

# DAÑOS PRODUCIDOS EN EDIFICACIONES POR EL TERREMOTO DE NASCA DEL 12 DE NOVIEMBRE DE 1996

Por: Daniel Quiun, Ángel San Bartolomé, Daniel Torrealva y Luis Zegarra  
Profesores de la Pontificia Universidad Católica del Perú

## RESUMEN

El martes 12 de Noviembre de 1996 a las 11:59 (hora local), un sismo de magnitud 6.6 en la escala de Richter afectó la zona sur del Perú, especialmente a los departamentos de Ica y Arequipa en la costa y parte de los departamentos de Ayacucho y Huancavelica en la sierra. El presente informe describe los daños observados en las edificaciones ubicadas en las ciudades de Ica, Palpa y Nasca.

El sismo afectó principalmente las ciudades de Nasca y Palpa, así como varios poblados de la sierra donde el daño fue masivo en viviendas de adobe. Los daños materiales se concentraron en las viviendas de adobe antiguas y nuevas, muchas de las cuales colapsaron. También se observaron daños en estructuras de concreto armado, especialmente colegios estatales de reciente construcción.

Hay algunas lecciones que deben ser aprendidas del daño causado por este terremoto, y mucha repetición de errores que han sido detectados en sismos anteriores. Considerando que la intensidad de este sismo fue moderada según la Norma Sísmica, han habido sin embargo muchos más daños de lo esperable, lo cual indica que es necesario que se implementen políticas de prevención y reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

## 1. INTRODUCCIÓN - INFORMACIÓN SISMOLÓGICA Y ANTECEDENTES.

El terremoto del martes 12 de Noviembre de 1996 se inició a las 11:59 (hora local), y su magnitud Richter fue de  $m_b=6.6$ ,  $M_s=7.3$  y  $M_w=7.7$ , dados por los centros internacionales, lo cual es similar al estimado inicial de  $m_b=6.4$  dado por el Instituto Geofísico del Perú (Ref. 1). Según la referencia 1, el terremoto fue multievento: el primer sismo se inició a las 16:69:37 GMT, mientras que el segundo, que fue más fuerte, ocurrió a las 17:00:10 GMT. En total, se tuvo una duración de 1 minuto con 58 segundos. El hipocentro se localizó en latitud 15.51 S, longitud 74.85 W y 32 km de profundidad; el epicentro se ubica a 135 km al SO de la ciudad de Nasca. La longitud de la fractura se ha estimado en 145 km, en base a las réplicas, y en una dirección casi paralela a la costa marina.

Las intensidades macrosísmicas máximas en grados MSK, evaluadas por el IGP para el evento del 12 de noviembre de 1996, varían desde 7-8 en la zona costera de San Juan, Lomas y estuario de Yauca, a un 6-7 en las zonas de mayor daño en Nazca y Acarí. Las intensidades de 7 en la ciudad de Nazca son puntuales en lugares con amplificación de suelos (Ref. 1).

La zona afectada el 12 de noviembre de 1996, ha sufrido de eventos sísmicos similares en el presente siglo (ver fig. 1). El Dr. Silgado menciona 2 sismos en particular: el del 24 de agosto de 1942 a las 17:51 horas y el del 15 de enero de 1960 a las 04:30 horas (Ref. 2). Sobre el terremoto de 1942 menciona intensidad IX MM, gran destrucción con desplome de viviendas, estimándose que el 30% de Nasca sufrió ruina total. Quedaron en escombros las poblaciones vecinas de Acarí y Jaqui, y con diversos daños Quincacha, Atiquipa, Palpa, Caravelí, Coracora, Huancapi, entre otros. En Ica, la pesada cúpula de la iglesia del Señor de Luren se desplomó. Sobre el terremoto de 1960, menciona que en Palpa se desplomaron 3 edificaciones y se agrietaron el 90 % de las construcciones; asimismo se formaron grietas en la carretera Panamericana, a la altura de la bajada de Palpa.

Del catálogo sísmico de CERESIS (Ref. 3), se ha obtenido las magnitudes, los epicentros y las profundidades de estos dos terremotos, los que se muestran en la tabla 1, junto a los del reciente evento, apreciándose similitud entre ellos.

