

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN



**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
SÍSMICA DE LOS PABELLONES 1 Y 2 DE LA I.E.
ESTATAL RAMÓN CASTILLA Y MARQUESADO DEL
DISTRITO DE JAÉN - CAJAMARCA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

BACHILLER: MARÍN MARÍN FREDY ROLANDO

ASESOR: Ing. NARRO MARTOS WILDER MAX

Jaén - Cajamarca - Perú

2014

**COPYRIGHT © 2014 by
FREDY ROLANDO MARÍN MARÍN
Todos los derechos reservados**

DEDICATORIA

A DIOS

Gracias a Dios por haberme regalado la vida y permitirme ser parte de una familia sólida y unida.

A MIS PADRES

Fredy Rolando Marín Villanueva y Gloria Mercedes Marín Saldaña, por ser quienes sabiamente me supieron guiar en la vida, siendo parte de mis planes, éxitos, alegrías y tristezas.

A MIS HERMANOS

Miguel Ángel Marín Marín y María Paula de Fátima Marín Marín, por apoyarme en todo lo que estuvo a su alcance, y por el ímpetu de seguir luchando en el arduo camino de la vida.

A MI ABUELITO

Víctor Rolando Marín Herrera, por ser un ejemplo de lucha y perseverancia, además de darme todo su apoyo, comprensión, cariño y sabios consejos.

A MIS TÍOS Y TÍAS

A todos mis tíos y tías, por su apoyo sin condición siempre que los necesite.

AGRADECIMIENTO

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Por su invaluable aporte a la educación e investigación en la región Cajamarca, a través de su prestigiosa plana docente.

A LA PLANA DOCENTE DE LA UNC - SEDE JAÉN

Ya que durante el tiempo que pase en la Universidad me brindaron sus conocimientos en base a su experiencia, lo cual ha sido de vital importancia para el desarrollo de esta tesis.

A MI ASESOR

Ing. Wilder Max Narro Martos por el constante apoyo y colaboración en el desarrollo de esta tesis.

CONTENIDO

Título	Págs.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIACIONES	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
II. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales	5
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Conceptos básicos de sismología	7
2.2.2. Magnitud e intensidad de los terremotos	9
2.2.3. Efectos de los sismos en las edificaciones	12
2.2.4. Conceptos previos a la vulnerabilidad sísmica	12
2.2.5. Geodinámica del Perú	13

Título	Págs.
2.2.6. Zonificación sísmica del Perú	14
2.2.7. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones	14
2.2.8. Evolución de la norma de diseño sismorresistente en el Perú desde 1970 a 1997	17
2.2.9. Sismicidad en Jaén - Cajamarca	19
2.3. Definición de términos básicos	20
III. CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. Ubicación geográfica	23
3.2. Ubicación temporal	26
3.3. Material	26
3.3.1. Población	26
3.3.2. Muestra	27
3.3.3. Unidad de análisis	27
3.4. Método	28
3.4.1. Materiales y/o equipos	28
3.4.2. Diseño metodológico	29
3.4.3. Diseño de investigación	29
IV. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
4.1. Análisis	46
4.1.1. Organización del sistema resistente	46

Título	Págs.
4.1.2. Calidad del sistema resistente	48
4.1.3. Resistencia convencional	49
4.1.4. Posición del edificio y cimentación	51
4.1.5. Diafragma horizontal (entrepisos)	52
4.1.6. Configuración en planta	53
4.1.7. Configuración en elevación	55
4.1.8. Separación máxima entre líneas resistentes	57
4.1.9. Tipo de cubierta	58
4.1.10. Elementos no estructurales	60
4.1.11. Estado de conservación	61
4.2. Discusión	66
4.3. Propuesta	67
V. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Título	Págs.
Tabla 1. Diferencias entre el coeficiente de reducción R y el factor de ductilidad Rd	18
Tabla 2. Diferencias de los desplazamientos laterales de entrepiso entre la E.030-97 y la N-77	19
Tabla 3. Diseño metodológico de la investigación	29
Tabla 4. Comparación del método italiano con lo exigido con la Norma Peruana de Estructuras	30
Tabla 5. Puntaje de clases y pesos utilizados para estructuras de hormigón armado	31
Tabla 6. Índice de vulnerabilidad de un edificio de hormigón armado	32
Tabla 7. Clases asignadas según tipología y número de niveles	35
Tabla 8. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso	37
Tabla 9. Factores de zona (Z)	38
Tabla 10. Factores de importancia (U)	38
Tabla 11. Parámetros del suelo	39
Tabla 12. Sistemas estructurales	39
Tabla 13. Coeficiente sísmico C_1	43
Tabla 14. Valores del coeficiente de momentos “m” y dimensión crítica “a”	44
Tabla 15. Momento de inercia y módulo de sección de las columnas de los pabellones 1 y 2	50
Tabla 16. Desplazamientos laterales y desplazamientos relativos de entrepiso de los pabellones 1 y 2	54

Título	Págs.
Tabla 17. Rigidez de la columna total y la columna corta N° 1	55
Tabla 18. Rigidez de la columna total y la columna corta N° 2	55
Tabla 19. (a) (b) Metrado de cargas por nivel de los pabellones 1 y 2	56
Tabla 20. Estabilidad de tabiques de los pabellones 1 y 2	60
Tabla 21. Índice de vulnerabilidad sísmica del pabellón 1	64
Tabla 22. Índice de vulnerabilidad sísmica del pabellón 2	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Págs.
Figura 1. Relación geométrica entre foco y sitio	9
Figura 2. Efecto de las fuerzas laterales en las edificaciones	12
Figura 3. Zonas de amenaza sísmica en Perú	14
Figura 4. Mapa sísmico de la región Cajamarca	20
Figura 5. Ubicación geográfica de la región Cajamarca	24
Figura 6. Ubicación geográfica de la provincia de Jaén	24
Figura 7. Ubicación geográfica del distrito de Jaén	25
Figura 8. Plano de localización de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado	25
Figura 9. Plano de ubicación de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado	26
Figura 10. Arquitectura existente de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado	27
Figura 11. Ensayo no destructivo con esclerómetro en columnas del pabellón 2	28
Figura 12. Esquema de columna típica	34
Figura 13. Irregularidad en planta	36
Figura 14. Definición de espectro de amplificación del suelo	40
Figura 15. Esquema de alturas de la columna total y columna corta	41
Figura 16. Exposición del refuerzo de la columna en el pabellón 1	46
Figura 17. Exposición del refuerzo de la viga chata en el pabellón 1	46

Título	Págs.
Figura 18. Líneas resistentes verticales del pabellón 2 en buen estado de conservación	47
Figura 19. Viga cumbreira y columna del pabellón 2 en buen estado de conservación	47
Figura 20. Configuración en planta de los elementos resistentes del pabellón 1	47
Figura 21. Configuración en planta de los elementos resistentes del pabellón 2	48
Figura 22. Pabellón 1. Mampostería de ladrillo de mala calidad y sin buen ligamento	48
Figura 23. Pabellón 1. Mampostería de ladrillo de mala calidad susceptible al agrietamiento	48
Figura 24. Pabellón 2. Mampostería de ladrillo de buena calidad y con buen ligamento	49
Figura 25. Pabellón 2. Mampostería de ladrillo homogénea y de tamaño constante	49
Figura 26. Pabellón 1. Edificio cimentado sobre terreno con pendiente menor al 10%	51
Figura 27. Pabellón 2. Edificio cimentado sobre terreno con pendiente plana	51
Figura 28. Pabellón 1. Diafragma rígido correctamente conectado a los elementos resistentes	52
Figura 29. Pabellón 2. Diafragma rígido correctamente conectado a los elementos resistentes	52
Figura 30. (a) (b) Configuración en planta de los pabellones 1 y 2	53
Figura 31. (a) (b) Modelo de la estructura de los pabellones 1 y 2 en el software Etabs 2013	54

Título	Págs.
Figura 32. Longitudes de evaluación de la rigidez	55
Figura 33. (a) (b) Elementos estructurales verticales alineados de los pabellones 1 y 2	57
Figura 34. Pabellón 1. Separación máxima entre los apoyos laterales de la viga	57
Figura 35. Pabellón 2. Separación máxima entre los apoyos laterales de la viga	58
Figura 36. (a) (b) Cubierta del pabellón 1 en regular estado de conservación	58
Figura 37. Desprendimiento de capa de yeso en la cubierta del pabellón 2	59
Figura 38. Cubierta de eternit del pabellón 2 en regular estado de conservación	59
Figura 39. (a) (b) Estructura metálica de la cubierta mal conectada al sistema resistente	59
Figura 40. (a) (b) Cubierta del pabellón 2 correctamente conectada al sistema resistente	60
Figura 41. Existencia de un plan de mantenimiento de la infraestructura Educativa	61
Figura 42. Estado actual de la infraestructura Educativa	61
Figura 43. Periodo de mantenimiento de la infraestructura Educativa	62
Figura 44. Seguridad de la infraestructura Educativa en caso de sismo	62
Figura 45. Pabellón 1. Fisura en losa de techo del primer nivel	62
Figura 46. Pabellón 1. Fisura en unión tabique columna	62

Título	Págs.
Figura 47. Pabellón 1. Picado de viga y columna para colocar tubos de instalaciones eléctricas	63
Figura 48. Pabellón 2. Cubierta del pabellón 2 en mal estado de conservación	63
Figura 49. Pabellón 2. Inadecuada junta de construcción entre tabique y columna	63
Figura 50. Pabellón 2. Fisura en losa de techo del primer nivel	63
Figura 51. Reforzamiento del pabellón 2 con muros y vigas de concreto armado	69
Figura 52. Reforzamiento del pabellón 2 incorporando columnas T y L	70
Figura 53. Reforzamiento del pabellón 1 incorporando columnas T y L	71
Figura 54. Pabellón 1. Sistema estructural aporticado	90
Figura 55. Pabellón 1. Momento de inercia en la losa respecto al eje centroidal	91
Figura 56. Pabellón 6. Sistema estructural aporticado	99

LISTA DE ABREVIACIONES

CFRP	: Reforzamiento con Polímero de Fibra de Carbono
CIP	: Colegio de Ingenieros del Perú
CMRRD	: Comisión Multisectorial de Reducción de Riesgos en el Desarrollo
FDM	: Factor de Daño Medio
GNDT	: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil
MINEDU	: Ministerio de Educación
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
PNUD	: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UNDRO	: Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastres

RESUMEN

La Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad y sobre un suelo de baja resistencia, sus pabellones son en su mayoría antiguos y deteriorados. Es por ello que se planteó el objetivo de determinar la vulnerabilidad sísmica de dichos pabellones, con el fin de plantear medidas que permitan mejorar su comportamiento estructural, mitigando los daños que se podrían producir después de un sismo severo. Para ello se aplicó el modelo italiano de Benedetti y Petrini, el cual estima un índice de vulnerabilidad en función de las características de la estructura que más influyen en su comportamiento sísmico. La información recogida en la fase de campo permitió evaluar y ponderar los diferentes parámetros relacionados con componentes, estructurales y no estructurales, que tienen un papel muy importante en el comportamiento sísmico de cada pabellón. Los resultados obtenidos nos muestran que el pabellón 1 tiene vulnerabilidad sísmica alta, mientras que el pabellón 2 tiene vulnerabilidad sísmica media, por lo que ante un sismo severo los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado sufrirán fallas de columna corta, sus tabiques colapsarán y todo esto llevará al posible colapso de ambos pabellones, efecto que podría suceder en todos los pabellones de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado debido a la similitud de los sistemas estructurales.

Palabras claves: Vulnerabilidad sísmica, comportamiento estructural, sismo severo, índice de vulnerabilidad, características de la estructura.

ABSTRACT

The State Educational Institution Ramón Castilla y Marquesado district Jaén, Jaén province, Cajamarca department, is located in a zone of high seismicity and soils with low resistance, their flags are mostly old and dilapidated. Thus it is necessary to determine the seismic vulnerability of such flags, in order to propose measures to improve its structural behavior, mitigating the damage that might occur after a severe earthquake. This Benedetti and Petrini Italian model, which estimates a vulnerability index based on the structure characteristics that most influence their seismic behavior, is applied. The information collected during the field phase allowed to assess and weigh the various parameters related to components, structural and nonstructural, which play an important role in the seismic behavior of each pavilion. The results show Hall 1 has high seismic vulnerability, while Hall 2 seismic vulnerability is average, so a severe earthquake at Halls 1 and 2 of the State Education Institution Ramón Castilla y Marquesado suffer failures column short, its walls collapse and all this will lead to possible collapse of two pavilions, an effect that could happen in all wards of the State Education Institution Ramón Castilla y Marquesado because of the similarity of the structural systems.

