

EL TERREMOTO DEL CUZCO DEL 5 DE ABRIL DE 1986 (1)

Por: Ing. Luis Zegarra C.*
Ing. Juan Bariola B.*
Ing. Marcos Tinman B.*
Arq. Roberto Samanez A.**
Ing. Carlos Malpartida M.**
Ing. José Becerra C.**

1. INTRODUCCION

El 5 de abril de 1986 a las 15:15 horas ocurrió un sismo de Magnitud Richter 5.8 a aproximadamente 20 km. al Nor-Oeste de la Ciudad del Cuzco. La Intensidad Mercalli Modificada máxima fue de VI según estimaciones del Instituto Geofísico del Perú.

La Universidad Católica con el apoyo del Ministerio de Vivienda envió una comisión de Profesores del Departamento de Ingeniería que visitó la Ciudad del Cuzco y los pueblos del Valle del Urubamba. En el pueblo de Ccorao cercano al epicentro se notaron daños serios en viviendas de uno y dos pisos.

En la zona céntrica de la ciudad del Cuzco se observaron daños de importancia en monumentos históricos, viviendas de adobe inclusive en estructuras de concreto armado y mampostería de ladrillo. Existió una gran cantidad de estructuras de adobe afectadas, con diversos tipos de fallas muchas de las cuales habían sido ya reparadas luego del sismo de 1950. Era por consiguiente de gran importancia recopilar esta información, incluyéndose la performance de los diferentes sistemas de reparación utilizados.

Se pudo observar por otro lado, que comparativamente entre estructuras de características semejantes, sufrieron mayores daños las localizadas en la zona céntrica que las ubicadas en otros lugares tales como pueblos jóvenes por ejemplo.

Al respecto la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco inició recolección de daños en estructuras de adobe (1). Se recopilaron, en base a una ficha de evaluación, los siguientes datos: características de las estructuras, tipos de daños, severidad de los mismos, y número de personas afectadas. Se recolectó información de aproximadamente 3,400 viviendas del mismo material, de las cuales se estimó que aproximadamente 30 habían colapsado o deberían ser demolidas.

La importancia de la información de daños estructurales ocurridos en construcciones de adobe, llevaron a sugerir la realización de un nuevo estudio de campo que contemplara, para un número de estructuras seleccionadas, la recopilación detallada de características generales, planos arquitectónicos, materiales y daños sufridos. Esta información debería ser procesada en una segun-

* De la Pontificia Universidad Católica del Perú.

** De la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco.

(1) Proyecto financiado por CERESIS.

da etapa del proyecto. La responsabilidad de la ejecución del estudio correspondió a un grupo de profesores de ambas Universidades UNSAAC y PUC.

Además, se creyó conveniente realizar una encuesta de Intensidades (M.M) abarcando completamente la ciudad del Cuzco.

La evaluación, en una segunda etapa del proyecto, de la respuesta de las estructuras dañadas durante el sismo del Cuzco permitirá la corroboración de los modelos de comportamiento determinados en base a ensayos de laboratorio realizados en la Universidad Católica. Por otro lado, el sismo puso a prueba diferentes formas de reforzamiento existentes que deben ser evaluadas.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto fueron:

- a) Determinar la distribución de Intensidades de Mercalli en la ciudad del Cuzco.
- b) Recopilar la información de características arquitectónicas y estructurales, y daños sufridos por un número de aproximadamente 50 construcciones de adobe a raíz del sismo.

3. RECOPIACION DE INTENSIDADES M.M.

3.1 Recolección de la Información

En esta etapa se desarrollaron las labores preliminares de división de la ciudad en sectores, definición del formulario de encuesta, organización de los grupos de trabajo y luego la encuesta misma.

La ciudad fue dividida en 24 sectores (ver Fig. 1) de manera similar a la encuesta descrita en la Referencia 1, a la cual se añadieron dos sectores correspondientes al distrito de San Jerónimo ubicado al este de la ciudad. Dentro de cada sector, se numeró las manzanas y se usó un sistema de coordenadas en kilómetros cuyo origen fue ubicado en el extremo Nor—oeste de la ciudad. Cada dato de intensidad está asociado, por consiguiente, a un sector, manzana y coordenadas en km.