TABLA 1.- Información sísmológica de sismos en la zona afectada

FECHA	Magnitud Ms	Epicentro	Profundidad	Intensidad máxima Escala MSK
1942.Ago.24	8.1	15° S , 76° W	60 km	9 en Jaqui, Acarí, Atiquipa, Nasca y Quicacha
1960.Ene.15	7.0	15° S , 75° W	150 km	7 en Nasca
1996.Nov.12	7.3	15.51° S, 74.85° W	32 km	7-8 en San Juan, Lomas

Según el Instituto Geofísico del Perú, hasta el día 20 de Noviembre, se habían registrado más de 900 réplicas, siendo la más fuerte de una magnitud de 4.2 grados en la escala de Richter. En la Tabla 2 se dan el número de las réplicas del sismo del 12 de Noviembre (Ref. 4).

TABLA 2  
Réplicas producidas hasta el 20 de Noviembre

NOVIEMBRE (día)	12	13	14	15	16	17	18	19	20
REPLICAS	79	241	108	168	96	67	66	49	29

## 2. INFORMACIÓN GENERAL DE LOS DAÑOS

Por lo expuesto, el terremoto del 12 de noviembre de 1996, no constituye un evento aislado, sino que existen antecedentes relativamente recientes de sismos que han producido daños similares a los observados en esta oportunidad. Se repitieron los daños materiales en las viviendas de adobe antiguas y nuevas, muchas de las cuales colapsaron; pero también se observaron daños en estructuras de concreto armado, especialmente colegios estatales de reciente construcción.

Según informes del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), de acuerdo a los datos de los Censos Nacionales de Población y de Vivienda efectuados en 1993, el adobe es el material utilizado mayoritariamente en las viviendas de la zona afectada estimándose que más del 75% de viviendas son de este material.

La información final de los daños y su distribución, recogida por el Instituto Nacional de Defensa Civil se condensa en la Tabla 3 (Ref. 5).

TABLA 3 .- Daños reportados a Defensa Civil por el terremoto del 12.Nov.1996

DEPARTAMENTO	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	CC.SS.	CC.EE.	OTROS
<b>Arequipa</b>					
Prov. Caravelí	1608	2366	3	11	8
Prov. Caylloma	119	276	0	0	0
<b>Ica</b>					
Prov. Ica	188	162	0	0	0
Prov. Palpa	591	1020	3	0	0
Prov. Pisco	19	32	2	6	3
Prov. Nasca	1637	6173	15	27	3
<b>Huancavelica</b>					
Prov. Huaytará	39	35	2	3	2
<b>Ayacucho</b>					
Prov. Parinacochas	35	0	0	45	7
Prov. Lucanas	885	2584	17	258	5
Prov. Huanca Sancos	12	7		12	
Prov. Paucar Sara Sara				10	1
<b>TOTAL</b>	<b>5133</b>	<b>12655</b>	<b>42</b>	<b>372</b>	<b>29</b>

### 3. DAÑOS EN VIVIENDAS DE ADOBE.

La mayoría del daño provocado por el sismo se ha producido en viviendas tradicionales de adobe, las cuales, como es sabido, son particularmente vulnerables a los movimientos telúricos. Las causas principales de esta vulnerabilidad son la gran masa, la poca resistencia del material a la tracción, la falta de refuerzos, la ausencia de elementos de conexión y la pobre calidad de la construcción.

El adobe que se usa en la zona afectada por el sismo, tiene como característica el no incluir paja en su composición y tener un alto contenido de arena, tanto en el adobe mismo como en el mortero. Esto trae como consecuencia que la adherencia entre las unidades y el mortero, sea por lo general muy pobre.

Las viviendas de adobe son de un piso, tanto en la zona urbana como en las zonas rurales. Se puede diferenciar dos tipos de viviendas de adobe. Las viviendas de cierta antigüedad (alrededor de 50 años) construidas en el centro de las ciudades tienen muros de aproximadamente 50 cm de espesor y alturas comprendidas entre 3.5 y 4.5 metros. Por otro lado, las viviendas de adobe construidas recientemente sobre todo en los asentamientos humanos, tienen muros de 20 cm de espesor con alturas de 2.6 a 3.0 metros; la calidad de construcción de estas últimas es inferior a las antiguas, notándose que las unidades se despegan fácilmente del mortero.

Otra diferencia entre estas viviendas es el tipo de cimiento, mientras que muchas de las antiguas poseen cimiento y sobrecimiento alto de ladrillo de arcilla cocida, las viviendas nuevas no poseen sobrecimiento o éste es precario.

Un defecto constructivo observado es que generalmente los muros ortogonales carecían de conexiones dentadas entre sí.