Keywords: Seismic vulnerability, structural behavior, severe earthquake, vulnerability index, structure characteristics.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Ante la alta sismicidad del país se han generado normativas que intentan evitar daños severos en las edificaciones y pérdida de vidas humanas. En 1970, se publicó uno de los primeros Reglamentos Nacionales de Construcción pero solo hasta 1977 se difunde las normas de diseño sismorresistente, donde se muestra por primera vez, un mapa de zonificación sísmica del Perú, mapa que ha servido de base para el actual RNE - E.030.

Pero a pesar de la actualización de las normativas todavía se incurre en errores de diseño, construcción, entre otros; que aumentan la vulnerabilidad de las edificaciones, debido a que no se aplica adecuadamente la normativa y más aún en edificaciones de gran afluencia como colegios, poniendo en peligro la vida de muchas personas.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica se empleó el método del Índice de Vulnerabilidad propuesto por Benedetti y Petrini, relacionándolo con el Reglamento Nacional de Edificaciones, esta metodología nos presenta once parámetros que más influyen en el comportamiento sísmico para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los pabellones.

Algunas de las razones que se tuvieron en cuenta para la elección de esta metodología fueron: Está fundamentado en datos reales que provienen del análisis y evaluación de daños por terremotos, se puede aplicar en estudios a nivel urbano y rural, se tiene experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Europa y América con buenos resultados, además de ser completamente adaptable con el Reglamento Nacional de Edificaciones.

En tal sentido la investigación está referida a la determinación de ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén - Cajamarca?

Se planteó como hipótesis que la vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén - Cajamarca es de nivel medio, debido a sus inadecuadas características geométricas, constructivas y estructurales.

La investigación se justifica en la necesidad de determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén - Cajamarca, ya que su infraestructura actualmente presenta fallas y tiene una antigüedad de más de 15 años. Lo cual permitirá plantear propuestas de acción, buscando su mejoramiento funcional y alargando su vida útil, en beneficio de los escolares y del personal que allí labora.

La investigación se llevó a cabo en la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado ubicada en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca; durante los meses de agosto a noviembre del año 2014.

Según el RNE - E.030, la región Cajamarca se encuentra en la zona sísmica 03 (zona de alta sismicidad), en tal sentido se planteó como objetivo general de la presente investigación, determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén - Cajamarca. Planteando para ello el siguiente objetivo específico: Evaluar las características geométricas, constructivas y estructurales que más influyen en el comportamiento sísmico de los pabellones en estudio.

Otro de los objetivos específicos del presente trabajo de investigación, fue proponer medidas que mejoren el comportamiento estructural de los pabellones 1 y 2 de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado de distrito de Jaén - Cajamarca.

Esta tesis consta de 5 capítulos. Capítulo I, Introducción: El presente capítulo es introductorio y en él se hace una descripción del problema de investigación, objetivos, hipótesis, la metodología de trabajo y los alcances. Capítulo II, Marco Teórico: se describe algunas investigaciones que existen sobre el tema, con sus resultados o conclusiones más importantes; en subcapítulos se da a conocer las bases teóricas, además de hacer una definición de los términos básicos que han sido motivo de

evaluación o medición en el desarrollo de esta tesis. En el Capítulo III, Materiales y Métodos: se detalla paso a paso los materiales, métodos y técnicas que se han utilizado en la investigación, para que otros investigadores posteriormente puedan repetir el proceso. En el Capítulo IV, Análisis y Discusión de Resultados: se analiza, explica y discute los resultados, siguiendo la secuencia de los objetivos planteados, en este capítulo también se plantean propuestas para mejorar el comportamiento estructural de ambos pabellones. Por último en el Capítulo V, Conclusiones y Recomendaciones: para cada objetivo se establecen las conclusiones más pertinentes, derivadas de los resultados; haciendo las recomendaciones necesarias, tratando de ampliar los conocimientos en el tema de investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Internacionales

- Estudios realizados en Colombia, por Bustamante et al. (2007) para determinar la vulnerabilidad sísmica en las instituciones educativas de la zona rural norte del municipio de Sincelejo, llegaron a las siguientes conclusiones: Las edificaciones de las escuelas son de baja complejidad en su forma debido a que los presupuestos que se manejan en construcción de escuelas rurales son mínimos. Las escuelas presentan una vulnerabilidad por origen debido a que la mayoría de las edificaciones se construyeron con técnicas que no consideraban la norma sismo resistente para su estructuración.
- Se desarrolló un estudio de investigación a cargo de Maldonado et al. (2007) el cual presenta un modelo rápido y sencillo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería a escala regional. Se concluyó que el modelo propuesto muestra sencillez y viabilidad en su aplicación, por lo cual es ideal su uso en estudios a gran escala. Otra conclusión a la que llegaron los expertos fue que los parámetros más relevantes para determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones son: el sistema estructural, la calidad del sistema resistente, la posición de la cimentación, el tipo de suelo y pendiente del terreno, el tipo de diafragma horizontal, la configuración en planta y elevación, la distancia máxima entre muros, el tipo de cubierta y el estado de conservación de la edificación.

- Cadena (2013) realizó una investigación sobre: vulnerabilidad y reforzamiento sísmico de estructuras antiguas de mampostería no confinada. Llegando a obtener las siguientes conclusiones: Tanto la metodología para el reforzamiento de la estructura en hormigón armado, como la metodología presentada para el reforzamiento con CFRP, han arrojado resultados positivos en el marco de la manejabilidad del proyecto de reforzamiento en términos económicos y factibilidad de reducir al máximo las posibles afectaciones que se pueda tener en la estructura original después de aplicar el reforzamiento. Además, el diagnóstico de la estructura sin reforzamiento arroja resultados negativos, ya que muestra alta vulnerabilidad de la estructura ante posibles sismos de gran magnitud.
- Alwayay (2013) desarrolló un estudio sobre: evaluación de la vulnerabilidad sísmica del casco urbano de la ciudad de Valdivia, obteniendo como resultado que la vulnerabilidad de las estructuras de hormigón armado y de albañilería confinada de la ciudad es moderada. Dichas estructuras en general poseen una buena configuración estructural y características geométricas. Como resultado del estudio se concluye que en las tipologías estructurales evaluadas, la vulnerabilidad ronda en valores medios de 0,44 para estructuras de hormigón armado y 0,55 para albañilería confinada cuyos valores no se consideran elevados.

2.1.2. Nacionales

- Vizconde (2004) evaluó la vulnerabilidad sísmica de la clínica San Miguel en Piura, llegando a las siguientes conclusiones: El Diseño Sísmico de la Clínica San Miguel no es satisfactorio, pues no cumple con los objetivos de un nivel de Ocupación Inmediata, requerido para este tipo de edificaciones. La mayoría de los muros o tabiques de albañilería no reforzada, al no haber sido diseñados para soportar cargas de sismo, fallan por corte para un sismo máximo esperado. El edificio en su conjunto tiene una buena resistencia al sismo, debido a la falla solo de algunas vigas y muros de albañilería, pero estos al fisurarse y agrietarse podrían perder su capacidad de corte y no trabajar, dejando las cargas a ser soportadas por los elementos de los pórticos (columnas y vigas). Por tanto no es seguro para un nivel de Ocupación Inmediata.

- Astorga y Aguilar (2006) en su investigación referente a: evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas, llegaron a las siguientes conclusiones: Existen alrededor de 41 000 centros educativos en el país construidos en diferentes épocas, con diferente arquitectura, material y sistema estructural. El 48% de los edificios estructurales son construidos de tierra y solo el 37% son de concreto armado y albañilería, las construcciones de madera representan el 8%. Las edificaciones educativas de concreto - albañilería construidas según la norma de diseño sismorresistente de 1997 representan solo el 2% del total de edificios educativos existentes, los resultados indican que estos edificios serían los únicos que podrían ser reparados luego de un evento sísmico severo. Además, se dedujo de los resultados que para un sismo frecuente, 50 años de periodo de retorno, el FDM en los edificios de adobe sería el 45%, en los edificios de concreto - albañilería anteriores a 1997 alrededor de 20% y en los edificios recientes de concreto - albañilería de solo 5%. Para un sismo raro, periodo de retorno de 500 años, los resultados muestran que el FDM para los edificios de adobe sería el 95%, alrededor de 65% para los de concreto - albañilería anteriores a 1997 y de 38% para los edificios de concreto - albañilería posteriores a 1997.

- Mosqueira (2012) en su estudio sobre riesgo sísmico en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNC llegó a las siguientes conclusiones: La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, tiene vulnerabilidad sísmica alta, a causa de su comportamiento sísmico inadecuado. Los desplazamientos laterales que se producirán en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería ante un sismo severo son mayores a la junta sísmica existente. Las vigas y columnas tienen un comportamiento aceptable ante cargas muertas y vivas (cargas de servicio), pero inadecuado ante cargas sísmicas, pudiendo llevarlas al colapso. La falla típica que podría producirse ante un evento sísmico severo en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería es: la falla de columna corta, debido a la falta o inadecuada junta de construcción entre tabique - pórtico, ubicación de vanos y a la elevada rigidez que tendrían que soportar frente al sismo, pues en algunos casos tendría que soportar hasta 670 veces más fuerza sísmica que soportaría la columna larga.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Conceptos básicos de sismología

Las definiciones siguientes corresponden a algunos de los términos más usados en sismología. (Goytia y Villanueva 2001).

a) Sismo

Vibración de la corteza terrestre inducidas por el paso de las ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre.

b) Sismología

Es la ciencia y estudio de los sismos, sus causas, efectos y fenómenos asociados.

c) Sismicidad

Es la frecuencia de ocurrencia de sismos por unidad de área en una región dada. A menudo esta definición es empleada inadecuadamente, por lo que se define en forma más general como “la actividad sísmica de una región dada”, esta última definición implica que la sismicidad se refiere a la cantidad de energía liberada en un área en particular.

d) Amenaza sísmica

Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno esperada, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado.

e) Microzonificación sísmica

División de una región o de un área urbana en zonas más pequeñas, que presentan un cierto grado de similitud en la forma como se ven afectadas por los movimientos sísmicos, dadas las características de los estratos de suelo subyacente.

f) Fallas geológicas

Ruptura, o zona de ruptura, en la roca de la corteza terrestre cuyos lados han tenido movimientos paralelos al plano de ruptura.

g) Ondas sísmicas

Son vibraciones que se propagan a través de la corteza terrestre causadas por la repentina liberación de energía en el foco.

h) Acelerograma

Descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo real.

i) Sismograma

Es un registro de movimiento sísmico y mide la magnitud de los sismos.

j) Aceleración pico del suelo

Es la aceleración máxima de un punto en la superficie alcanzada durante un sismo, expresada como fracción de la gravedad.

k) Licuación

Respuesta de los suelos sometidos a vibraciones, en la cual estos se comportan como un fluido denso y no como una masa de suelo húmeda.

l) Epicentro

Punto que se encuentra en la superficie de la tierra inmediatamente por encima del foco.

m) Hipocentro

Foco sísmico o fuente, es el punto o grupo de puntos subterráneos desde donde se origina el sismo.

n) Distancia epicentral (D)

Es la distancia horizontal desde un punto en la superficie al epicentro (Fig 1).

o) Distancia focal (R)

Es la distancia de un punto en la superficie al foco, hipocentro o fuente (Fig 1).

p) Profundidad focal (H)

Es la distancia entre el foco y el epicentro (Fig 1).

q) Sismo de diseño

Es la caracterización de los movimientos sísmicos en un sitio dado que deben utilizarse en la realización del diseño sismorresistente.

