver Fig # 6.1).

Este mismo criterio, puede emplearse en el caso de columnas rigidizadas por alfeizeres, en los que no se halla considerado un adecuado estribaje.

El costo de picar el muro y colocar el material deformable (que puede ser Tecnoport), resulta sumamente bajo comparado con el riesgo que se evita.

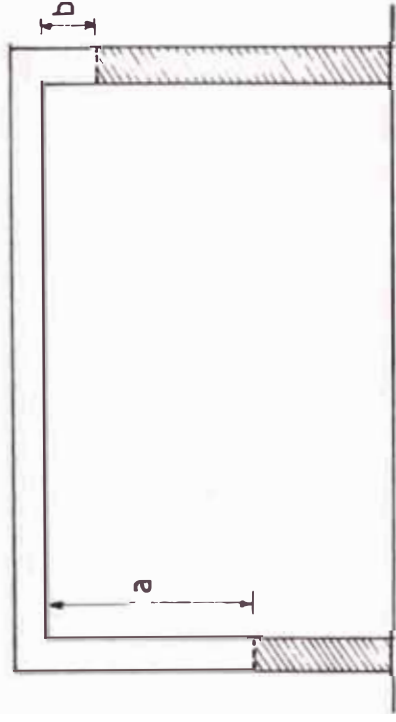
Para evitar la torsion, se debe procurar que en planta, los elementos resistentes guarden en lo posible una disposición geométrica en ambas direcciones. En el caso de las industrias ya existentes, o en las que por razones arquitectónicas o de tipo industrial (Así lo requiere el proceso industrial), no se pueda conseguir, la zona deficitaria, debe ser reforzada con columnas adicionales o placas de concreto si los cálculos así lo requieren.

- En las construcciones de madera, deben reforzarse sobre todo las uniones y aquellas armaduras que presentan exceso o pandeo.

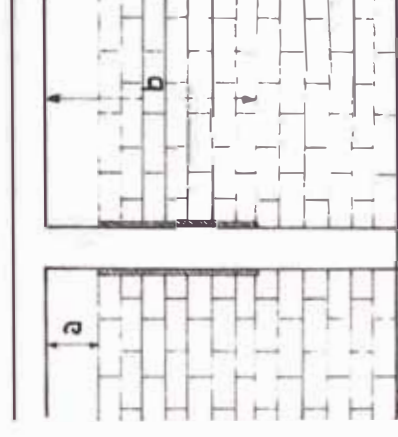
- Finalmente en las construcciones de acero, se recomienda ejecutar con mucho cuidado las uniones y empalmes, así como no descuidar el pandeo local y general.



## MANERA DE EVITAR EL EFECTO DE COLUMNA CORTA



La parte achurada corresponde a la altura de los muros, observese la diferente altura libre de las columnas.



El material deformable colocado entre el muro y la columna iguala la altura de ambos muros.

FIGURA N° 6.1

#### 6.23.2. RECOMENDACIONES GENERALES.

- Por tratarse de una rama relativamente nueva en nuestro medio, se requiere que las Universidades u otras instituciones, promuevan programas de entrenamiento en Ingeniería Antisísmica. Estos podrían ser en forma de cursos de post-gradado, conferencias o seminarios.
- Debe adiestrarse al personal de construcción civil, este adiestramiento es indispensable, y debe incluir no solo adiestramiento técnico, sino también fomentar la competencia y responsabilidad del personal de construcción civil, en la ejecución del trabajo.
- Como es necesario tomar providencias de inmediato, se recomienda se proceda a reforzar las industrias, adoptando aquellas soluciones que con poca inversión produzcan un considerable aumento en la resistencia sísmica de la estructura. Esto mismo puede hacerse extensivo a otros aspectos como la seguridad de maquinaria, evacuación, etc.