Los daños observados son típicos de este sistema constructivo: 1) fisuración y separación de los muros por grietas verticales en las esquinas, seguida por el volcamiento del muro (por acciones sísmicas perpendiculares a su plano) y la posterior caída del techo; 2) grietas verticales en la parte central de los muros empezando en la parte superior y extendiéndose hacia abajo, por la falta de un elemento de arriostre horizontal (solera); 3) grietas horizontales en la interfase entre el cimiento o sobrecimiento de ladrillo y el muro de adobe; 4) grietas diagonales en los muros por corte en su plano y 5) daños en elementos no estructurales. Las figuras 2, 3 y 4 muestran ejemplos de los daños.

El desprendimiento del tarrajeo, cuando éste existe, es una falla generalizada, aunque no compromete la integridad de los muros.

Se apreció una falla general de cercos de adobe, en su mayoría nuevos, con alturas de 2.5 m y espesores de 20 cm, sin arriostres verticales (mochetas). También se desplomaron una gran cantidad de parapetos, tanto de adobe como de albañilería de ladrillo, ubicados en la azotea de las viviendas por carecer de elementos de arriostre para solicitaciones perpendiculares a su plano.

#### 4.- DAÑOS EN EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA.

En las construcciones de albañilería no reforzadas de un piso y en las de albañilería confinada de hasta tres pisos, no se observaron daños estructurales importantes, en cambio, los tabiques de albañilería, parapetos de azoteas, y similares, mostraron cuantiosos daños.

Los daños observados en edificaciones de concreto armado se circunscriben principalmente a construcciones escolares de 2 y 3 pisos, donde fundamentalmente se presentaron los problemas de "columnas cortas". Adicionalmente, varios de los edificios estructurados en base a pórticos ubicados en las ciudades visitadas mostraron daños reparables en su estructura así como en las escaleras, las cuales trabajaron aportando rigidez y resistencia al conjunto. En algunos casos se produjo la rotura de los tabiques (fig. 11) y vidrios poniendo en riesgo la integridad física de las personas.

Los problemas de columnas cortas en locales escolares se han dado en el Perú en los sismos del 17 de octubre de 1966, 31 de mayo de 1970, 3 de octubre de 1974 y 16 de febrero de 1979 (ref. 6, 7, 8 y 9 respectivamente). También se conoce este problema desde hace años en otros países (ref. 10).

El problema de las columnas cortas se presenta cuando se utilizan ventanas altas, empleando alféizares de albañilería, que acortan la altura libre de las columnas adyacentes, aumentando su rigidez lateral en forma considerable, sin tener un aumento de resistencia similar. Al producirse el sismo, las losas de los techos se desplazan horizontalmente, arrastrando al extremo superior de las columnas, éstas por su flexibilidad chocan contra el alféizar de albañilería (mucho más rígido que la columna) generándose una gran distorsión angular, lo que produce su falla por fuerza cortante, falla que es de naturaleza frágil y peligrosa. Posteriormente, la rigidez de estas columnas disminuye considerablemente, lo que da lugar a problemas P- $\delta$  (carga gravitacional excéntrica que provoca momentos flectores que incrementan adicionalmente la deformación lateral). Finalmente, estalla el concreto del núcleo y el refuerzo vertical termina pandeándose.

Los colegios antiguos, cuya construcción data de hace 40 años aproximadamente, como el Fermín Tangüis en la ciudad de Palpa, y el Josefina Mejía de Bocanegra en la ciudad de Nasca, muestran fallas típicas en su estructura por el efecto de columnas cortas. En la época en que se diseñaron y construyeron estos colegios no se acostumbraba aislar los alféizares de las columnas.

En uno de los pabellones de dos pisos del colegio Fermín Tangüis de Palpa, en la zona de ventanas altas, existían muros de albañilería que iban de piso a techo en ambos lados de las columnas, los cuales incrementaron el área de corte y limitaron el desplazamiento del techo, con lo cual no se produjo el problema de columnas cortas (ver fig. 5).

En los colegios de construcción reciente (alrededor de 1 año), como el Fermín del Castillo (fig. 6) y el José C. Mariátegui ambos en Vista Alegre, y el Daniel A. Carrión, todos de la ciudad de Nasca, pudo notarse que el diseño contemplaba la inclusión de juntas sísmicas verticales, que trataron de aislar las columnas estructurales de concreto armado de los alféizares de albañilería. Sin embargo, pudo notarse que estas juntas tuvieron dimensiones insuficientes y otras veces fueron mal construidas, por lo que no se pudo evitar la formación de las columnas cortas.