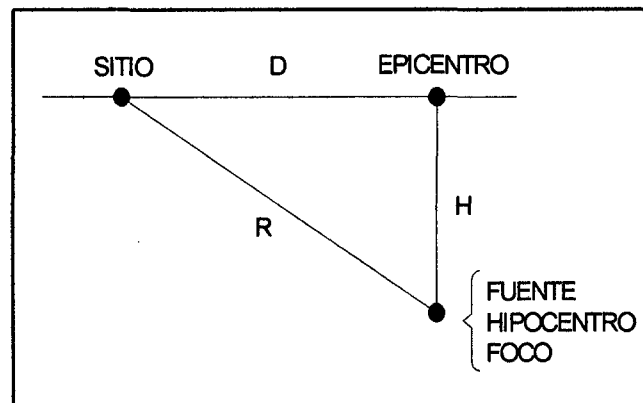


Figura 1. Relación geométrica entre foco y sitio
Fuente: Goytia y Villanueva 2001

2.2.2. Magnitud e intensidad de los terremotos

Desde que la sismología alcanzó un carácter plenamente científico, los sismólogos intentan establecer criterios lo más precisos posibles para determinar la importancia de los terremotos. En la actualidad, se utilizan para ello dos parámetros: uno objetivo, la magnitud, y otro más subjetivo, la intensidad (Rivera Mantilla 2011)

a) Magnitud

Rivera Mantilla (2011) mediante la magnitud de un sismo se intenta determinar la cantidad de energía liberada en un foco. Se calcula midiendo en el sismograma correspondiente la amplitud máxima que alcanzan ciertas ondas sísmicas en un determinado tipo de sismógrafo. La magnitud es, pues, el parámetro más objetivo para conocer la violencia intrínseca de un terremoto. La escala de magnitudes más usada en la actualidad fue establecida por el sismólogo estadounidense Ch. F. Richter y comprende diez grados, del 0 al 9, donde cada grado es diez veces superior al precedente.

b) Intensidad

Rivera Mantilla (2011) el concepto intensidad de un sismo es mucho más subjetivo que el de magnitud, pues se basa en la apreciación de los efectos producidos por el mismo en la superficie, sobre edificaciones, etc. La intensidad máxima de un terremoto, en el epicentro y que decrece a medida que aumenta su distancia, depende en primer lugar de la magnitud del mismo, es decir, de su violencia intrínseca, y en segundo lugar, de la profundidad donde se encuentra el foco; es más intenso cuanto más superficial sea el hipocentro. Para conocer las intensidades sísmicas se utilizan varias escalas, como la de Mercalli modificada, que comprende doce grados de intensidades:

- Grado I. Movimiento sísmico imperceptible para la gran mayoría de personas y únicamente percibido por los sismógrafos. Los pájaros y otros animales pueden manifestar un cierto desasosiego. Instrumental.
- Grado II. Movimiento percibido por ciertas personas, especialmente las que se encuentran en ambientes apacibles, echadas o recostadas y en los pisos superiores de los edificios. Muy débil.
- Grado III. Sacudidas detectadas por muchas personas en el interior de las casas, aunque, en ocasiones, no las reconocen como un sismo, sino como debido al paso de camiones. Pueden llegar a percibirse la duración y la dirección del movimiento. Ligero.
- Grado IV. Sacudida percibida por la mayoría de las personas en el interior de los edificios y por algunas que circulan por las calles. Oscilación de objetos colgantes, crujidos de paredes, tintineo de cristales y vajillas. Ligeras oscilaciones de algunos coches parados. Moderado.
- Grado V. Sacudida percibida prácticamente por toda la población afectada, estimándose perfectamente la dirección y duración del fenómeno; las personas que duermen pueden despertarse. Caída de objetos en equilibrio, oscilación de puertas, movimiento de objetos colgados de las paredes, parada o puesta en marcha de los relojes de péndulo. Algo fuerte.
- Grado VI. Lo sienten todas las personas, las cuales tienden a abandonar los edificios, las que se hallan en movimiento pueden sufrir ciertas vacilaciones al desplazarse. Rotura de cristales, vajillas, platos, caída de estanterías, cuadros y objetos colgados de las paredes, oscilación de muebles pesados,

resquebrajamiento de tabiques, enlucidos y muros de poca calidad. Suenan espontáneamente las campanas de las iglesias. Fuerte.

- Grado VII. Se hace difícil permanecer de pie durante las fases principales de sacudidas con esta intensidad; perceptibles en automóviles en movimiento; rotura de muebles, aleros y tejados débiles; desprendimiento de enlucidos de yeso, cal y piedra, cornisas y adornos arquitectónicos. Los daños en edificios bien proyectados y construidos son escasos, pero pueden ser considerables en construcciones de deficiente calidad. Se producen olas en la superficie de los estanques y se enturbian las aguas. Tañido general de campanas. Muy fuerte.
- Grado VIII. Perturbaciones notables en la conducción de automóviles, frecuente pérdida del control; caída de tabiques, monumentos, torres, depósitos elevados, etc.; las casas de madera se mueven sobre sus cimientos y pueden caer; rupturas de cercas deterioradas, cambios de caudal o nivel en manantiales y pozos, desprendimientos de terrenos con grandes pendientes. Destructivo.
- Grado IX. Pánico general entre la población. Rotura de conducciones subterráneas, agrietamiento del suelo, destrucción de puentes, deformaciones en los rieles de los ferrocarriles. En zonas aluviales, expulsión de arenas y fangos. Serios daños en edificaciones y cimientos; derrumbamiento total de muros de no muy buena calidad. Ruinoso.
- Grado X. Destrucción de la mayor parte de estructuras de mampostería y de madera, incluso en sus cimientos; graves daños en presas, muros de contención, etc.; graves derrumbamientos y desplazamientos de terrenos. Algunos edificios bien construidos experimentan daños de construcción; desbordamiento de agua en canales, lagos, ríos, etc. Desastroso.
- Grado XI. Prácticamente no queda en pie ninguna estructura de mampostería. Las conducciones subterráneas quedan fuera de servicio. Graves daños en edificios, incluso de buena calidad. Muy desastroso.
- Grado XII. Desaparición prácticamente total de todo rastro de construcción humana. Grandes desplazamientos de tierras, proyección de objetos hacia lo alto, formación de grandes fallas, notables deformaciones en el terreno. Se producen grandes cambios en la topografía de las zonas afectadas. Catastrófico.

2.2.3. Efectos de los sismos en las edificaciones

Bustamante et al. (2007) cuando tiembla, las edificaciones responden a las aceleraciones transmitidas desde el suelo, a través de los cimientos de la estructura. La inercia del edificio causa la deformación de la estructura, lo cual produce la concentración de esfuerzos en los muros débiles o en las juntas de la estructura resultando en daños o en el colapso total. El nivel de daño que presente la estructura dependerá de la amplitud y de la duración del sismo, pero las condiciones locales son inclusive más importantes; por ejemplo los temblores en sedimentos suaves son más graves y prolongados cuando se comparan con los temblores experimentados en sitios de roca dura. Los efectos de los sismos son mayores en las edificaciones de varios pisos, las cuales tienden a temblar por más tiempo que las edificaciones de uno o pocos pisos, lo cual las hace más susceptibles al daño. Fig 2.

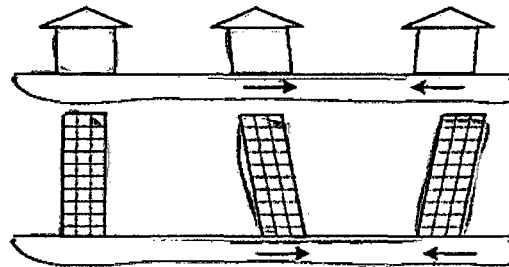


Figura 2. Efecto de las fuerzas laterales en las edificaciones. Fuente: Bustamante et al. 2007.

2.2.4. Conceptos previos a la vulnerabilidad sísmica

Para prevenir, mitigar o eliminar el impacto de un posible fenómeno destructor (como un sismo) es necesario establecer los conceptos fundamentales implicados como son peligro, amenaza, vulnerabilidad y riesgo. En 1979 la UNDR0 con el fin de establecer una uniformidad en la comprensión de estos conceptos propuso su definición, las cuales han sido aceptados mundialmente:

a) Amenaza o peligro

Es la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y en un sitio determinado.

b) Vulnerabilidad

Grado de pérdida de un elemento o grupo de ellos, resultante de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada, expresada en una escala desde cero (sin daño) hasta uno (colapso total) en cualquier escala proporcional a esta.

c) Riesgo específico

Es la probabilidad esperada de pérdidas, debidas a la ocurrencia de un fenómeno natural, expresado como una función de la amenaza o peligro y la vulnerabilidad.

d) Elementos de riesgo

Definidos como la población, las edificaciones, las obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, la infraestructura, entre otros, susceptibles a ser afectados por un fenómeno natural.

e) Riesgo total

Es el grado de pérdidas debidas a un fenómeno natural, como una función de riesgo específico y el valor de los elementos en riesgo.

2.2.5. Geodinámica del Perú

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales (Bernal y Tavera 2002).

La interacción de la placa de Nazca y la Sudamericana, es el principal proceso tectónico que define la geodinámica del Perú. Este proceso es conocido como subducción, el mismo que produjo el levantamiento y arrugamiento del margen continental durante un periodo orogénico muy complejo hasta formar una superficie topográfica muy accidentada y cuyo resultado final fue la formación de una cadena montañosa que se extiende, de Norte a Sur, a lo largo de todo el borde Oeste de Sudamérica, desde Venezuela hasta la Tierra del Fuego en Chile, siendo conocida como “La Cordillera de los Andes”. Esta cordillera fuertemente deformada, comprende un conjunto de diversas estructuras, tales como montañas, volcanes, anticlinales, sinclinales, mesetas y otras que se encuentran emplazados entre la línea de fosa peruano - chilena y el llano amazónico. *Ibíd.*

La formación de la Cordillera Andina fue acompañada por una sucesión de periodos de subsidencias y levantamientos relacionados con regímenes tectónicos de extensión y compresión que produjeron consecuentemente el acortamiento y engrosamiento de la corteza. Según Megard (1978), Dalmayrac et al (1981) y Sebrier et al (1985), todo el proceso geodinámico que ha soportado el Perú se ha desarrollado en dos periodos claramente identificados por los diferentes acontecimientos geológicos que en ellos ocurrieron: el Paleozoico y el Triásico – Pleistoceno. *Ibíd.*

2.2.6. Zonificación sísmica del Perú

El territorio peruano se considera dividido en tres zonas sísmicas, como se muestra en la Fig 3. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en información neotécnica (RNE - E.030, 2014).

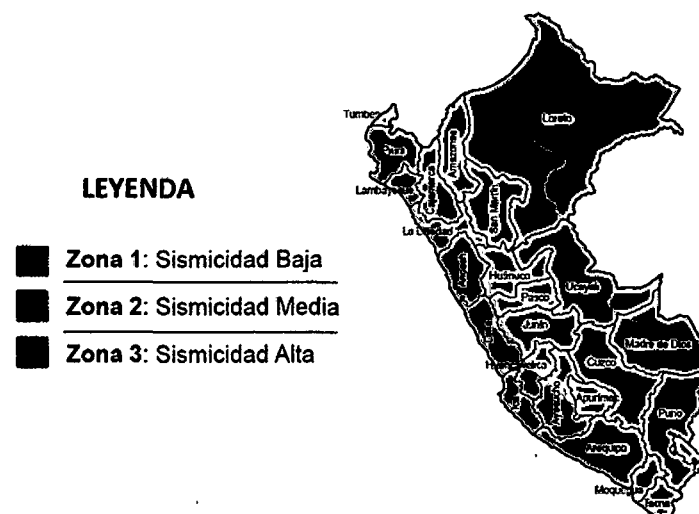


Figura 3. Zonas de amenaza sísmica en Perú
Fuente: RNE - E.030, 2014.

2.2.7. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones

Es el grado de susceptibilidad de un grupo de edificaciones, a sufrir daños parciales o totales, representados en bienes materiales y en vidas humanas, que pueden ocasionar la pérdida de la funcionalidad, por la ocurrencia de movimientos sísmicos de intensidad y magnitud dadas, en un periodo de tiempo y sitio determinado (Peralta 2002).

Es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su comportamiento que puede entenderse como la predisposición intrínseca de un elemento o de un grupo de elementos a ser afectado o ser susceptible a sufrir daño ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado (Safina 2002)

a) Causas de la vulnerabilidad sísmica

Una edificación o grupo de edificaciones, puede ser vulnerable debido a dos condiciones:

➤ Vulnerabilidad por origen

Es el grado de susceptibilidad o predisposición de las estructuras físicas, socioeconómicas y medioambientales, constituidas y construidas sin ningún tipo de control ni planificación, que pueden sufrir daño o pérdida a causa de un fenómeno natural (Peralta 2002).