El formulario de encuesta indicado en la Tabla 1, fue creado desglosando en preguntas la escala Mercalli (véase por ejemplo la Referencia 2). Se incluyen además la ubicación del lugar y las características generales de la vivienda. La escala Mercalli asocia a cada intensidad un número de observaciones lo cual se presenta en forma esquemática en la Tabla 2. Como se puede apreciar en esta Tabla, no existen un mismo número de observaciones asociadas a cada grado de la escala, lo cual ocasiona que las diferentes intensidades pueden no ser medidas con igual exactitud.

La información fue recolectada por 10 alumnos de ingeniería civil de la UNSAAC entre el 2 y el 28 de Agosto de 1986, recogiendo un total de 3,784 encuestas en los 24 sectores en que fue dividido el Cuzco. Se tomaron un promedio de dos encuestas por manzana en la zona urbana y como mínimo una encuesta por manzana en las zonas periféricas, dependiendo del tamaño de la misma.

3.2 Procesamiento de la Información

Con la finalidad de procesar un número grande de encuestas, se creó un programa de computadora en Basic en una computadora IBM PC. El programa permite la introducción en forma interactiva de las encuestas las que son luego almacenadas en un archivo en diskette. La determinación de la Intensidad para cada encuesta se realiza verificando si las observaciones cumplen con un mínimo del 50 o/o de las observaciones requeridas según la escala. Se determina, además, la "certeza" de la estimación, como la relación entre el número de observaciones registradas sobre el número de observaciones requeridas por la escala. En un segundo archivo se almacenan los re-

