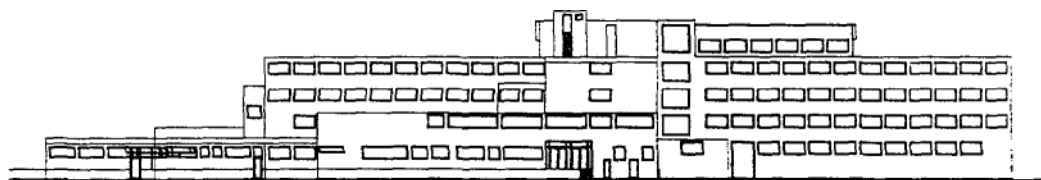


PROYECTO DE VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICACIONES HOSPITALARIAS DE LA CIUDAD DE QUITO

**ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**



**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS**

**ING. ARQ. PAUL QACHET GIACOMETTI
ING. JEANNETTE FERNANDEL CASTRO**

QUITO - JUL/96

PROYECTO DE VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICACIONES HOSPITALARIAS

OPS – EPN

ANTECEDENTES Y **OBJETIVOS**

El programa de emergencias de la Organización Panamericana de la Salud y la Escuela Politécnica Nacional se propusieron como objetivo principal del presente trabajo el involucrarse en estudios tendientes a analizar y minimizar la vulnerabilidad de las edificaciones hospitalarias existentes y las a ejecutarse en el futuro, tanto en la ciudad de Quito como en el resto de ciudades del Ecuador y de la región y como objetivo específico el estudiar de una manera general el sistema hospitalario existente y su preparación para condiciones de emergencia sísmica, y plantear a nivel de anteproyectos una metodología para estudios de vulnerabilidad con aplicación en un estudio de caso.

PREMISAS DEL *ESTUDIO*

LOS sistemas hospitalarios, son un fiel reflejo de una urbe y de la sociedad a la que sirve con características de la mas alta complejidad funcional y administrativa cuya vulnerabilidad se **consolida** al ser sistemas cuyo total y cabal funcionamiento se debe desarrollar durante todas las horas de todos los días de todos los años de su vida útil.

LOS hospitales se caracterizan por ser edificaciones donde sus principales **usuarios** son personas con dificultades físicas de libre movimiento, son edificaciones con gran contenido de equipos, en muchos casos difícilmente reemplazables y que funcionalmente cubren actividades de instalaciones hoteleras, bodegas, laboratorios, cocinas y lavanderías industriales etc.

Estas edificaciones además representan las de más alto costo de construcción a las cuales nuestra sociedad difícilmente puede acceder, ya que depende de las condiciones socio económicas y políticas del gobierno.

Por último es de considerar que las edificaciones hospitalarias deben funcionar óptima y extraordinariamente luego de ocurrido un evento de catástrofe sísmica. En la urbe físicamente contigua, próxima y circundante, la cual a su vez al ser mas o menos vulnerables según sus características de densidad poblacional tipo y calidad de construcción, demandará su utilización en mayor o menor grado en situaciones de emergencia, concluyéndose que el edificio de hospital debe tener posibilidad y capacidad de sobrellevar un sismo y responder a la colectividad de la manera mas eficiente, e inmediata , dentro de una edificación físicamente estable, segura y con el menor riesgo de colapso.

PROCEDIMIENTOS

- Análisis del Sistema Hospitalario en Condiciones de Emergencia

El presente estudio luego de entrevistar a personas solventes y autorizadas del sector salud, así como a directores de los hospitales objeto de los estudios de caso, se estableció que no existen desarrollados , ni en estudio proyectos o programas que consideren directrices de comportamiento de sistema en condiciones de cualquier tipo de emergencia **antrópicas** o naturales ya que debido a sus condiciones económicas con las que el sector salud pública se desenvuelve con lo **único** con lo que programan su funcionamiento son su sobrevivencia inmediata y diaria.

Inmersos en esta desalentadora realidad el presente estudio concluye en recomendar la imperiosa necesidad de sobrellevar programas y proyectos tendientes a dejar directrices, modos y formas de operación de nuestro sector salud en condiciones de emergencia sísmica en la urbe a la que el sector debe responder adecuada y óptimamente.