➤ Vulnerabilidad progresiva

Es el grado de susceptibilidad o predisposición de las estructuras físicas, socioeconómicas y medioambientales, en gran parte transformadas sin ningún tipo de control ni planificación, que pueden sufrir daño o pérdida a causa de un fenómeno natural. *Ibid.*

b) Componentes de la vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad puede ser física o funcional, la primera está relacionada con la capacidad que tiene la edificación para comportarse adecuadamente frente a la acción sísmica durante su vida útil y que puede afectar los elementos estructurales que componen el sistema de soporte del edificio (vulnerabilidad estructural), al igual que los elementos no estructurales, tales como los componentes arquitectónicos, divisiones, instalaciones, equipos, etc. *Ibid.*

La falla de los elementos no estructurales puede causar la inhabilitación del edificio para su buen funcionamiento o para su ocupación temporal (vulnerabilidad no estructural). La segunda está relacionada con la capacidad de la edificación de seguir prestando el servicio para el que fue diseñada o construida. *Ibid.*

➤ **Vulnerabilidad física**

Es el grado de susceptibilidad o predisposición de los elementos estructurales y no estructurales a sufrir daño o pérdida, puede ser de tipo estructural o no estructural. *Ibíd.*

- **Vulnerabilidad estructural**

Está asociada a la susceptibilidad de los elementos estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se ha llamado daño sísmico estructural. El mismo comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema resistente o estructura de la edificación y es el que tradicionalmente ha merecido la atención prioritaria de los investigadores (Safina 2002)

- **Vulnerabilidad no estructural**

Está asociada a la susceptibilidad de los elementos no estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se ha llamado daño sísmico no estructural. El mismo comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que no forman parte integrante del sistema resistente o estructura de la edificación y que pueden clasificarse en componentes arquitectónicos (puertas, ventanas, parapetos, etc.) y componentes electromecánicos (ductos, canalizaciones, equipos, etc.) que cumplen funciones importantes dentro de las instalaciones. Los elementos no estructurales pueden llegar a convertirse en elementos potencialmente peligrosos cuando no se encuentran ligados o amarrados adecuadamente al resto de la edificación, introduciendo cambios en la estructuración y en los mecanismos de transmisión de cargas, que pueden propiciar su falla (Peralta 2002).

➤ **Vulnerabilidad funcional**

Se define como la susceptibilidad de la edificación para seguir prestando el servicio para el que fue construida. Este término se aplica a edificaciones como hospitales, clínicas y centros de salud que deben permanecer no solo en pie, sino funcionando, ya que aunque desarrollen un buen desempeño estructural, se puede presentar un colapso funcional, que puede ser más grave que una falla en los elementos de la propia estructura (Peralta 2002).

2.2.8. Evolución de la norma de diseño sismorresistente en el Perú desde 1970 a 1997. (Martel Vargas 2009)

En el presente ítem se tiene como objetivo dar a conocer los criterios de diseño sismorresistente en edificaciones, de las normas publicadas en 1970, 1977 y 1997.

En 1970 se publica el Reglamento Nacional de Construcciones, incluyendo en el capítulo IV, las exigencias para “seguridad contra el efecto destructivo de los sismos”. Para la determinación de la fuerza sísmica lateral se usaba la expresión:

$$H = UKCP$$

Donde:

H = Fuerza sísmica lateral.

U = Coeficiente sísmico según la regionalización y uso de la edificación.

K = Tipo de estructura (sistema estructural).

C = Factor de % de carga permanente más carga viva (función del periodo de la estructura).

P = Peso de la edificación.

No existía un factor de amplificación de la fuerza, debido a tener un suelo blando o duro. Se indicaba que el profesional autor del proyecto determinaría el aumento de los coeficientes sísmicos que se pudiera requerir según la naturaleza del terreno.

En 1977 se aprueba la incorporación de la Norma Básica de Diseño Sismorresistente al Reglamento Nacional de Construcciones, la cual reemplaza a la anterior.

En esta nueva norma el cálculo de la cortante total en la base se obtiene de:

$$H = \frac{ZUSCP}{R_d}$$

Donde:

H = Fuerza cortante sísmica basal.

Z = Factor debido a la zona.

U = Factor debido al uso de la edificación. }

S = Factor debido al tipo de suelo.

C = Coeficiente sísmico.

P = Peso de la edificación.

En 1997 se decidió realizar una nueva Norma de Diseño Sismorresistente, debido a que en el sismo de 1996 ocurrido en Nazca se observó colegios nuevos seriamente dañados.

En este sismo de Nazca se comprobó que las deformaciones laterales de los edificios eran mayores que los resultados que se obtenían con los coeficientes de la Norma Sísmica de 1977. Por lo que se decidió que el nivel de fuerzas no debería cambiarse, sino el cálculo de las deformaciones laterales entre piso y piso.

Se hace una nueva Norma, manteniendo el nivel de fuerzas, pero obteniéndose desplazamientos 2,5 veces mayores que los obtenidos con la antigua norma. Para esto se cambian los coeficientes de la expresión general ($H=USCZP/R$), cambiando los valores de R, ahora multiplicados por 2,5; de modo que cuando se calculen las deformaciones laterales se obtengan valores mucho mayores.

En la E.030-97 se le denomina “coeficiente de reducción” (R), mientras que en la N-77 se le denomina “factor de ductilidad” (R_d), los cuales podemos observar en la Tabla 1:

Tabla 1. Diferencias entre el coeficiente de reducción R y el factor de ductilidad R_d .

Sistema estructural	E.030-97 Coeficiente de reducción R	N-77 Factor de ductilidad R_d
Pórticos de acero	10	6
Pórticos de concreto armado	10	5
Sistema dual	10	4
Muros de concreto armado	7,5	3
Albañilería armada o confinada	6	2,5
Construcciones de madera	7	4

Fuente: Martel Vargas 2009.

Una de las medidas más representativas de la respuesta de un sistema estructural de una edificación diseñada para soportar sismos, que son en pocas palabras las cargas laterales, es la medida del desplazamiento relativo de entrepiso, este es usado por la mayoría de las normas de diseño sismorresistentes del mundo. En la Tabla 2 se muestra la diferencia entre los límites para desplazamiento lateral de entrepiso.

Tabla 2. Diferencias de los desplazamientos laterales de entrepiso entre la E.030-97 y la N-77.

Norma	E.030-97	N-77
Material Predominante	Δ/he_i	Δ/he_i
Concreto armado	0,007	0,010
Acero	0,010	0,015
Albañilería	0,005	0,010
Madera	0,010	0,015

Fuente: Martel Vargas 2009.

De la Tabla 2, podemos observar el grado de flexibilidad de la N-77 frente a la E.030-97, pudiendo concluir que la E.030-97 es más drástica en el control de desplazamientos.

2.2.9. Sismicidad en Jaén - Cajamarca

En la región Cajamarca en las últimas décadas no han ocurrido sismos de gran intensidad, sin embargo, debido a su formación geológica, naturaleza de suelos y presencia volcánica, existe una gran probabilidad de ocurrencia de sismos, cuyos efectos se amplificarían por las características de sus suelos, es por esto que se la considera zona de silencio sísmico (Mosqueira 2012)

La ciudad de Jaén y su entorno inmediato se ubican dentro de la fase de deformación Mezoterciaria, como última fase de deformación andina y dentro de esta unidad de deformación, la actividad sísmica es de carácter intermedio a alto; por lo tanto las intensidades que pueden desarrollarse en roca o suelo duro serían del orden de VII (M.M.) (INDECI - PNUD, 2005).

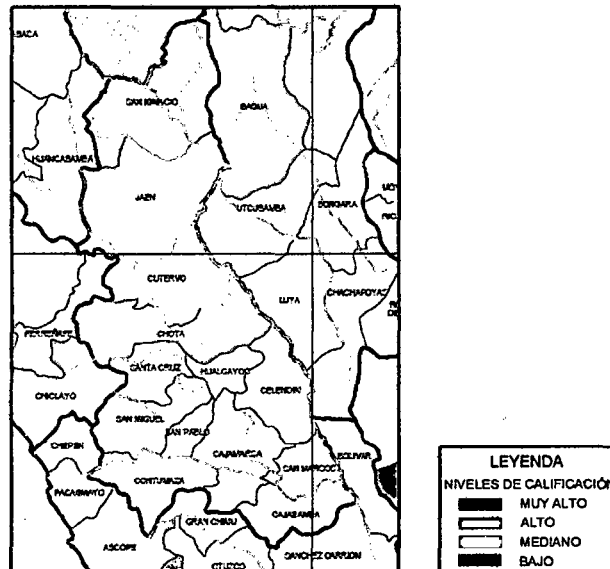


Figura 4. Mapa sísmico de la región Cajamarca.
Fuente: CMRRD 2003.

Uno de los sismos que afectó a la ciudad está fechado el 14 de mayo de 1928, de fuerte intensidad, desvió el cauce del río Jaén, destruyó el templo, casa municipal y todas las viviendas de adobe. (INDECI - PNUD, 2005).

El ámbito geográfico de Jaén, Bagua, Chachapoyas es una zona amenazada por dos sistemas sismo tectónicos, y uno de ellos incluye la franja de la Cordillera del Cóndor hasta Jaén. El sismo ocurrido el 2 de abril de 1997 en Magdalena, Bagua y alrededores de la región de Amazonas activó la geodinámica externa existente en Jaén, Magdalena, Salinas, El Muyo y otros. *Ibíd.*

2.3. Definición de términos básicos

- **Albañilería o mampostería:** Material estructural compuesto por “unidades de albañilería” asentadas con mortero o por “unidades de albañilería” apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. (RNE - E.070, 2014).
- **Carga muerta:** Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. (RNE - E.030, 2014).

- **Carga viva:** Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación. (RNE - E.030, 2014).
- **Colapso:** Pérdida total o parcial de la estructura, no es posible la reparación (Navarro y Fernández, 2006).
- **Concreto:** Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (RNE - E.060, 2014).
- **Diafragma:** Elemento resistente horizontal (generalmente pisos y techos) que actúan transfiriendo fuerzas laterales entre elementos resistentes verticales. (Arnold y Reitherman, 1987)
- **Ensayo de esclerometría:** Ensayo no destructivo que permite determinar la resistencia a la compresión del concreto endurecido. (Calavera J, 2005)
- **Espectro:** Son los valores máximos o picos de la respuesta estructural, fuerza restitutiva, el desplazamiento o la aceleración para todo un grupo de estructuras de igual periodo y amortiguamiento (Muñoz A, 2004).
- **Falla:** Es la finalización de la capacidad de un elemento o de la estructura para desempeñar la función requerida. (Calavera J, 2005).
- **Fisura:** Son aberturas que solo afectan a la superficie o acabado superficial superpuesto de un elemento constructivo (Broto C, 2009).
- **Grieta:** Son aberturas longitudinales que afectan a todo el espesor de un elemento constructivo (Broto C, 2009).
- **Junta de contracción:** Muesca moldeada, aserrada o labrada en una estructura de concreto, para crear un plano de debilidad, y regular la ubicación del agrietamiento resultante de las variaciones dimensionales de las diferentes partes de la estructura. (RNE - E.060, 2014).

- **Módulo de elasticidad:** Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. (RNE - E.060, 2014).
- **Mortero:** Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería. (RNE - E.070, 2014).
- **Quincha:** Proviene del quechua, y significa cerca o cerramiento y se refiere a una parte hecha de varilla y barro. Emplea fundamentalmente, madera y caña o carrizo formando un entramado, con un acabado de barro o capa de yeso, empleándose en muros y cubiertas (Cardenas L, 2008)
- **Reforzamiento:** Es un conjunto de actuaciones, como demoliciones, saneamientos y aplicaciones de nuevos materiales, destinado a aumentar la capacidad portante y mejorar su comportamiento. (Broto C, 2009).
- **Tabique:** Muro no portante de carga vertical utilizado para subdividir ambientes o como cierre perimetral. (RNE - E.070, 2014).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Región	:	Cajamarca
Provincia	:	Jaén
Distrito	:	Jaén

La región Cajamarca, situada en la zona Norte del país, limita con el Norte con la República del Ecuador, por el Este con la región Amazonas, por el Sur con la Libertad y por el Oeste con Lambayeque y Piura (Fig 5). Se localiza entre las coordenadas geográficas $4^{\circ} 30'$ y $7^{\circ} 45'$ de latitud Sur y entre $77^{\circ} 33'$ y 79° de longitud Oeste.

La provincia de Jaén, situada en la parte Norte de la región Cajamarca, limita por el Norte con la provincia de San Ignacio, por el Este con las provincias de Bagua y Utcubamba de la región Amazonas, por el Oeste con la provincia de Huancabamba de la región Piura y por el Sur con la provincia de Cutervo y provincias de Ferreñafe y Lambayeque de la región Lambayeque (Fig 6). Se localiza entre las coordenadas geográficas $5^{\circ} 42' 15''$ de latitud Sur y $78^{\circ} 48' 29''$ de longitud Oeste.