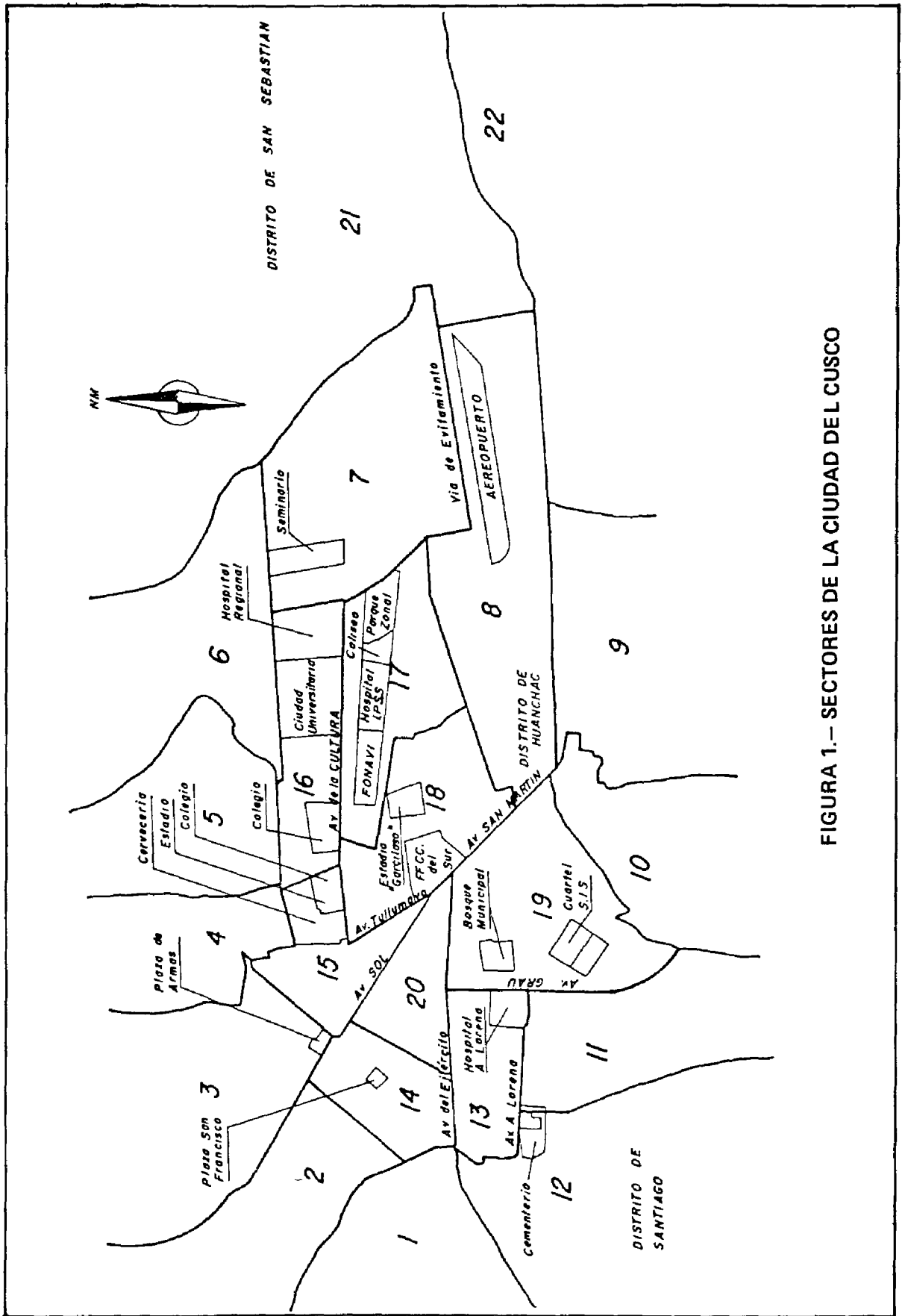


FIGURA 1.- SECTORES DE LA CIUDAD DEL CUSCO

sultados organizados en una tabla que contiene los siguientes datos: sector, manzana, coordenadas en Km, intensidad y certeza.

La distribución de intensidades es determinada por un segundo programa que permite calcular la intensidad promedio en una malla de zonas rectangulares. Con esta finalidad se dividió la ciudad en 300 cuadrados de 0.50 x 0.50 Km.

3.3 Resultados

Como se muestra en la Fig. 2, se obtuvieron varias zonas de intensidades promedio V, VI y VII. De manera global se puede estimar en VI la Intensidad promedio observada en la ciudad.

El sector Sur-oeste, constituido por la falda del cerro Puquín, y el sector Nor-Este, Los Incas, sufrieron Intensidades de VII, las más altas registradas. Las menores Intensidades, grado V, fueron registradas en los sectores bajos del Valle del Cuzco, zona de los poblados de Chocco y San Jerónimo.

La zona central, caso histórico-monumental, sufrió Intensidades de VI, comparables al resto de la ciudad. Los mayores daños observados, serían por consiguiente, atribuibles al mal estado de las edificaciones en esta zona, la mayoría de las cuales fue afectadas por el sismo de 1950.

Tabla 1. Formulario de Evaluación

**CERESIS – UNSAAC – NUFFIC – PUCP
EVALUACION DE INTENSIDADES. SISMO DEL 5 DE ABRIL – CUSCO**

1. UBICACION

Sector:	Distrito:	Urb:
Mza.:	Lote:	Calle:
		No.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA EDIFICACION

- a) Posición de la Edificación en la Manzana
Esquina (1) Centro (2) Libre (3)
- b) Número de Pisos
- c) Antigüedad Estimada de la Edificación en Años
- d) Tipo de Estructura: Adobe (1) Ladrillos sin Columnas (4)
 Quincha (2) Ladrillo con Columnas (5)
 Madera (3) C.A. Aporticado (6)
- e) Reparaciones Efectuadas en Sismos Anteriores Si (1) No (2)
- f) Estado de Conservación Bueno (1) Regular (2) Malo (3)

3. EFECTOS OCASIONADOS POR EL SISMO Si (1) No (2)

- 1) ¿El sismo fue sentido por Ud.?
- 2) ¿Se encontraba Ud. en la Planta Baja?
- 3) ¿Los objetos colgados oscilaban?
- 4) ¿Le pareció que pasaba un vehículo pesado?
- 5) ¿Sintió ruido de puertas, ventanas, platos, etc.?