– Escenario Sísmico del Sector Salud en la Ciudad de Quito.

A raíz de la realización del Proyecto de Manejo del Riesgo Sísmico de Quito (Anexo # 7), surgió la necesidad de continuar más allá del diagnóstico fundamental en él realizado, dando soluciones prácticas a los problemas de vulnerabilidad sísmica detectados a lo largo de dicho estudio. En tal sentido se ha realizado un segundo proyecto denominado “Seguridad Sísmica de los Hospitales de Quito” , para el cual se determinó la conveniencia de realizar una evaluación probabilística de las aceleraciones potenciales en Quito, basándose en parte, en la información del peligro sísmico de carácter determinístico obtenida durante el primer estudio.

– Selección de las Fuerzas **Sísmicas** de Diseño.

Del estudio realizado sobre la sismicidad histórica e instrumental para la ciudad de Quito, se han seleccionado **3** niveles de aceleración para las tres condiciones de diseño de las estructuras, esto es serviciabilidad, dañabilidad y colapso.

Para el diseño por serviciabilidad se considera que la estructura debe ser capaz de soportar en el rango elástico, sin ningún tipo de daño, ni estructural ni en los elementos no estructurales, las fuerzas sísmicas inducidas en la edificación.

Se consideró que un valor del 6% de la gravedad, es un valor que se puede repetir muchas veces en la vida útil de la estructura, por lo que para este nivel de aceleraciones deben satisfacerse las condiciones de serviciabilidad.

Del estudio probabilístico de riesgo sísmico se observa que el 6% que representa el **93%** de excedencia en 50 años, esto es un período de retorno de **25** años.

Del mismo modo, para el caso de dañabilidad, que sería el estado límite en que la estructura sísmo resistente no puede presentar ningún tipo de fallas, aunque se pueden aceptar algunos daños menores en los elementos no estructurales, como agrietamiento en las paredes por ejemplo, se acepta un valor del 9% de la gravedad, esto es para un período de retorno de 100 años o lo que es lo mismo, el **42%** de excedencia en 50 años.

Para el diseño por colapso en cambio, en el que se aceptan deformaciones en la estructura, pero en el que se debe garantizar un comportamiento dúctil de los elementos estructurales, se considera un valor del 26% g, que representa un período de retorno de **475** años o el 10% de excedencia en 50 años.

Una vez identificados los valores de aceleración para los tres estados de diseño, se procedió a generar el espectro correspondiente en base a las recomendaciones del UBC.

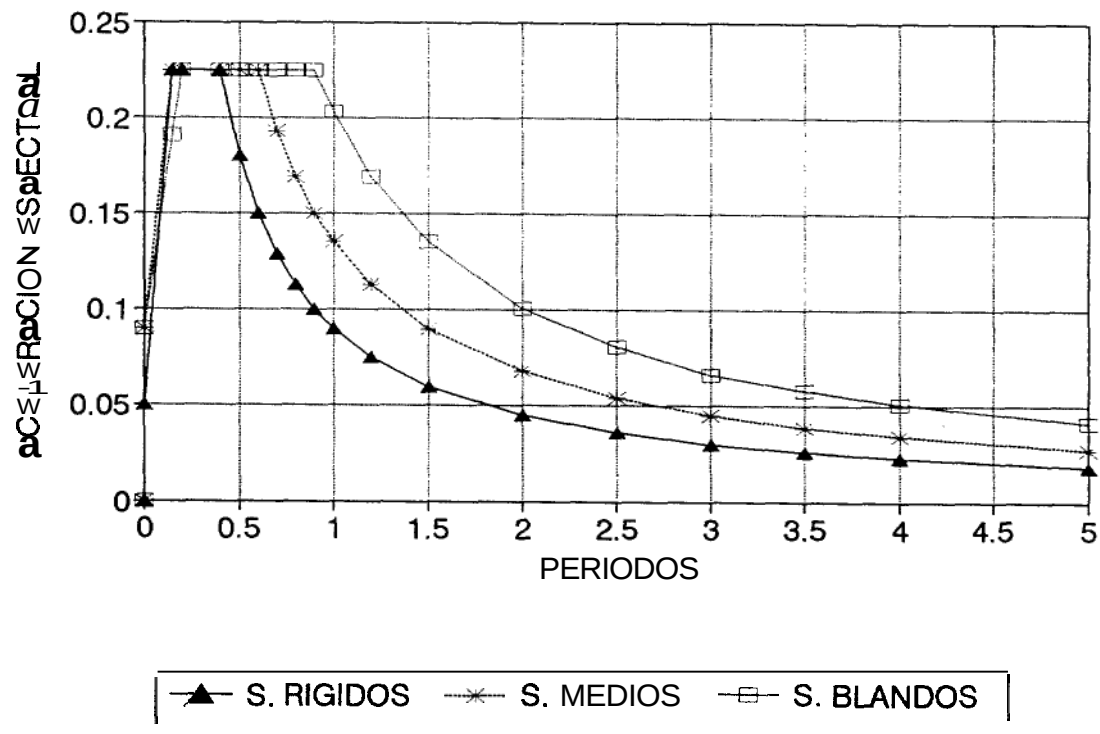
La aceleración espectral en el plato del espectro se toma como 2.5 veces la aceleración del suelo, considerándose el mismo ancho del plato y la caída de las aceleraciones, igual al que propone el UBC.