El distrito de Jaén, se ubica casi en la parte central de la provincia del mismo nombre, limita por el Norte con los distritos de Huabal, Las Pirias y Bellavista; por el Nor - Oeste con el distrito de San José del Alto; por el Sur y Sur - Este con la provincia de Cutervo y por el Oeste con los distritos de Colasay y Chontalí (Fig 7).

En la Fig 8 y Fig 9 se muestran respectivamente los planos de Localización y Ubicación de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén, cuyas coordenadas geográficas son: $78^{\circ} 48' 32''$ de longitud oeste y $5^{\circ} 42' 24''$ de latitud Sur.

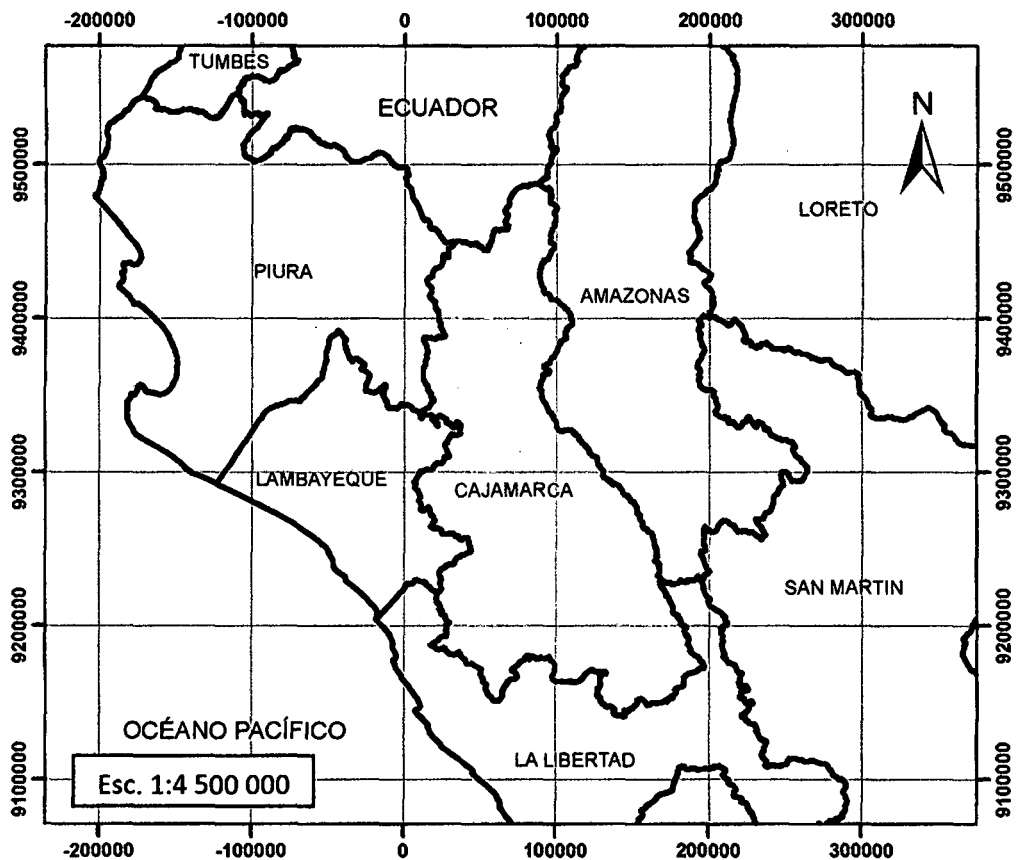


Figura 5. Ubicación geográfica de la región Cajamarca. Fuente: MINEDU

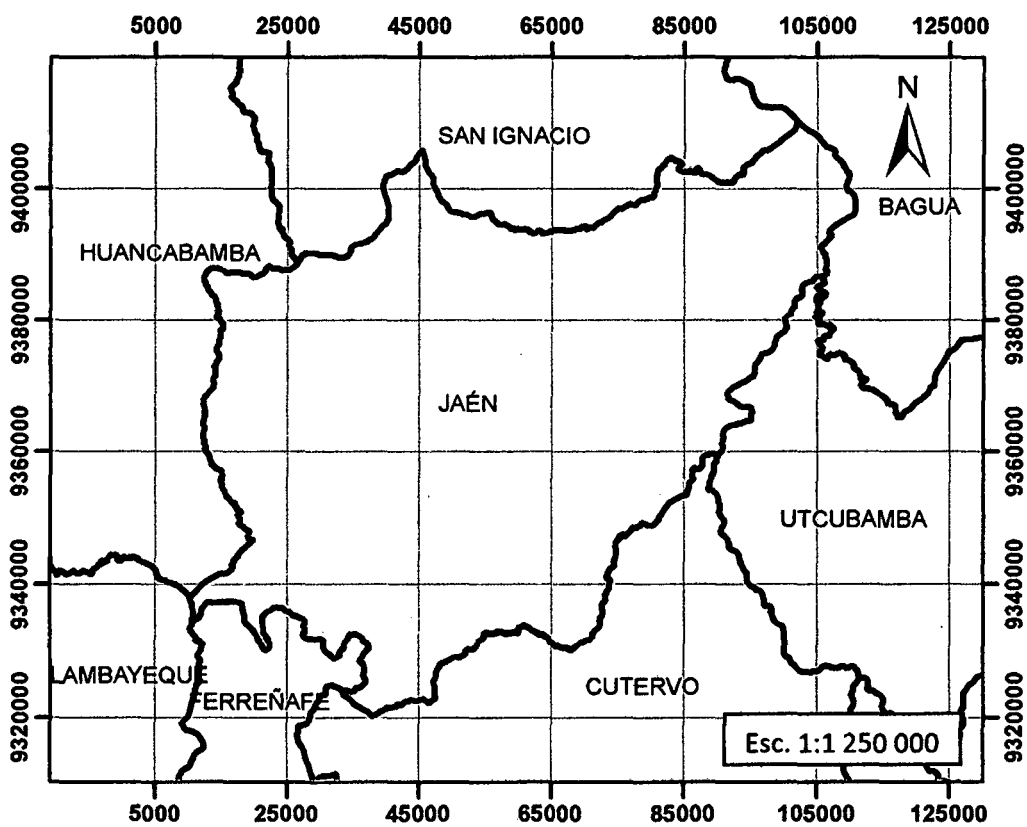


Figura 6. Ubicación geográfica de la provincia de Jaén. Fuente: MINEDU

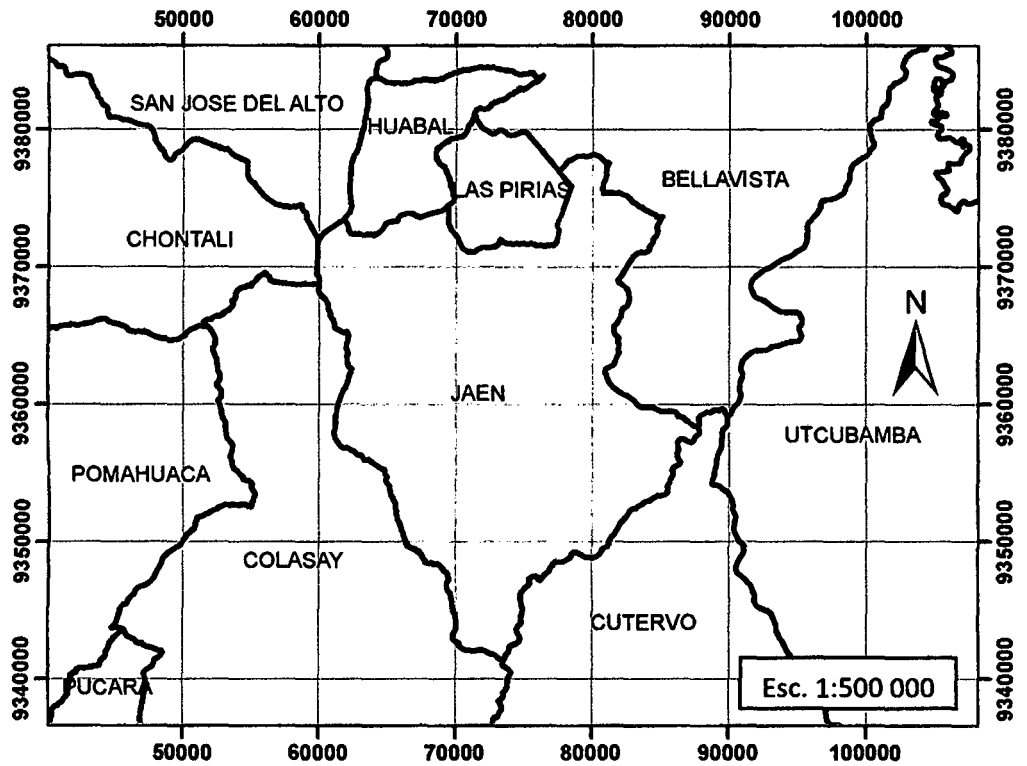


Figura 7. Ubicación geográfica del distrito de Jaén. Fuente: MINEDU

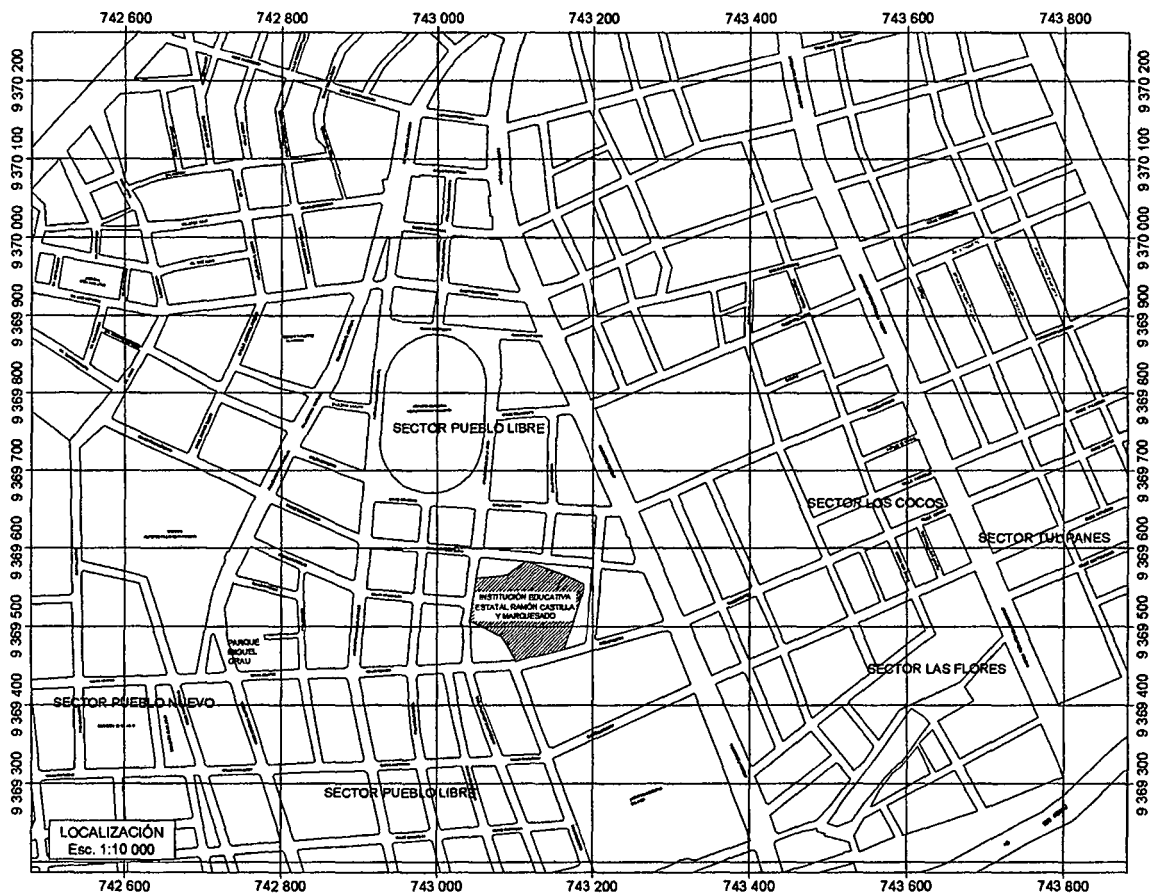


Figura 8. Plano de localización de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquésado.