#### 6.24. RESPECTO A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.

- Los equipos mecánicos y eléctricos, sus soportes y conexiones, deben ser diseñados para resistir efectos sísmicos reales tales como desplazamientos o volteo de equipo, interrupción de los servicios básicos u otro posible efecto que puede resultar muy costoso y que debe ser evitado o minimizado.
- Para los equipos anclados a la estructura, la posibilidad de daños como resultado de la interacción de la estructura con el equipo, deberá considerarse. Esto deberá considerarse sobretodo en el caso de sistemas de tuberías, especialmente tuberías colgantes que no pueden soportar las cargas impuestas sobre ellos, haciéndolos particularmente vulnerables a este tipo de daños.

Asimismo, considerar el efecto del desplazamiento del entrepiso. El equipo asegurado entre dos pisos de un edificio, puede estar forzado a aceptar grandes desplazamientos del entrepiso debido al movimiento sísmico. Esta situación puede resultar angustiosa para los equipos y sus apoyos, particularmente cuando los equipos son rígidos en comparación con el edificio y tienden a actuar como una fuerza lateral, oponiéndose al desplazamiento de los elementos del edificio a los cuales está anclado. Deberá tenerse cuidado en el diseño y asegurarse de que se va a apoyar en la estructura, pueda soportar un desplazamiento real del entrepiso.

- Evitar problemas de resonancia, los equipos flexibles montados en edificios o estructuras pueden tener una respuesta al movimiento sísmico considerablemente amplificado, cuando el período de vibración de los equipos, es aproximadamente igual que el período predominante de la vibración del edificio, esto puede producir una amplificación tan grande que produzca la resonancia. Los problemas de resonancia pueden evitarse asegurando o anclando rígidamente el equipo a la estructura.

- Es recomendable en el caso de las tuberías aéreas, el uso de puentes. No resulta un buen diseño que las tuberías sean soportadas por columnas individuales, debido a la posibilidad de asentamiento diferenciales.

- Las tuberías conectadas a dos estructuras diferentes, deberán ser provistas de suficiente flexibilidad. Esto puede lograrse dotando a la tubería de una manguera parcialmente flexible o por lo menos curvable, la longitud lo suficientemente grande para cubrir esta rigidez.

- Se recomienda descartar el uso de tuberías de poly vinilo porque son muy frágiles.

- Es conveniente arriostrar a las chimeneas, ya que estas resultan muy susceptibles a los movimientos sísmicos.

- Finalmente, se recomienda profundizar más en este aspecto de las instalaciones industriales, ya que es una materia poco conocida en nuestro medio, no obstante su gran importancia. Es conveniente resaltar que frecuentemente las instalaciones industriales (maquinaria y equipos) resultan más costosas que la edificación.

#### 6.25. CON RESPECTO A LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.

- Se recomienda dar mayor énfasis en el Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial, al problema sísmico, ya que se ha notado un total desconocimiento tanto por el personal directivo como por el laboral, de los riesgos y peligros que entrañan los movimientos sísmicos.

- Los departamentos de Seguridad e Higiene Industrial, deberán funcionar a nivel de asesoría de gerencia y deben estar a cargo de una persona especializada en la materia, que cuente con el personal y autoridad suficiente, que le permita su mejor y más adecuado funcionamiento dentro de la empresa.

- Se recomienda que el Reglamento de Seguridad e Higiene Industrial, contemple específicamente un plan de emergencia en caso de sismos, en el cual, cada planta de acuerdo a sus características, indicará claramente cuales son las zonas que deberán usarse como refugio, las rutas peligrosas que no deberán ser empleadas. Este plan de emergencia deberá ser complementado con entrenamiento del personal y la realización de simulacros de sismo, primero en fechas previamente establecidas y luego sin previo aviso. Es bueno anotar que el entrenamiento es una forma práctica de evitar el pánico. Las personas que han recibido instrucción y que saben exactamente lo que deben hacer cuando suene la señal de alarma, no se dejan invadir por el pánico. Además los simulacros sirven para reducir apreciablemente el tiempo indispensable para desalojar un edificio.

- Organizar cursillos para el personal encargado de la seguridad de las plantas industriales, en los cuales se les instruya sobre la necesidad de dar mayor énfasis al fenómeno sísmico y la manera de sofocarlo.