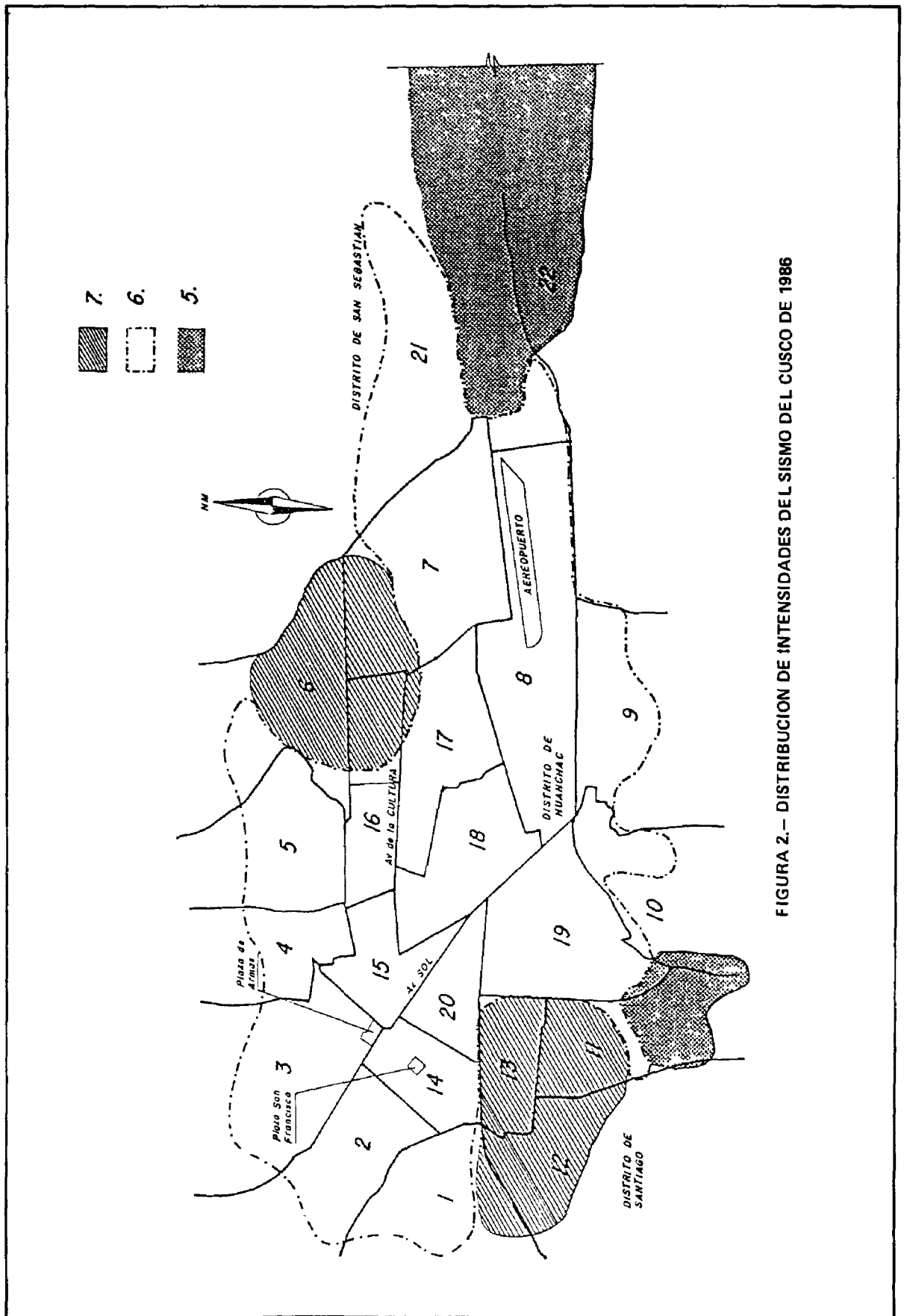


FIGURA 2.- DISTRIBUCION DE INTENSIDADES DEL SISMO DEL CUSCO DE 1986

- 6) ¿Sintió ruido de paredes o tabiques de madera?
- 7) ¿Los objetos pequeños se movieron o cayeron al piso?
- 8) ¿Alguién que dormía despertó?
- 9) ¿Quizo salir corriendo al exterior?
- 10) ¿Se movieron o voltearon los muebles?
- 11) ¿Se cayeron cuadros de las paredes?
- 12) ¿Se cayeron objetos de los estantes?
- 13) ¿Se cuartearon o fisuraron levemente los muros?
- 14) ¿Tuvo dificultad de permanecer en pie o caminar?
- 15) ¿Cayeron estucos, tejas, cornizas, o piedras al suelo?
- 16) ¿Se rajaron o partieron algunos muros?
- 17) ¿Se produjo caída o derrumbe de algunos muros?
- 18) ¿Se produjo caída o derrumbe de la edificación?