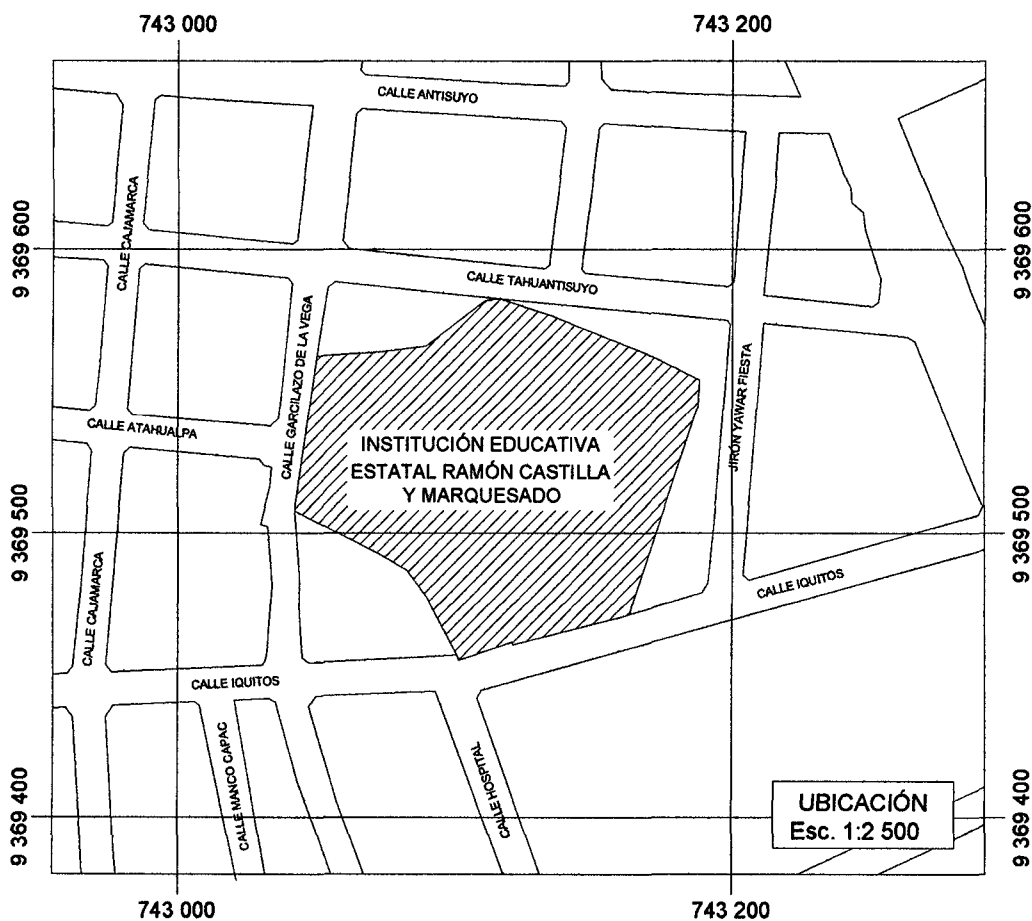


Figura 9. Plano de ubicación de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado.

3.2. Ubicación temporal

La presente investigación se llevó a cabo en la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado, ubicada en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca; durante los meses de agosto a noviembre del año 2014.

3.3. Material

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por los 6 pabellones que conforman la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado (Fig 10). Los pabellones tienen características comunes, en su mayoría son edificaciones de 2 niveles con un sistema estructural aporticado, tradicional de edificios educacionales, con columnas y vigas rectangulares.

3.3.2. Muestra

La selección de la muestra se determinó usando un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, y está constituido por los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado, pabellones asignados para desarrollar labores académicas, los cuales actualmente se encuentran en funcionamiento.

En la Fig 10 se muestran los pabellones que han sido materia de evaluación en la presente investigación, el pabellón achurado con verde se ha denominado pabellón 1 y el pabellón achurado con azul se ha denominado pabellón 2.

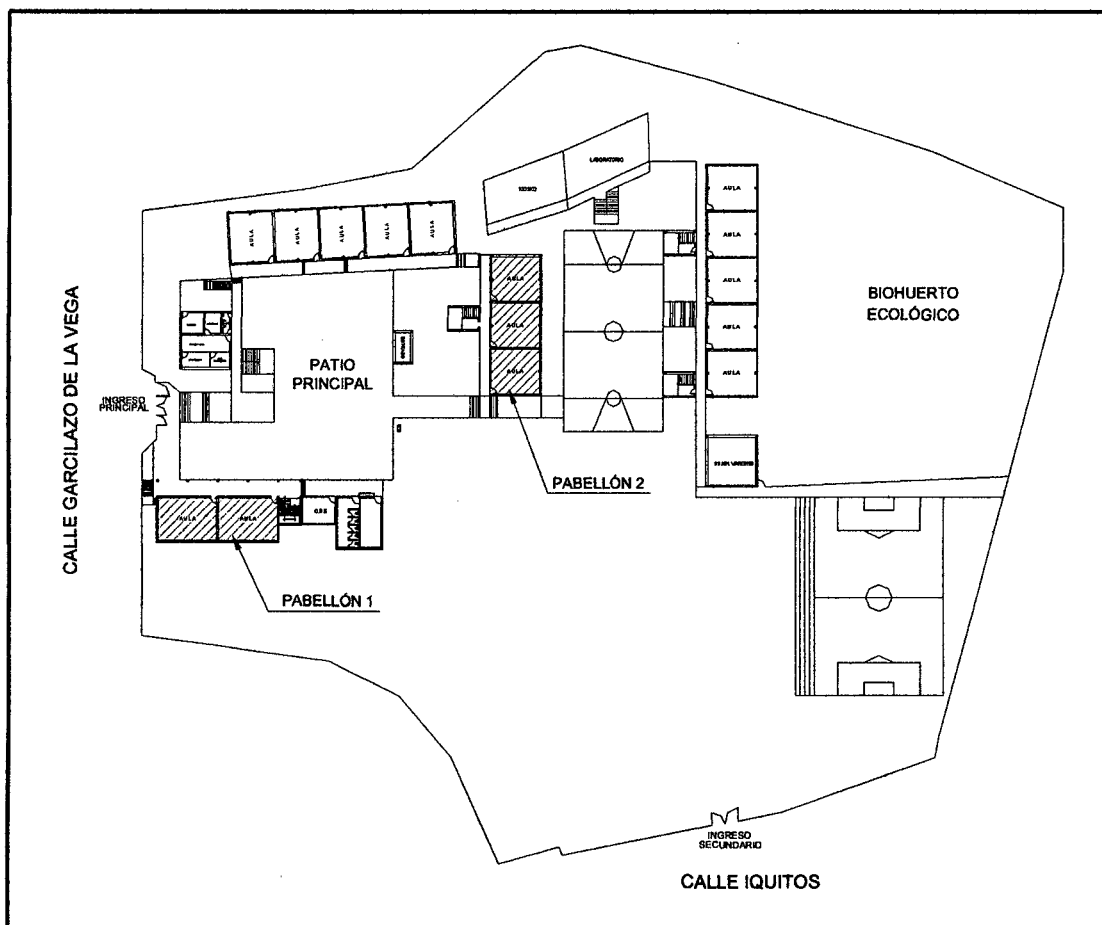


Figura 10. Arquitectura existente de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado.

3.3.3. Unidad de análisis

Se consideró como unidad de análisis a los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén - Cajamarca.

3.4. Método

3.4.1. Materiales y/o equipos.

- ✓ **Cámara fotográfica:** Modelo Canon Powershot SX170IS, zoon óptico de 16x, aproximadamente 16 millones de píxeles, pantalla LCD de 3 pulgadas, imágenes formato JPEG.
- ✓ **Wincha:** De 50 metros marca Stanley, hoja de fibra de vidrio de alta resistencia, con doble sistema de medición (cm/pulg), no corrosiva y resistente a la decoloración.
- ✓ **Esclerómetro:** Marca Sholits Americano, se evaluó la resistencia a la compresión del concreto de los elementos estructurales (vigas y columnas), para lo cual se utilizó ensayos in situ de esclerometría (Fig 11); estos ensayos fueron realizados en los pabellones 1 y 2 materia de nuestro estudio, los resultados de estos análisis se muestran en el Anexo A.

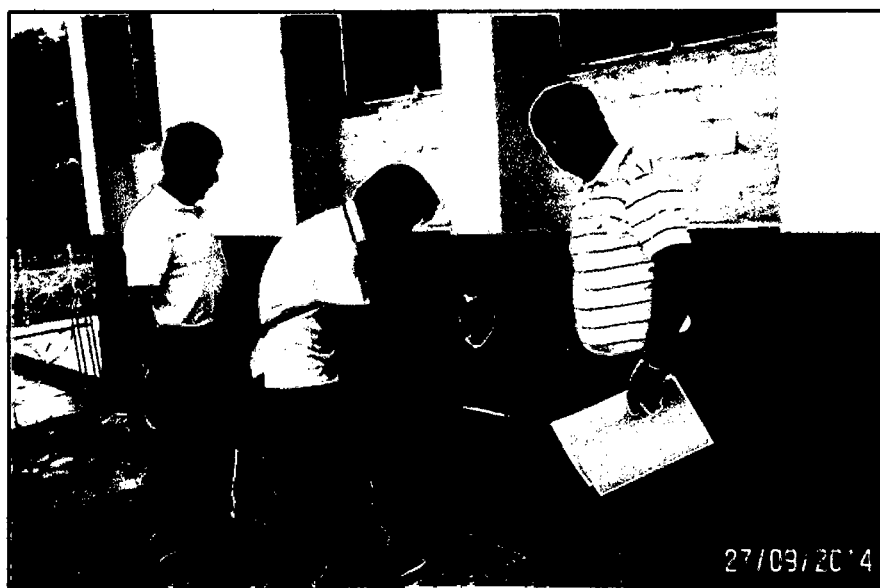


Figura 11. Ensayo no destructivo con esclerómetro en columnas del pabellón 2. A la derecha Ing. Wilder Narro Martos (asesor), a la izquierda Sr. Juan Villanueva (técnico).

3.4.2. Diseño metodológico

Tabla 3. Diseño metodológico de la investigación.

Criterio	Investigación
Finalidad	Aplicada
Tipo	Descriptiva
Nivel	IV
Diseño	Transversal
Método	Cualitativo
Contexto	Gabinete, campo

3.4.3. Diseño de investigación

Existen diferentes metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y depende del tesista la elección, de acuerdo a los objetivos planteados para su estudio, la hipótesis a demostrar y de acuerdo a la información encontrada.

En este trabajo se decidió aplicar la Metodología del Índice de Vulnerabilidad propuesta por un grupo de investigadores italianos en 1984, que fue desarrollada a partir de la información de daño en edificios provocados por terremotos desde 1976. A partir de esta información se elaboró una gran base de datos con el índice de vulnerabilidad de cada edificio y el daño sufrido por terremotos de determinada intensidad.

Algunas razones que se tuvieron en cuenta para la elección de la metodología del Índice de Vulnerabilidad, aplicada a la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén – Cajamarca fueron:

- Está fundamentado en datos reales que provienen del análisis y evaluación de daños por terremotos.
- Se puede aplicar en estudios a nivel urbano y rural.
- Se tiene la experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adoptó oficialmente por un organismo gubernamental de protección civil (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, GNDT).

- Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yepes, 1994) y Murcia en 1999 (Mena, et al 1999).
- La metodología se ha aplicado en países como Chile, Ecuador, Perú, Venezuela y Colombia con muy buenos resultados.
- En general se ha aplicado en diversos trabajos como los de Angeletti et al, 1988; Benedetti et al, 1988; Caicedo, 1993; Barbat et al, 1996; Grimaz, 1994; Yépez, 1996; Mena, 1997; el proyecto europeo SERGISAL, entre otros.
- La metodología se desarrolló para las tipologías de mampostería no reforzada y hormigón armado.
- La metodología italiana propuesta por Benedetti y Petrini es adaptable a la Norma Peruana de Estructuras, tal y como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Comparación del método italiano con lo exigido por la Norma Peruana de Estructuras.

COMPONENTE PROPUESTO POR LA NORMA PERUANA DE ESTRUCTURAS	METODOLOGÍA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD BENEDETTI Y PETRINI – ITALIA
ASPECTOS GEOMÉTRICOS	
Irregularidad en planta de la edificación.	6. Configuración en planta.
Cantidad de muros en las dos direcciones	8. Separación máxima entre muros.
Irregularidad en altura.	7. Configuración en elevación.
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	
Calidad de las juntas de pega en mortero.	2. Calidad del sistema resistente.
Tipo y disposición de las unidades de mampostería.	2. Calidad del sistema resistente.
Calidad de las juntas de los materiales.	2. Calidad del sistema resistente.
ASPECTOS ESTRUCTURALES	
Muros confinados y reforzados.	1. Organización del sistema resistente.
Detalle de columnas y vigas de confinamiento.	3. Resistencia convencional.
Vigas de amarre o corona.	9. Tipo de cubierta.
Características de las aberturas.	-----
Diafragma rígido.	5. Diafragmas horizontales.
Amarre de cubiertas.	9. Tipo de cubierta.
Cimentación.	-----
Suelos.	3. Resistencia convencional.
Entorno o topografía.	4. Posición del edificio y cimentación.