Se consideran tres tipos de suelos, duros, medios y blandos, para suelos medios se considera $S_s=1$, debiéndose multiplicar por 1.5 para suelos blandos y dividir para 1.5 para suelos duros.

El factor de importancia se tomó en todos los casos igual a uno, $I=1$.

ESPECT. DE ACELERACIONES (UBC)

DANABILIDAD $A_s = 9\% g$



Se fijaron los niveles de amortiguamiento para los tres materiales encontrados primordialmente en los hospitales estudiados, mampostería de ladrillo y adobe, hormigón armado y estructura metálica y para los tres distintos niveles de diseño. Estos valores se resumen a continuación:

**VALORES DE AMORTIGUAMIENTO ASUMIDOS
PARA ESTE PROYECTO**

	MAMPOSTERIA	HORMIGON	METALICAS
SERVICIABILIDAD	5%	5%	2%
DAÑABILIDAD	7%	6%	3%
COLAPSO	10%	8%	5%

Del mismo modo, para tomar en cuenta el comportamiento en rango inelástico de las estructuras, se fijaron distintos niveles de ductilidad de acuerdo al material de construcción, según la tabla adjunta.

COEFICIENTES DE DUCTILIDAD

MATERIAL	VALORES DE R_w
MAMPOSTERIA ADOBE	2
MAMPOSTERIA LADRILLO	3
METALICAS	4
HORMIGON	8

Se generaron los espectros de diseño correspondientes a los niveles de serviciabilidad, dañabilidad y colapso, debiendo diseñarse para aquel estado que produzca las mayores demandas.

- Criterios Utilizados para la Selección del Hospital Objeto del Estudio del Caso, a **Nivel** de Anteproyecto.

El sector salud dentro de la ciudad de Quito se encuentra asentado en las siguientes jerarquías :

- Hospitales, centros y subcentros dependientes del Ministerio de Salud.
- Hospitales y dispensarios dependientes de las Instituciones de Fuerzas Armadas y Policía.
- Hospitales, clínicas y centros pertenecientes al sector privado.

Se consideró como parte del estudio el mapa de riesgo sísmico de la ciudad, donde se describen zonas de riesgo bajo o nulo, medio baja, medio alto y alto, además el entorno natural volcánico, geológico, morfológico y topográfico de la ciudad, como se aprecia en los gráficos adjuntos.

De entre todas las instalaciones hospitalarias de la ciudad de Quito, se decidió estudiar una del sector público , administrado por el Ministerio de Salud Pública, ya que si bien el el sector privado este tipo de estudios podía tener mayor receptividad, éstas son de hecho estructuras de menor envergadura y vulnerabilidad.