4. OBSERVACIONES ADICIONALES

5. NOMBRE DEL ENCUESTADOR

FECHA:

Tabla 2. Escala de Mercalli en Forma Tabular

	INTENSIDAD M. M.									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Observaciones (*)										
1	(**)	X								
2			X							
3			X	X						
4				X						
5				X						
6				X						
7					X					
8					X					
9						X				
10						X				
11						X				
12						X				
13						X				
14							X			
15							X			
16							X			
17							X			
18								X		

(*) Ver Tabla 1, Sec. 3.

(**) Si el terremoto no fue sentido se asigna intensidad I.

4. RECOPIACION DE INFORMACION SOBRE DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE ADOBE

4.1 Recolección de la Información

Se recolectó información de 95 construcciones de adobe situadas en el centro monumental

del Cuzco. Entre estas se incluye viviendas comunes, edificios comerciales y públicos y monumentos históricos.

La recolección de información fue hecha por alumnos de la UNSAAC bajo la supervisión de los investigadores a cargo del proyecto.

Se recogieron datos sobre:

- a) **Arquitectura:** Ubicación, plantas, elevaciones, antigüedad, uso.
- b) **Estructura:** Paredes, techos, vigas de amarre, cimentación, otros elementos de refuerzo.
- c) **Tipo de características de los materiales:** Barro, piedra, etc.
- d) **Levantamiento de daños:** Planos en pequeña escala de plantas, cortes y elevaciones donde se muestra la ubicación, ancho y longitud de las fisuras, caída de muros y techos, humedecimiento de muros, así como diferenciación de daños previos (sismo 1950) y posteriores al sismo.

Para ilustrar el trabajo que se hizo se muestran en las siguientes hojas la información recolectada en una de las estructuras de adobe estudiadas.

En la tabla 3 se muestra una síntesis de los datos sobre las características de la edificación que fueron obtenidos mediante la encuesta realizada.

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestran los planos en pequeña escala donde fueron ubicados los daños. Como explicación de la nomenclatura utilizada para ubicar los daños observados y sus características en los planos se tiene:

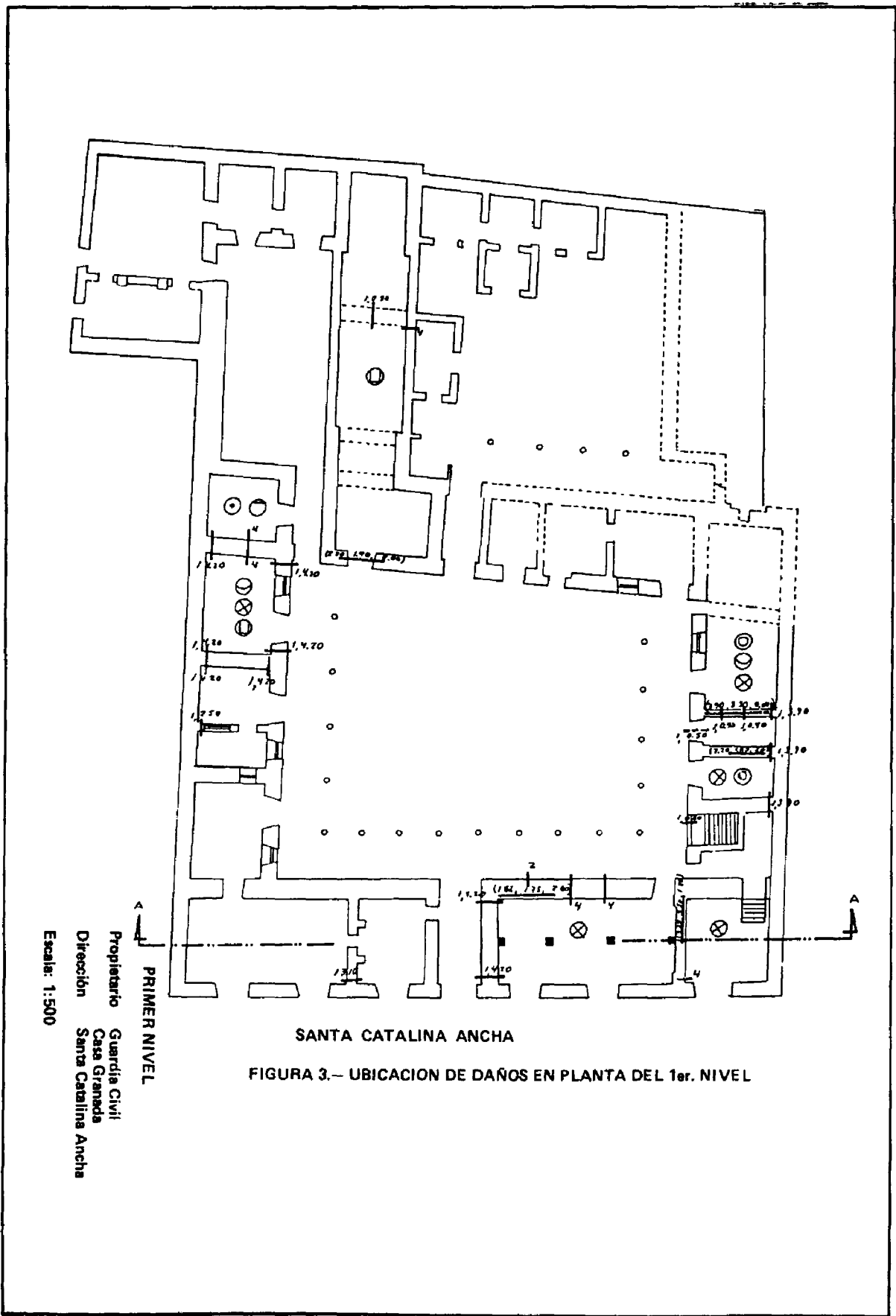
- Líneas llenas representan rajaduras en los muros posteriores al sismo.
- Líneas quebradas representan rajaduras anteriores al sismo, probablemente ocurridos en el sismo de 1950 y reparadas.
- Muros determinados por líneas punteadas representan muros que se derrumbaron durante el sismo.
- Los círculos en los techos representan características de los daños ocurridos en estos.