En cuanto a las medidas de seguridad que se recomienda tomar en las fábricas para los casos de sismo e incendio tenemos las siguientes:

- Se recomienda que todas las fábricas cuenten como mínimo con extinguidores, estos deberán ser elegidos de acuerdo al tipo de incendio que podría originarse en cada fábrica.

- Los equipos contraincendio y de seguridad, deben mantenerse en los lugares designados. Las áreas donde están ubicados, deberán mantenerse despejadas de obstáculos y otros materiales.

- Se recomienda un constante adiestramiento del personal, respecto al uso de extinguidores, equipos de oxígeno y todo equipo de seguridad existente en la fábrica.

#### -Aisl

ar las zonas de mayor probabilidad de incendio o explosión mediante construcciones incombustibles.

- Dotar a los hornos, calderos u otro tipo de maquinaria, susceptible de producir incendio o explosión, de interruptores, antisísmicos que paralíen su funcionamiento en caso de movimiento sísmico.

- Los locales de motobombas y demás equipos contraincendio con que cuentan las fábricas, deberán tener un letrero muy visible y permanecer abiertos sin llave, para evitar pérdidas de tiempo innecesarias que pueden resultar fatales.

- Todos los desperdicios deben recolectarse en recipientes adecuados para su eliminación.

- Trapos, waipes mojados de aceite o pintura, deberán colocarse en recipientes con tapa, pues son susceptibles de una combustión inmediata.

- Se recomienda mantener los pisos secos y limpios. En las industrias en

Las que por su naturaleza, tengan que estar los pisos mojados, se recomienda el empleo de sumideros en el piso, superficies corrugadas, o cubiertas antiderrapante.

- Toda instalación eléctrica, debe hacerse en forma sólida y permanente. Las instalaciones visibles deben estar debidamente aislados y espaciados. Los interruptores colgantes y otros conductores, nunca deben estar en contacto con tuberías de agua, columnas de acero u otros objetos de metal.

- En cuanto a evacuación, debe tomarse en consideración la posibilidad de que se desate el pánico, por lo cual debe evitarse todo aquello que obstruya la salida. Asimismo, todas las puertas de salida deben abrirse hacia afuera, con excepción de las puertas corredizas.

- Es fundamental para la seguridad, la instalación de dos salidas, en forma tal, que sea muy improbable la destrucción de las 2 al mismo tiempo. Este aspecto, es fundamental sobre todo en los lugares en que laboran gran número de personas.

- La ubicación de las maquinarias, debe ser aquella que mayores garantías de seguridad de a los obreros y que deje espacios adecuados para la evacuación del personal en caso de emergencias.

- Todos los materiales y productos, deberán almacenar e en forma tal que no ofrescan peligro, dejando pasillos adecuados para el tránsito y en condiciones que permitan la estabilidad de los materiales.

- En cuanto a primeros auxilios, se recomienda que las fábricas cuenten como mínimo, con un botiquín convenientemente equipado para la atención de heridos, y que cada fábrica cuente con una brigada de trabajadores, debidamente entrenados en prestar auxilio adecuado en caso de sismo u otro desastre.

Este entrenamiento podría ser proporcionado por la Cruz Roja u otra entidad especializada en esta labor.

- Finalmente se recomienda la colocación de afiches o carteles dentro de las fábricas, indicando de una manera clara y precisa, las medidas de seguridad a tomarse en caso de sismo o incendio.

#### 6.26. CON RESPECTO AL ABASTECIMIENTO DE ENERGIA.

- Se recomienda que cuando menos las fábricas mas grandes y de primera prioridad, cuenten con generadores de emergencia que garanticen la no interrupción del proceso industrial en caso de interrumpirse el abastecimiento de energía de la red pública.

- Otra alternativa, es que las compañías hagan un convenio con la empresa encargada del suministro de energía, para la instalación de una línea de alta calidad que garantice el suministro en caso de emergencia.