Se decidió estudiar una edificación hospitalaria con las siguientes características :

- Que sea **del** tipo hospital general, con especialidades básicas y derivadas, capacidad de hospitalización de por lo menos 200 camas y en base a esto todas las demás áreas y servicios suplementarios

- Esta edificación debe encontrarse dentro o cerca de zonas de la ciudad densamente pobladas y con construcciones ejecutadas con bajos recursos, en zonas de alto riesgo y por ende **más** vulnerables, por lo que se esperaría una gran demanda de hospitalización en caso de producirse un sismo.

- Que a su vez el hospital se ubique en una zona de riesgo sísmico medio alto o alto en la ciudad.

- Que el sistema constructivo utilizado en el hospital sea suficientemente conocido para identificar de mejor manera las causas, efectos y posibles **soluciones** a sus vulnerabi**l**idades.

- Que de alguna manera el hospital escogido represente a un buen número de edificaciones similares dentro del sector, ciudad, país y región.

- Que su construcción no sea antigua para que las intervenciones sugeridas no tengan implicaciones propias de restauración de monumentos históricos.

- Que **exista** predisposición y posibilidad de obtener recursos financieros para poder ejecutar los estudios a nivel de proyecto definitivo y posteriormente la ejecución de la obra , dentro de una programación de construcción adecuada.

- Que haya estado en condiciones de emergencia y haya tenido posibilidad y capacidad de responder a una demanda inesperada de usuarios.

Con todos estos criterios, se realizaron visitas a distintos centros en la ciudad, y considerando adicionalmente los estudios preliminares realizados por la EPN, dentro del proyecto de riesgo sísmico de Quito (Anexo # 7), se decidió conjuntamente con la contraparte técnica del Programa de Emergencia de la OPS, que el estudio se realice en el Hospital Pablo Arturo Suárez.

- Descripción del "Hospital Pablo Arturo Suárez" Objeto de Estudio de Caso

a.- Características y Contenido de Servicio Hospitalario

- Se trata de un hospital general, el mismo que según observación en sitio e información del personal autorizado, del departamento de estadística, presenta las siguientes características generales. (según estadística de anexo 1).

ESPECIALIDADES	# DE CAMAS
Clínicas	52
Cirugía	50
Traumatología	31
Ginecología	12
Obstetricia	28
Neonatología	11
Neumología	49

TOTAL 233 camas.

- Según cuadro de días de estada, se deduce que es un hospital permanentemente ocupado. (anexo 1)

- Según el cuadro de servicio de emergencias se deduce la gran demanda que tiene el hospital incluso en condiciones normales, ya que sirve a un sector densamente poblado. (anexo 1)

- Según cuadros estadísticos adjuntos (anexo 1) el hospital alberga los siguientes servicios y departamentos:

- Servicio de Clínica
- Servicio de Salud Mental
- Servicio de Neurología
- Departamento de Cirugía
- Servicio de Cirugía
- Servicio de Oftalmología
- Servicio de Otorrino-larino-faringología
- Servicio de Fisiatría
- Departamento de Gineco-Obstetricia
- Servicio de Ginecología
- Servicio de Pediatría
- Servicio de Odontología
- Unidad de Emergencia
- Unidad de Cuidados Intensivos

b.- Características de su Ubicación Urbana y de Riesgo

- Como se aprecia en lamina 20 (Anexo # 2) el Hospital Pablo Arturo Suárez se ubica al norte de la ciudad de Quito, siendo el único hospital de tipo general en esta basta zona de la ciudad.

- Según figura 3 (Anexo # 2) se aprecia que el hospital Pablo Arturo Suárez se encuentra inmerso en una zona de riesgo sísmico **medio-alto** y según la lámina 9 (Anexo # 2) se evidencia el alto riesgo morfodinámico, volcánico y de sismos al cual se encuentra sujeto este edificio hospitalario.

- Por último, según lámina 10 (anexo 2), si bien la zona que rodea al hospital P.A.S. tiene una mediana densidad poblacional, se debe apreciar la basta zona de influencia, ya que es el único centro hospitalario de carácter general del sector norte de la ciudad, teniendo como vecinos contiguos a zonas o barrios altamente vulnerables, por su calidad de construcción, a un evento sísmico.

c.- Características de funcionamiento histórico en condiciones de emergencia.