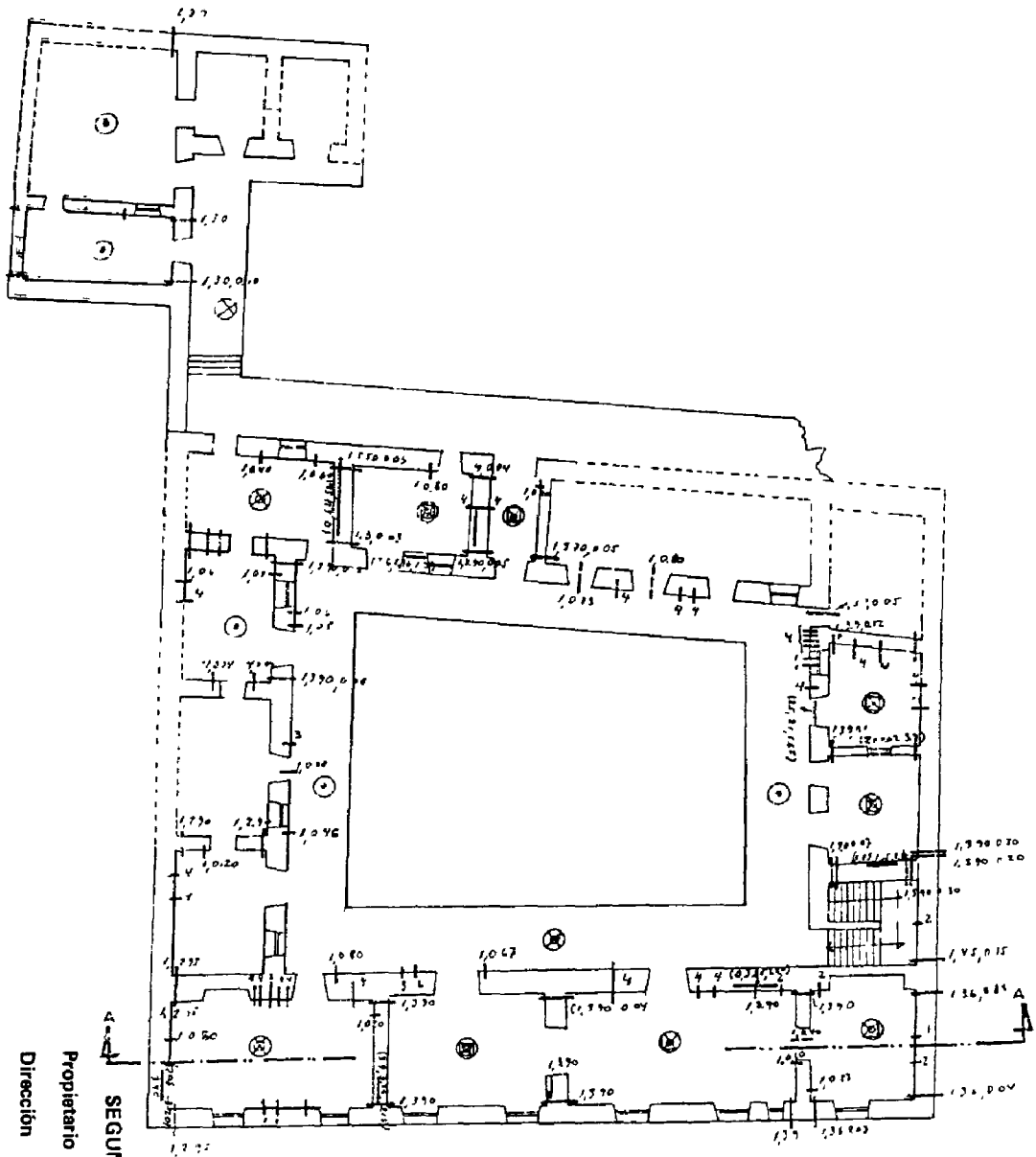
Información completa sobre la nomenclatura usada, está disponible para investigadores que deseen utilizar esta información.