Fuente: CIP Ayacucho Seminario Regional 2011.

En total son 11 parámetros que calificados con su valor máximo se obtiene un índice de 94%. La Tabla 5 muestra los 11 parámetros considerados en la calificación de las estructuras de hormigón armado, los valores corresponden a los coeficientes de calificación posible K_i de acuerdo a la condición de la calidad (A= bueno, B=regular, C= malo) y a los factores de peso W_i asignados a cada parámetro. Los factores K_i y W_i se obtuvieron de una manera subjetiva basados en la experiencia de los investigadores y de los datos reales obtenidos en cada evento sísmico. Finalmente el índice de vulnerabilidad global de cada edificio se evaluó utilizando la ecuación 1:

$$I_v = 100. \frac{(\sum_{i=1}^{11} K_i.W_i)+1}{34} \quad (1)$$

Tabla 5. Puntaje de clases y pesos utilizados para estructuras de hormigón armado.

N°	Descripción del Parámetro	Descripción del sub parámetro	Clase (K_i)			Peso W_i
			A	B	C	
1	Organización del sistema resistente	Calidad de líneas resistentes	0	1	2	2,00
		Configuración en planta de las líneas resistentes	0	1	2	2,00
2	Calidad del sistema resistente	Calidad del tipo de mampostería	0	1	2	1,00
3	Resistencia convencional	Uso de normativa antisísmica (según año)	-1	0	1	0,30
		Momento de inercia y módulo de sección en columnas	-1	0	1	0,50
		Número de pisos de la edificación	-1	0	1	0,20
4	Posición del edificio y cimentación.	Condiciones y pendiente del terreno	0	1	2	1,00
5	Diafragma horizontal (entrepisos)	Según deformabilidad y conexión con los elementos resistentes	0	1	2	1,00
6	Configuración en planta	Esquinas entrantes	0	1	2	0,60
		Torsión	0	1	2	0,40

N°	Descripción del Parámetro	Descripción del sub parámetro	Clase (Ki)			Peso
			A	B	C	Wi
7	Configuración en elevación	Columna corta	0	1	2	0,60
		Irregularidad vertical en masa	0	1	2	0,50
		Discontinuidad en los sistemas resistentes	0	1	2	0,90
8	Separación entre líneas resistentes	Distancia máxima entre líneas resistentes	0	1	2	1,00
9	Tipo de cubierta	Estado de conservación	0	1	2	0,40
		Conexión con la estructura	0	1	2	0,60
10	Elementos no estructurales	Estabilidad de los tabiques	0	1	2	1,00
11	Estado de conservación	Estado actual de la estructura	0	1	2	2,00

Fuente: Alvayay Barrientos 2013.

Por último apoyándose en la Tabla 6, se determinó el grado de vulnerabilidad sísmica para cada edificio.

Tabla 6. Índice de vulnerabilidad de un edificio de hormigón armado

Vulnerabilidad		Porcentaje (%)
A	Baja	0 – 15
B	Media	15 - 35
C	Alta	35 - 94

A continuación se describe de manera concisa y detallada el proceso realizado en la evaluación de cada sub parámetro, con la finalidad de determinar de manera correcta la vulnerabilidad sísmica de cada pabellón.

A. Organización del sistema resistente

Con este parámetro se evaluó los elementos resistentes de la estructura (vigas y columnas), la existencia o no de elementos de conexión que asemejen el

comportamiento de la estructura al de una estructura ortogonal cerrada. Dicho de otra forma, que tan bien ligados estén los elementos estructurales. Se analizó los siguientes sub parámetros, los cuales fueron calificados dentro de una de las tres clases: A: bueno, B: regular, C: malo.

➤ **Calidad de líneas resistentes:** A través de este sub parámetro se evaluó el estado actual en el que se encuentran los elementos resistentes de la estructura (vigas y columnas). Para ello se realizó una inspección visual de cada pabellón, y de modo cualitativo se determinó sus principales características.

➤ **Configuración en planta de las líneas resistentes:** Se refiere a si las líneas resistentes son ortogonales entre sus diferentes direcciones o si estas se encuentran dispersas en cualquier dirección de la planta.

B. Calidad del sistema resistente

Con este parámetro se determinó el tipo de mampostería más frecuentemente utilizado, diferenciando, de modo cualitativo sus principales características. La atribución de un edificio a una de las tres clases se efectuó en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Como resultado de las observaciones realizadas se escogió una de las siguientes categorías:

- a) Mampostería de ladrillo o bloque de buena calidad, con unidades homogéneas y de tamaño constante a lo largo de todo el panel de mampostería, existiendo ligamento entre todas las unidades.
- b) Mampostería de ladrillo o bloque de baja calidad, no muy homogéneas en todo el panel y sin buen ligamento entre unidades.
- c) Mampostería de ladrillo o bloque de mala calidad, sin buen ligamento entre unidades.

C. Resistencia convencional

En este parámetro se evaluó la fiabilidad de la resistencia que puede presentar el edificio frente a cargas horizontales. Aquí se consideró tres sub parámetros de gran relevancia como son:

- **Uso de normativa antisísmica:** Se estimó el año de construcción y si ha sufrido modificaciones en el tiempo. De esta forma se aprecia si fue diseñada o modificada bajo alguna normativa sismorresistente. Se calificó el siguiente sub parámetro dentro de una de las tres clases: A: bueno, B: regular, C: malo, dependiendo del año en que fue construida y de la normativa que utilizaron.
- **Momento de inercia y módulo de sección en columnas:** Para el análisis de columnas se evaluó el momento de inercia y el módulo de sección en cada dirección, esto nos permitió determinar en qué dirección la sección es más resistente a momento flexionante causado por sismo; pues a mayor momento de inercia o módulo de sección, menor esfuerzo flexionante actuante y menor deformación.

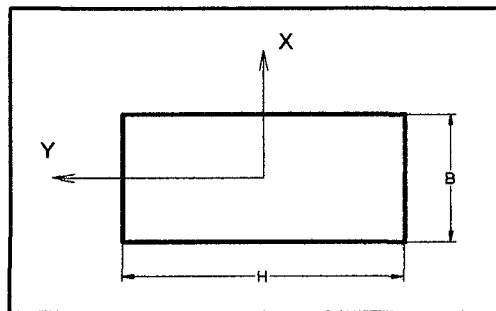


Figura 12. Esquema de columna típica.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= \frac{B.H^3}{12} & I_{yy} &= \frac{H.B^3}{12} \\ Z_x &= \frac{B.H^2}{6} & Z_y &= \frac{H.B^2}{6} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

I_{xx} = Momento de inercia en la dirección x.

I_{yy} = Momento de inercia en la dirección y.

Z_x = Módulo de sección en la dirección x.

Z_y = Módulo de sección en la dirección y.

B = Base de la columna.

H = Altura de la columna.

- **Número de pisos de la edificación:** Este sub parámetro se aplicó según la materialidad de la estructura (Tabla 7).

Tabla 7. Clases asignadas según tipología y número de niveles.

Tipología	Nº Plantas	Clase
Albañilería	Bajo (1 a 2)	A
	Medio (3 a 5)	B
	Alto (6 o más)	C
Hormigón	Bajo (1 a 3)	A
	Medio (4 a 6)	B
	Alto (7 o más)	C

Fuente: Alvayay Barrientos 2013.

D. Posición del edificio y cimentación

Con este parámetro se evaluó, por medio de una inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tuvo en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y pendiente del terreno, y una eventual ubicación de la cimentación a diferente cota. La asignación de este parámetro dentro de una de las tres clases, se realizó en base a las condiciones:

- a) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota.
- b) Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno blando con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a un metro.
- c) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 20% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 30%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a un metro.

E. Diafragma horizontal (entrepisos)

Es de gran importancia que el sistema de diafragma se encuentre bien conectado al sistema resistente vertical, para que pueda transmitir tanto las cargas verticales que soporta el edificio, como las horizontales debidas al sismo hacia la cimentación. Cuando dichas condiciones no se encuentran en estado aceptable, la vibración lateral de los paneles tiende a separarlos causando la caída de los mismos, lo cual representa gran daño en la estructura. Se escoge una de las siguientes categorías:

- a) Edificio con diafragmas rígidos que satisfacen las condiciones:
 - ✓ La deformabilidad del diafragma es despreciable.
 - ✓ La conexión entre el diafragma y los elementos resistentes es eficaz.
- b) Edificio con diafragma como el de la clase A, pero que no cumple con una de las condiciones pasadas.
- c) Edificio con diafragma como el de la clase A, pero que no cumple ninguna de las dos condiciones.

F. Configuración en planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo, para ello se evaluó los siguientes sub parámetros:

- **Esquinas entrantes:** Se presenta este tipo de irregularidad cuando la configuración en planta y el sistema resistente de la estructura, tienen esquinas entrantes, cuyas dimensiones en ambas direcciones, son mayores que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta (Tabla N°5 RNE - E.030, 2014).

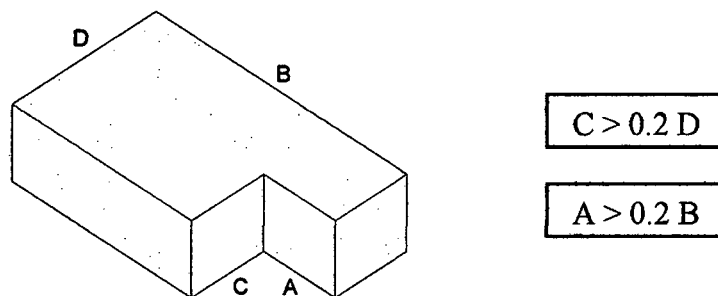


Figura 13. Irregularidad en Planta.

- **Torsión:** Se considera solo en diafragmas rígidos, en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible indicado en la Tabla N° 8 del artículo 15 (15.1) del RNE - E.030, 2014. Diseño Sismorresistente.

Tabla 8. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso.

Límites para desplazamiento lateral de entrepiso Estos límites no son aplicables a naves industriales	
Material predominante	(Di/hei)
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010

Fuente: Tabla N° 8 del RNE - E.030 (2014).

La evaluación de los desplazamientos laterales de entrepiso se realizó mediante un análisis dinámico espectral, para ello se usó el programa SAP 2000.

En el RNE - E.030, 2014, se establece la ecuación para calcular la pseudo aceleración sísmica, la cual nos permite simular un sismo a través de un espectro de pseudo aceleración (artículo 18.2 RNE - E.030, 2014).

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g \quad (3)$$

Donde:

Z = Factor de zona (Tabla 9)

U = Factor de uso (Tabla 10)

S = Factor de suelo (Tabla 11)

C = Factor de amplificación sísmica

R = Factor de reducción por ductilidad (Tabla 12)

g = Aceleración de la gravedad

El factor de zona se asignó según la zona sísmica en la cual se ubica la edificación, este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Tabla 9. Factores de zona (Z).

Zona	Z
3	0,4
2	0,3
1	0,15

Fuente: Tabla N° 1 del RNE - E.030 (2014).

El factor de uso e importancia (U) está definido de acuerdo a la categoría de la edificación propuesta en el RNE - E.030, 2014.

Tabla 10. Factores de importancia (U).

Categoría	Descripción	Factor U
A Edificaciones esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1,5
B Edificaciones importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1,0
D Edificaciones menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	Se omite el análisis por fuerzas sísmicas

Fuente: Tabla N° 3 RNE - E.030 de Diseño Sismorresistente (2014).

Los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte. Los tipos de perfiles de suelos definidos en el RNE - E.030 son:

Tabla 11. Parámetros del suelo.

Tipo	Descripción	Periodo de vibración del suelo (Tp)	Factor de suelo
S1	Roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S2	Suelos intermedios	0,6	1,2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S4	Condiciones excepcionales	Serán establecidos por especialistas	

Fuente: Tabla N° 2 RNE - E.030 de Diseño Sismorresistente (2014).

El coeficiente de reducción de la fuerza sísmica (R) se selecciona según el sistema estructural y los materiales usados en la edificación.

Tabla 12. Sistemas estructurales.