- ~~Este hospital~~ es el Único de la ciudad de Quito que en **los** Últimos 25 años ha sido probado con una gran demanda en condiciones de emergencia, demostrando tener una cierta inesperada capacidad para desenvolverse adecuadamente ante estos requerimientos. (Accidente aéreo de avión de carga de la compañía AECA que arrazó

parte del barrio El Rosario contiguo al aeropuerto Mariscal Sucre, en el año 1984).

d.- Levantamiento Arquitectónico y de Geometría Estructural.

- Para realizar el estudio de vulnerabilidad estructural y no estructural de un edificio hospitalario es imprescindible contar con **la** información gráfica, donde consten todos y cada uno de los edificios que lo conforman, en planos detallados de levantamiento de la realidad actual en todo lo concerniente a la arquitectura, estructura e instalaciones de red primaria.

- En vista de que a nivel de dirección administrativa y de la unidad de mantenimiento del hospital, no existía información actualizada confiable y completa, se procedió a ejecutar un levantamiento total del hospital, información que reposa en el anexo # 3, el mismo que contiene las siguientes láminas dibujadas en Autocad, con su correspondiente respaldo en diskett.

e.- Reseña Fotográfica

- Con el objeto de que este proyecto cuente con un registro fotográfico donde se evidencie visualmente la vulnerabilidad estructural y no estructural, se adjunta en el anexo # 4 una reseña representativa de lo observado en el sitio.

En esta reseña fotográfica se puede apreciar:

- Sistemas de instalaciones que no respetan pertenecer a sus dos edificios ya que

hacen caso omiso a las juntas de dilatación.

- Equipos caros y sofisticados que dependen de la pobre estabilidad lateral de las paredes.
- Elementos no estructurales (Unidades de extracción de aire sobre las cocinas), que no se sostienen adecuadamente y que pueden provocar en un sismo fallas en la estructura del techo, y al caer pueden dañar el equipamiento y causar incendios graves que definitivamente no se podrían mitigar con un precario extintor de incendios.
- Líneas vitales de instalaciones sin seguridad sísmica.
- Problemas de estructuración a desnivel, provocando graves defectos globales de bloque a bloque.
- Las juntas de dilatación que independizaban bloque a bloque para un adecuado comportamiento sísmico, por defectos de su conveniente **detallamiento** contra aguas lluvias han sido eliminadas, dejando a las estructuras del Hospital con defectos para su comportamiento sísmico.
- Vicios de construcción provocados por los usuarios , que sin necesidad de sismos debilitan localmente la estructura , dejando con graves defectos , ya que no respetan ni siquiera los elementos estructurales principales y los perforan indiscriminadamente.

- Chimeneas poco estables, resistentes e incluso inservibles actualmente, ya que los ambientes de cocina y lavandería, para los que servían , hace tiempo fueron reubicados.
- Presencia de remodelaciones ausentes de criterios de seguridad sísmica.
- Líneas vitales con graves defectos de seguridad sísmica y posibilidad de explosión o incendios.
- Marquesinas vulnerables que pueden ocasionar problemas **con** los accesos.
- Condiciones de circulación adecuadas en caso de operación en situaciones de emergencia.
- Líneas vitales actualmente intervenidas con adecuados criterios de seguridad.
- Estructura principal visualmente adecuada y robusta pero con graves problemas de columnas cortas por presencia de antepechos a media altura , incluso en los ejes de mampostería interior.
- Defectos de estructuración global
- Problemas estructurales existentes que ameritan inmediata intervención.
- Líneas vitales con graves insuficiencias de seguridad sísmica.

- Líneas vitales adecuadamente ubicadas pero con graves problemas de seguridad interior.
- Espacios de circulación con dimensiones insuficientes.
- Precaria señalización para situaciones de operación en condiciones de emergencia, e insuficiente seguridad contra incendios.
- Sistema de intercomunicación inservible.
- Zonificación de líneas vitales de calderas, generadores, transformadores, reservas de agua, sistema hidroneumático convenientemente ubicados pero con defectos de seguridad interior.
- Líneas vitales con defectos de detallamiento de seguridad sísmica.

f.- Descripción General de las Edificaciones Existentes del Hospital

El "Hospital Pablo Arturo Suárez" depende del Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Esta ubicado al Noroccidente de la ciudad de Quito en la calle Angel Ludeña y ofrece atención a una zona muy amplia y densamente poblada.