TABLA 3
CARACTERISTICAS DE LA EDIFICACION

- Propietario:
Guardia Civil
- Características Generales:

Area del Terreno	1,350 m ²
Antigüedad	320 años
Estado de conservación	Regular
Primera planta	1,300 m ²
Altura libre	4.5 mts.
- Cimientos:
de piedra y barro: Altura 1.80 mts. Ancho 1.00 mts.



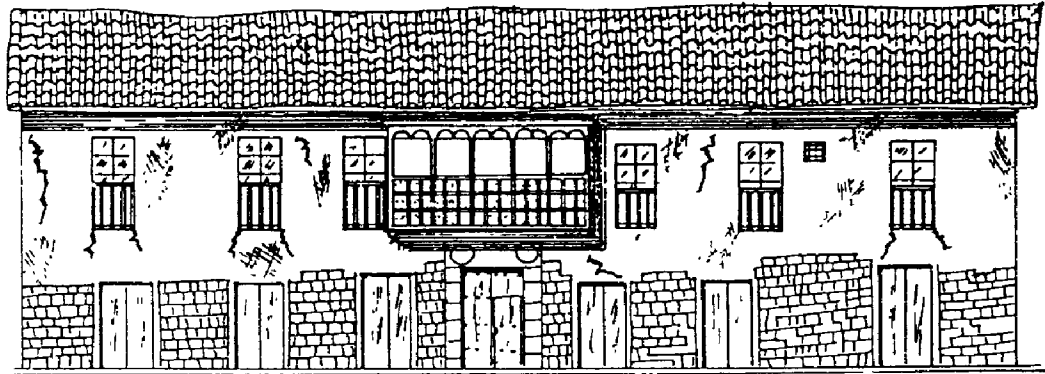


Proprietario Guardia Civil
 Casa Granada
 Dirección Santa Catalina Ancha
 Escala: 1:500