Es importante resaltar que en uno de los pabellones de dos pisos del colegio Fermín del Castillo, las columnas cortas carecían de estribos lo cual aceleró su falla, poniendo en riesgo de colapso total a ese pabellón (fig. 7).

Se observaron también daños por fisuración generalizada de los tabiques (fig. 8) y las columnas de arriostre, caída de parapetos no arriostrados, y rotura de vidrios. En algunos colegios se observó fisuración en las losas de los pisos y techos.

Es interesante comentar que los colegios Fermín del Castillo y José C. Mariátegui se ubican en la zona más alta del distrito de Vista Alegre y podrían haber sufrido amplificaciones de las ondas sísmicas. El primero tuvo más daños que el segundo a pesar de que las estructuras de los pabellones son similares. Esto podría deberse a que el colegio Fermín del Castillo está ubicado al borde de la ladera de un cerro (donde además la vereda de ingreso sufrió una grieta por asentamiento del suelo), mientras que el José C. Mariátegui se ubica en una topografía más plana. Aparte de los defectos constructivos mencionados, se observó que algunas columnas de sección rectangular tenían su mayor dimensión en diferentes direcciones, lo cual podría ser causa de diferente comportamiento.

En el colegio Daniel A. Carrión, ubicado en la parte baja de la ciudad, uno de los pabellones de dos pisos carecía de vigas peraltadas en una de las direcciones, lo que indujo a grandes desplazamientos laterales y abundantes daños en columnas cortas y en elementos no estructurales.

Las causas por las que locales escolares recientemente construidos, diseñados de acuerdo a las normas vigentes sismo-resistentes tuvieron daños importantes, debe ser motivo de un estudio detallado, porque se vuelve a repetir el fenómeno de las columnas cortas que se detectó también en los locales construidos hace 40 años.

## 5.- OTRAS CONSTRUCCIONES.

En la ciudad de Ica se observaron daños en las iglesias, en el caso de la Catedral ubicada en la Plaza de Armas, se produjo la caída de la estatua central y la fisuración del campanario (fig. 9).

En la iglesia del Señor de Luren de Ica, se cayeron unos frisos, y se fisuró una de las torres; en el interior se observaron grietas. En los portales ubicados frente a la iglesia de Luren, se observaron fisuras en la base, quedando en situación inestable (fig. 13).

En el estadio Picasso Perata de la ciudad de Ica, una extensión de unos 20 metros del cerco de albañilería se desplomó (fig. 10). Este antiguo cerco tiene columnas de arriostre de concreto reforzado pobremente con fierro liso unidos con un pin a una espiga, anclada en el cimiento corrido.

El estadio municipal de Nasca sufrió la caída total del techo de la única tribuna en volado (fig. 12), que provocó severos daños por impacto en las graderías; la falla se debió a un anclaje insuficiente de la armadura longitudinal de las columnas en volado. Asimismo, se produjeron diversas fisuras de consideración en las columnas y vigas en la zona de la escalera, la cual actuó como un puntal apoyado en el terreno.

El reservorio elevado de la ciudad de Palpa, de 250 m<sup>3</sup> de capacidad, sufrió algunas fisuras en su cuba, por las cuales filtraba el agua. En el reservorio apoyado de Vista Alegre en Nasca de 200 m<sup>3</sup> de capacidad, al tener planta rectangular con reducciones en la altura, se produjeron fisuras en sus paredes, especialmente en la unión entre las partes. El reservorio elevado de Bisambra en Nasca de 450 m<sup>3</sup> de capacidad, sufrió fisuras en sus columnas y vigas; el daño en las columnas se acentuó en la unión con la cuba, mientras que en las vigas, al ser curvas en planta, sufrieron una combinación de cortante y torsión, fracturándose en la unión con las columnas (fig. 14).

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Hay algunas lecciones que deben ser aprendidas del daño causado por este terremoto, y mucha repetición de errores ya descubiertos en sismos anteriores. Considerando que la intensidad de este sismo es moderada según la Norma Sísmica, existe sin embargo, una gran cantidad de estructuras aporticadas de concreto armado de dos a tres pisos que han sufrido daños importantes, especialmente locales escolares, repitiéndose los daños por efectos de columnas cortas en edificios de concreto armado, a pesar de que este fenómeno es conocido por las enseñanzas de sismos pasados, en el Perú y otros países sísmicos.