En el hospital se pueden identificar claramente dos zonas estructurales, la parte antigua corresponde a lo que anteriormente era el hospital para la atención a tuberculosos, esta ubicado hacia la parte el sur y occidente, y consta de bloques de 4 y 5 plantas con grandes ventanales, que anteriormente servían como parte del

tratamiento a este tipo de enfermos que requerían de gran cantidad de luz solar. Este bloque fue construido a mediados de este siglo. La parte moderna, en su estructura se construyó en la década de los 80 y comprende la zona norte del hospital, consta de varios bloques estructurales de 1 o 2 plantas, en la actualidad esta zona no está completamente acabada y presta servicios de forma parcial.

La parte antigua del hospital consta de 4 bloques **(1-2-3-4)** (ver fig. 1) bien definidos, de 4 plantas, aunque en uno de los bloques **(4)** se ha adecuado una quinta planta con estructura metálica destinada a residencia de médicos internos y sala de lectura. Los bloques 1, 3 y 4 son destinados, del segundo al cuarto nivel a hospitalización de las diferentes especialidades, el bloque 2 sirve principalmente como zona de suministros de los diferentes pisos. El primer nivel del bloque 1 alberga la zona de lavanderías, planchado y costura, en el bloque 2 se tienen bodegas, en el bloque 3 trabaja radiología, y en el 4 se destina para administración. Por las características anotadas anteriormente todos estos bloques constan de grandes ventanales y antepechos de aproximadamente 1 m. de altura en sus fachadas, a la vez que tienen divisiones interiores conformadas de mampostería hasta una altura aproximada de **1.30 m.** en el sentido de los ejes longitudinales y separados por divisiones de mampostería completamente confinada en vigas descolgadas y columnas en el sentido transversal, moduladas cada 6 m. Las columnas son de hormigón, tienen una sección de **30*30 cm.** y se forman columnas cortas tanto por la presencia de los antepechos en las fachadas como por las divisiones longitudinales interiores. Las vigas son descolgadas con una sección de **30*70 cm.** Los paneles de las losas se apoyan en sus cuatro lados sobre las vigas descolgadas pero éstas trabajan unidireccionalmente. El acero de

refuerzo deben ser barras lisas de una capacidad de 2800 Kg/cm^2 . existentes en el mercado en la época de construcción de estos bloques.

La construcción nueva consta de varios bloques (5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15) de uno y dos niveles, los cuales no se encuentran en servicio completamente y en donde principalmente funcionan las consultas externas de las distintas especialidades médicas así como el departamento de estadística y archivo y la farmacia. Dichos bloques estructurales muestran una geometría regular tanto en planta como en elevación, están formados por pórticos en los dos sentidos ortogonales principales con columnas de sección 30×30 y vigas descolgadas de sección 25×40 a 25×50 formando paneles de 3×5 m. y 3×7 m. en la mayoría de los casos, soportando losas que trabajan en un solo sentido.

Los materiales especificados en el diseño son: hormigón con una capacidad de 210 Kg/cm^2 y acero de 2800 Kg/cm^2 . La cimentación esta constituida por zapatas aisladas cuya profundidad de cimentación no se encuentra especificada en los diseños y han sido determinado en obra. La capacidad admisible del suelo considerada para el diseño de las zapatas es de 1 kg/cm^2 .

Los bloques están separados por juntas de dilatación de 5 cm. de espesor que a su vez en algunos casos se encuentran tapados por revestimiento de paredes. Estos bloques por ser una construcción sin terminar a los cuales se los había mantenido hasta hace poco sin acceso muestran el deterioro normal del paso del tiempo y la intemperie, sin embargo en zonas ya habilitadas se puede observar una estructura en un estado bueno, con excepción de algunos sitios donde existen filtraciones por defectos de impermeabilización.