SEGUNDO NIVEL

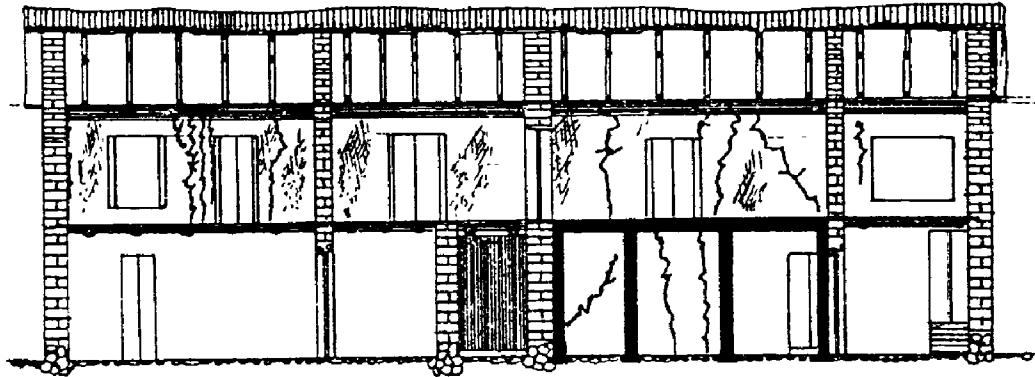
SANTA CATALINA ANCHA

FIGURA 4.- UBICACION DE DAÑOS EN PLANTA DEL 2do. NIVEL



ELEVACION PRINCIPAL Escala: 1:500

FIGURA 5.— UBICACION DE RAJADURAS EN FACHADA DE EDIFICACION



CORTE A - A

Escala: 1:300

FIGURA 6.— UBICACION DE RAJADURAS EN CORTE A-A

- Sobrecimientos:
de piedra y barro: Altura entre 2.40 mts. y 1.20 mts.
- Muros de adobe:
Altura máxima 10 mts. Espesor 1.10 mts.
Mortero: Barro arenoso con paja, espesor de junta vertical y horizontal: 2 cm.
- Entrepisos:
Estructura: Madera rolliza parcialmente azulada
Acabado: Pastelero sobre entablado
- Techos:
Estructura: Tijeral de madera rolliza
Cobertura: Teja
- Elementos Estructurales adicionales:
Llaves de madera
Tirantes de madera
Elementos de concreto armado en primer nivel.
- Daños:
 - No hay daños en cimentación, ni grietas en suelo, ni asentamiento
 - Fisuración en muros y en encuentros de muros.
 - Pérdida de verticalidad de muros.
 - Muros, entrepisos y techos caídos.
 - No hay daños en instalaciones eléctricas ni sanitarias.

5. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Distribución de Intensidades

- Formular hipótesis sobre la probable influencia de factores geológicos, topográficos, de suelos y otros factores locales, en la distribución de intensidades.
- Utilizar esta información para futuros estudios de microzonificación de la ciudad del Cuzco.

Información sobre daños en estructuras de adobe

- Comparar con datos de ensayos de laboratorio, hechos en la PUC, sobre la respuesta dinámica de estructuras de adobe. En la PUC se cuenta con importante información de laboratorio sobre la respuesta sísmica de estructuras de adobe, motivo por el cual un estudio de campo durante un sismo real permitirá la corroboración de los modelos de comportamiento de estas estructuras, alcanzándose un gran beneficio para la investigación científica en este campo.
- Evaluar el comportamiento de los sistemas de reforzamiento utilizados para reparar daños de sismos anteriores. El sismo ha puesto a prueba diferentes formas de reforzamiento existentes. La necesidad de recomendar formas efectivas de reparación ameritan un estudio detallado de los efectos del sismo y del comportamiento de los sistemas de reforzamiento. Además el sismo del Cuzco fue un sismo superficial entreplaca, que tiene características diferentes a los sismos de la zona de subducción y sus efectos sobre las edificaciones no están bien estudiados. Con la obtención de información sobre daños en edificaciones de adobe para este tipo de sismos, estos efectos podrían ser estudiados estadísticamente y se podrían establecer pautas para mejorar los sistemas de reforzamiento y así establecer o aumentar la seguridad estructural de las edificaciones ante futuros sismos, así como también se podría mejorar el diseño estructural de futuras edificaciones.
- Utilizar la información sobre el comportamiento de estructuras simples (muros de cerco) pa-

ra evaluar características del movimiento del suelo, por medio de modelos matemáticos desarrollados en la PUC.

- Utilizar esta información estadística para desarrollar mejores técnicas de diseño de estructuras de adobe. Se puede analizar la influencia en el comportamiento de las estructuras, de la distribución arquitectónica, material, mortero, espesor de la junta, punto más vulnerables, donde se puede requerir refuerzo extra, etc.

REFERENCIAS

1. COMISION CENTRAL DE EVALUACION, "Evaluación de Daños en Viviendas de Adobe en la Ciudad del Cuzco. Sismo del 5 de abril de 1986", Boletín No. 1, Facultad de Ingeniería Civil e Ingeniería Geológica, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco.
2. JOSE GRACES G., "Pérdidas como Consecuencia de Terremotos. Métodos para su Evaluación" Publicado por Seguros Caracas, Aptdo. 981, Venezuela.