Debiendo ser los colegios, de acuerdo a nuestra norma sísmica, edificaciones especialmente importantes, cuyos servicios no deben ser interrumpidos cuando ocurre un sismo y por la repetición continua de daños en locales escolares diseñados cumpliendo las exigencias de la norma sísmica; es necesario revisar y reacondicionar a nivel nacional, todos los colegios existentes y mejorar los diseños arquitectónicos y estructurales de los nuevos colegios para reducir la vulnerabilidad que presentan. Una forma de evitar la aparición del problema de las columnas cortas y reducir el daño en elementos no estructurales, es la inclusión de elementos rígidos de concreto armado que limiten los desplazamientos laterales e incrementen su resistencia a fuerzas laterales.

En las construcciones aporticadas, los parapetos de albañilería deberán ser convenientemente arriostrados para garantizar su estabilidad ante acciones sísmicas perpendiculares a su plano.

Se repiten los daños masivos en viviendas de adobe antiguas y nuevas debido a su gran vulnerabilidad sísmica, producto de su masa importante, la falta de refuerzos y una calidad de construcción que cada vez se va desmejorando. Pese a la gran cantidad de viviendas de adobe dañadas o destruidas, el número de víctimas ha sido relativamente bajo, lo cual se podría atribuir a que la mayoría de estas viviendas son de un piso, con techo ligero y además, a que el sismo tuvo una intensidad moderada.

Como alternativa de solución para las construcciones de adobe, se plantea reutilizar los adobes no fisurados, humedeciéndolos previamente, asentándolos esta vez con un mortero mejorado con cemento y confinando los muros con elementos de concreto armado o malla electrosoldada cubierta con mortero de cemento (Ref. 11). En cualquier caso, la vivienda deberá mantenerse de un piso y con un techo del tipo liviano, pudiendo volverse a utilizar las vigas de los techos, (bambú o troncos) pero amarrándolas convenientemente a las vigas collar.

Los parapetos y cornisas en las viviendas de adobe son elementos peligrosos por su precaria unión a la estructura de los muros, por lo cual se recomienda su eliminación dado que un adecuado reforzamiento es impracticable.

Es muy grave que el Instituto Geofísico del Perú no tenga registros de aceleraciones que permitan establecer las características del movimiento del suelo (aceleraciones máximas, tipo de frecuencias predominantes, etc.) para estudios de ingeniería sísmo-resistente. Se propone que se estudien mecanismos para que al menos en cada local donde exista un Consejo Departamental del Colegio de Ingenieros del Perú se cuente con un acelerógrafo de movimientos fuertes.

#### 7.- AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por la agencia de cooperación alemana GTZ y CERESIS para el viaje de reconocimiento y al Laboratorio de Estructuras de la PUCP, que colaboró en la prestación de equipos, movilidad y apoyo logístico para la visita.

#### 8.- REFERENCIAS.

- 1) Instituto Geofísico del Perú, Página en Internet "Conclusiones y Recomendaciones del Taller de Trabajo "Sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996" del 6-7 Marzo, 1997."
- 2) A. Giesecke, E. Silgado "Terremotos en el Perú", Ediciones Rikchay Perú, 1981.
- 3) CERESIS, Catálogo de Terremotos para América del Sur, Datos de Hypocentros e Intensidades, Volumen 7, Perú, 1985.
- 4) Diario EL COMERCIO de Lima, ediciones de Noviembre y Diciembre de 1996 .
- 5) M. Casaverde, comunicación personal, 1997.
- 6) L. Esteva y J.A. Nieto, "El temblor de Lima, Perú, octubre 17, 1966" Revista Ingeniería, México, Enero 1967.
- 7) G. Berg y R. Husid "Aspectos Ingenieriles del Terremoto del 31 de mayo de 1970- Perú" Informe Preliminar para UNESCO, Lima, Julio 1970.
- 8) P. Repetto y L. Zegarra "Evaluación de Edificaciones Dañadas en Lima Metropolitana en el sismo de Octubre de 1974", Publicación DI-80-03, Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Diciembre 1980.
- 9) J. Bariola y A. San Bartolomé "El sismo del 16 de febrero de 1979 en Arequipa", Anales del III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Cuzco, 1980.
- 10) The Tokachi-Oki Earthquake, Japan, May 16, 1968. A Preliminary Report on Damage to Structures. N. Nielsen, K. Nakagawa. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, June 1968.
- 11) Estabilización de Construcciones de Adobe. L. Zegarra, D. Quiun, A. San Bartolomé. Revista ½ de Construcción No. 110, Enero 1996.