Existen construcciones anexas al hospital donde están localizadas la cocina y el comedor (17), los calderos y mantenimiento (18) y una estructura donde funciona rehabilitación (16). La estructura de la cocina y comedor consta de pórticos planos de estructura metálica con cubierta de fibrocemento apoyada sobre correas de acero. Las estructuras de los calderos, mantenimiento y rehabilitación están formadas por columnas de hormigón que soportan cerchas de acero, sobre las cuales se asienta la cubierta de fibrocemento.

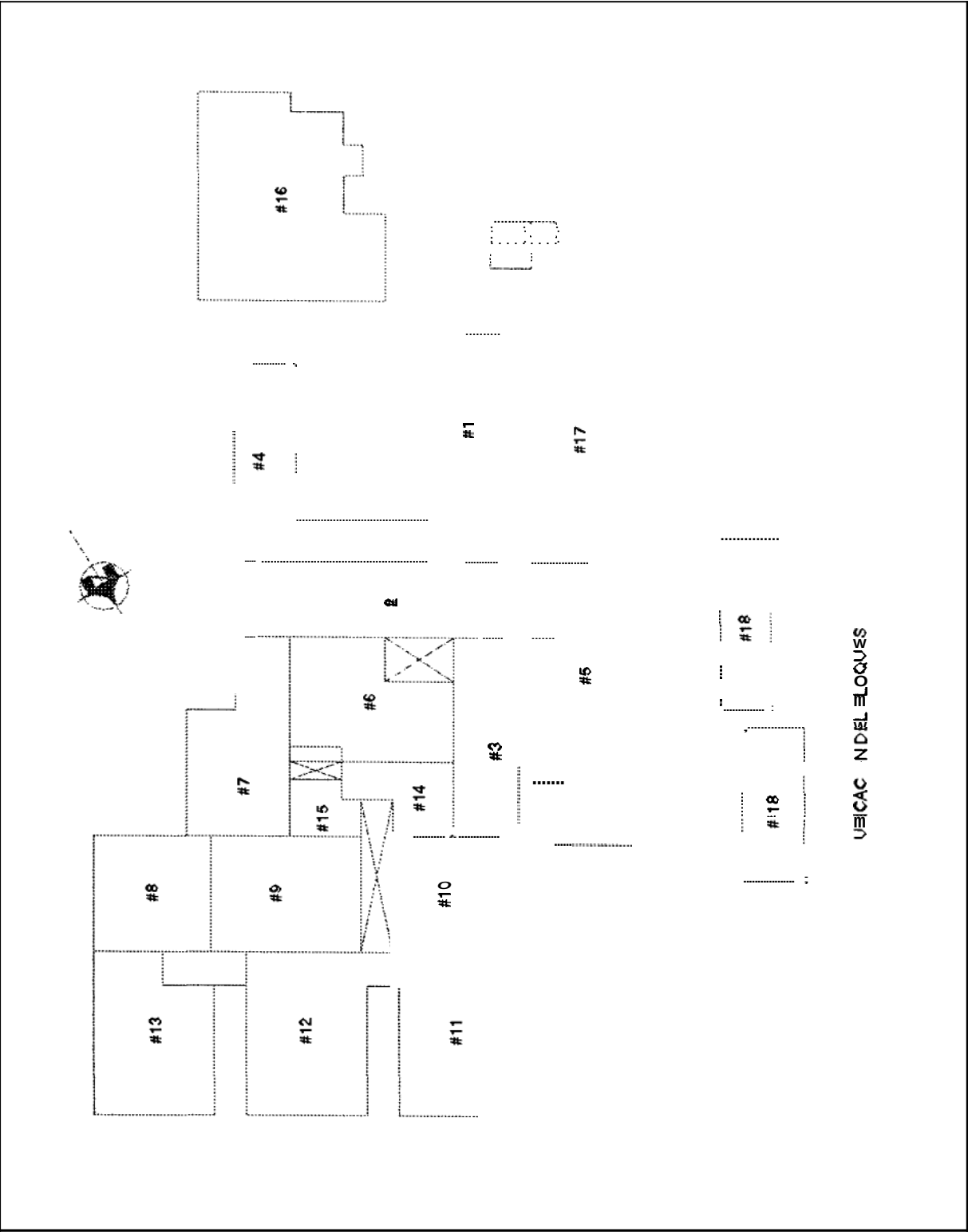


Fig. 1