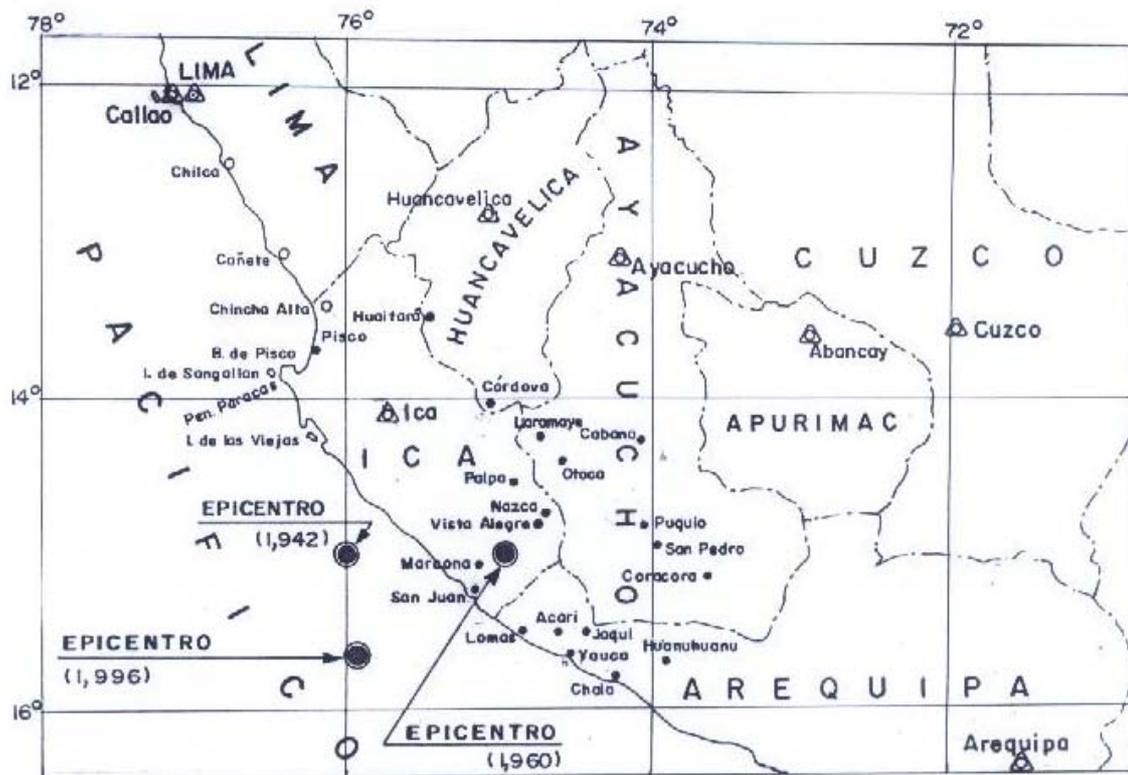


Fig.1 Mapa de Poblaciones afectadas por el Sismo de 1,996 y Ubicación de Epicentros.



Fig.2. Colapso de Viviendas Antiguas de Adobe Ubicadas en Jr. Lima, Nasca.



Fig.3. Vivienda de Adobe en Jr. Bolognesi, Nasca.



Fig.4. Desplome de Parapeto en Ica.



Fig.5. Colegio Fermín Tangüis, Palpa. Pabellón sin Daños.



Fig.6. Colegio Fermín del Castillo, Vista Alegre, Nasca. Daños en el Segundo Piso.



Fig.7. Colegio Fermín del Castillo, Vista Alegre, Nasca. Columna Corta Sin Estribos.



Fig.8. Colegio Fermín del Castillo, Vista Alegre, Nasca. Fallas en Alféizar de Ventana Alta.



Fig.9. Catedral de Ica. Caída de Estatua y Fisura en la Torre.



Fig.10. Cerco del Estadio Picasso Perata, Ica. Refuerzo Inadecuado.



Fig.11. Municipalidad de Nasca. Fallas en la Tabiquería de Albañilería.



Fig.12. Estadio Municipal de Nasca. Colapso del Techo de la Tribuna.



Fig.13. Portales Frente a la Iglesia de Luren, Ica. Falla en la Base, Sistema Inestable.



Fig.14. Tanque Elevado en Nasca. Reparación de Nudos Dañados.