Sistema estructural	Coefficiente de reducción, R para estructuras regulares
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos	9,5
Otras estructuras de acero	
Arriostres excéntricos	6,5
Arriostres en Cruz	6
Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Tabla N° 6 RNE - E.030 de Diseño Sismorresistente (2014).

El factor de amplificación dinámica se determinó mediante la siguiente ecuación (artículo 7 RNE - E.030, 2014):

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right); C \leq 2,5 \quad (4)$$

Donde:

T_p = Periodo de vibración del suelo.

T = Periodo de la estructura

Finalmente mediante los parámetros anteriormente definidos, se trazó la función de espectro de amplificación del suelo para los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado, como se muestra en la Fig 14.

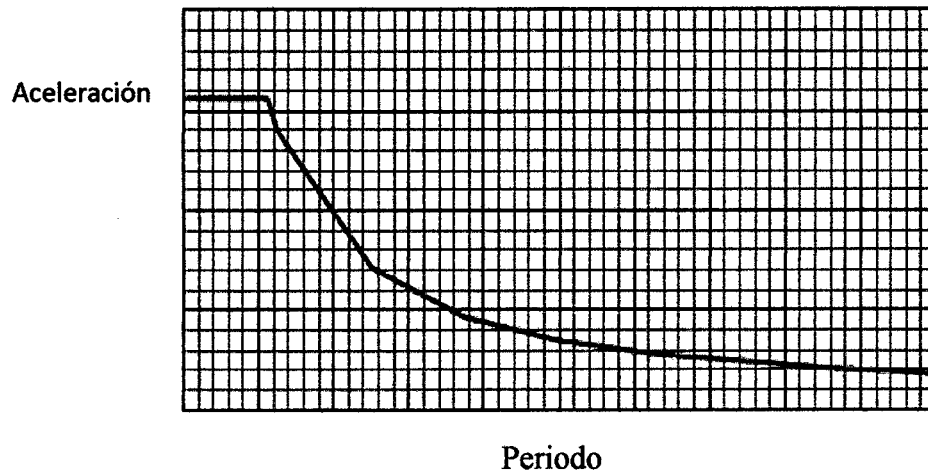


Figura 14. Definición de espectro de amplificación del suelo.

G. Configuración en elevación

Para la evaluación de este parámetro se analizaron los siguientes sub parámetros. Clasificándolos dentro de una de las tres clases: A: bueno, B: regular, C: malo.

➤ **Columna corta:** Se determinó la rigidez de la columna total (K_{CT}) y de la columna corta (K_{CC}) para ello se usó la ecuación (5). Fig 15.

$$\begin{aligned} K_{x_{CT}} &= \frac{12.E.I_{xx}}{L_{CT}^3} & K_{y_{CT}} &= \frac{12.E.I_{yy}}{L_{CT}^3} \\ K_{x_{CC}} &= \frac{12.E.I_{xx}}{L_{CC}^3} & K_{y_{CC}} &= \frac{12.E.I_{yy}}{L_{CC}^3} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde:

$K_{x_{CT}}$ = Rigidez de la columna total en la dirección x.

$K_{y_{CT}}$ = Rigidez de la columna total en la dirección y.

$K_{x_{CC}}$ = Rigidez de la columna corta en la dirección x.

K_{yCC} = Rigidez de la columna corta en la dirección y.

E = Módulo de elasticidad del concreto.

I_{xx} = Momento de inercia en la dirección x.

I_{yy} = Momento de inercia en la dirección y.

L_{CT} = Longitud de la columna total.

L_{CC} = Longitud de la columna corta.

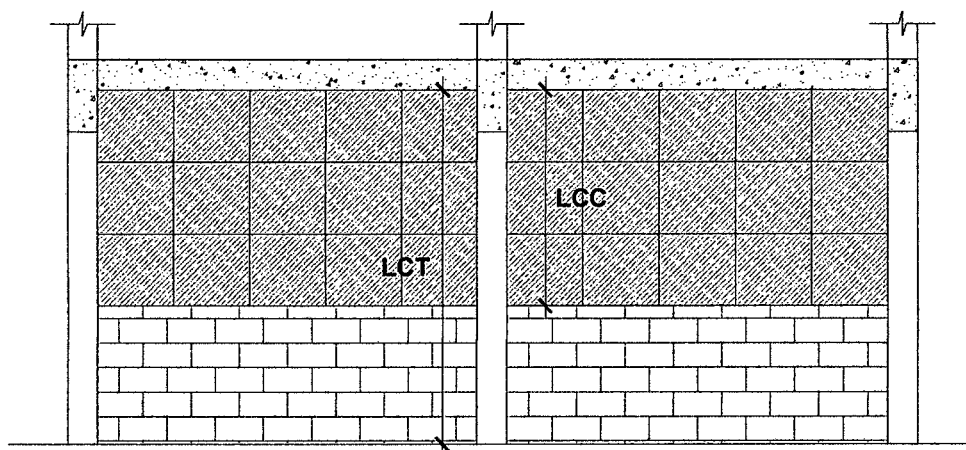


Figura 15. Esquema de alturas de la columna total y columna corta.

Para evaluar el efecto de los vanos en las columnas se determinó la rigidez de la columna con su longitud total y la rigidez de la columna acortada por los vanos, llamada la columna corta.

➤ **Irregularidad vertical en masa:** Se considera que existe irregularidad de masa, cuando la masa de un piso es mayor que el 150% de la masa de un piso adyacente, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior. (Tabla N°4. RNE - E.030, 2014).

➤ **Discontinuidad en los sistemas resistentes:** Se considera como discontinuidad en los sistemas resistentes, al desalineamiento de elementos verticales resistentes, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento. (Tabla N°4. RNE - E.030, 2014).

H. Separación máxima entre líneas resistentes

Con este parámetro se tiene en cuenta la separación entre los apoyos laterales de una viga. Según el RNE - E.060, 2014 (artículo 10.4), la separación no debe exceder de 50 veces el menor ancho b del ala o cara en compresión. En tal sentido la asignación de

este parámetro, dentro de una de las tres clases, se realizó en base a lo estipulado en el RNE - E.060, 2014.

I. Tipo de cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas, se evaluó dos categorías, la primera es el estado de conservación, y la segunda es la conexión con la estructura.

➤ **Estado de conservación:** Para calificar este sub parámetro en una de las tres clases se evaluó: el tipo de cubierta, materiales utilizados en su construcción, y el estado de conservación de los mismos.

➤ **Conexión con la estructura:** Se observó que la cubierta se encuentre correctamente conectada al sistema resistente de la estructura, de tal manera que garantice un comportamiento adecuado ante un eventual sismo. Para la evaluación de este sub parámetro dentro de una de las tres clases se realizó una inspección visual en las cubiertas de ambos pabellones.

J. Elementos no estructurales

En este parámetro se evaluó la estabilidad de los tabiques, basándonos en la comparación de momento actuante debido a cargas perpendiculares al plano del muro, y el momento resistente paralelo al plano del muro. Para dicho cálculo se empleó la metodología propuesta en el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE - E.070, 2014.

El momento flector distribuido por unidad de longitud (M_s , en KN-m/m), producido por la carga sísmica ω , se calculará mediante la siguiente ecuación (artículo 29.7 RNE - E.070, 2014):

$$M_s = m \cdot \omega \cdot a^2 \quad (6)$$

Donde:

m = Coeficiente de momento (Tabla 14).

a = Dimensión crítica del paño de albañilería en metros.

ω = La carga por metro cuadrado de muro.

La magnitud de la carga (ω , en KN/m²) para un metro cuadrado de muro se calculará mediante la siguiente ecuación (artículo 29.6 RNE - E.070, 2014):

$$\omega = 0,8 \cdot Z \cdot U \cdot C_1 \cdot \gamma \cdot t \quad (7)$$

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de importancia

C₁ = Coeficiente sísmico

t = espesor bruto del muro en metros

γ = peso volumétrico de la albañilería (Para ladrillo macizo: 18KN/m³)

El coeficiente sísmico C₁ se determinó según lo propuesto en el RNE - E.030, 2014; como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Coeficiente sísmico C₁.

Condición	C ₁
- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación en la cual la dirección de la fuerza es perpendicular a su plano.	1,3
- Elementos cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	
- Muros dentro de una edificación (dirección de la fuerza perpendicular a su plano)	0,9
- Cercos	0,6
- Tanques, torres, letreros y chimeneas conectados a una parte del edificio considerando la fuerza en cualquier dirección.	0,9
- Pisos y techos que actúan con diafragmas con la dirección de la fuerza en su plano.	0,6

Fuente: Tabla N° 9 del RNE - E.030 (2014).

El coeficiente de momento y la dimensión crítica del paño de albañilería en metros se determinó en función del número de bordes arriostrados como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Valores del coeficiente de momentos “m” y dimensión crítica “a”.

Valores del coeficiente de momentos “m” y dimensión crítica “a”									
Caso 1. Muro con cuatro bordes arriostrados									
a = Menor Dimensión									
b/a =	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	∞	
m =	0,0479	0,0627	0,0755	0,0862	0,0948	0,1017	0,118	0,125	
Caso 2. Muro con tres bordes arriostrados									
a = Longitud del borde libre									
b/a =	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	∞
m =	0,060	0,074	0,087	0,097	0,106	0,112	0,128	0,132	0,133
Caso 3. Muro arriostrado solo en sus bordes horizontales									
a = Altura del muro									
m = 0,125									
Caso 4. Muro en voladizo									
a = Altura del muro									
m = 0,5									

Fuente: Tabla N° 12 del RNE - E.070 (2014).

Para determinar el momento resistente a tracción por flexión del muro (M_r) se utilizó la siguiente ecuación (Tarque y Mosqueira 2005):

$$M_r = 16,7 \cdot t^2 \quad (8)$$

Donde:

M_r = Momento resistente a tracción por flexión en KN-m/m.

t = Espesor bruto del muro en metros.

Finalmente se comparó el valor de las ecuaciones (6) y (8), luego para asignar este parámetro se escogió una de las siguientes categorías:

- a) Si, $M_s \leq M_r$ (Estable)
- b) Si, $M_s = M_r$ (Parcialmente estable)
- c) Si, $M_s \geq M_r$ (Inestable)

K. Estado de conservación

Este parámetro tiene en cuenta el estado de conservación en que se encuentre la edificación. Se calificó su vulnerabilidad de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Edificación en buen estado: Es decir, la estructura, la unidad de construcción y el aspecto físico demuestran calidad, resistencia y conservación.
- b) Edificación en regular estado: Es decir, la estructura, la unidad de construcción y el aspecto físico demuestran que han sufrido deterioro en cuanto a la calidad, resistencia y conservación.
- c) Edificación en mal estado: Es decir, cuando la estructura y unidad arquitectónica han entrado en un proceso de deterioro, además los materiales con los que fue construido se encuentran en un estado ruinoso.

Para una mejor evaluación de este parámetro, además de los criterios anteriormente mencionados, se aplicó una encuesta (Anexo B) al personal docente y administrativo de la Institución Educativa Estatal. La encuesta consistió en responder a 4 preguntas referentes al estado actual, mantenimiento y seguridad de la infraestructura educativa.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis

Es necesario aclarar que los resultados obtenidos en el presente estudio, se llevaron a cabo utilizando métodos cualitativos, donde los resultados pueden ser afirmados o rectificadas en la medida que se realicen estudios con un mayor grado de detalle. Por lo tanto estos resultados deben constituir una base importante para la realización de otros estudios que permitan evaluar la vulnerabilidad sísmica de las Instituciones Educativas Peruanas.

A continuación se describe y explica los resultados de cada uno de los sub parámetros, los cuales fueron evaluados utilizando lo descrito en el capítulo anterior.

4.1.1. Organización del sistema resistente

➤ **Calidad de líneas resistentes:** Se realizó una inspección visual a ambos pabellones, con el fin de determinar el estado en el que se encuentran sus líneas resistentes (Fig 16, 17, 18, 19).



Figura 16. Exposición del refuerzo de la columna en el pabellón 1.

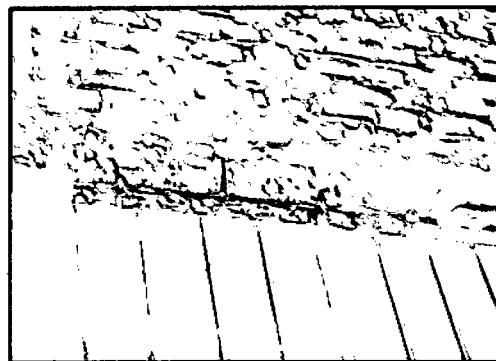


Figura 17. Exposición del refuerzo de la viga chata en el pabellón 1.

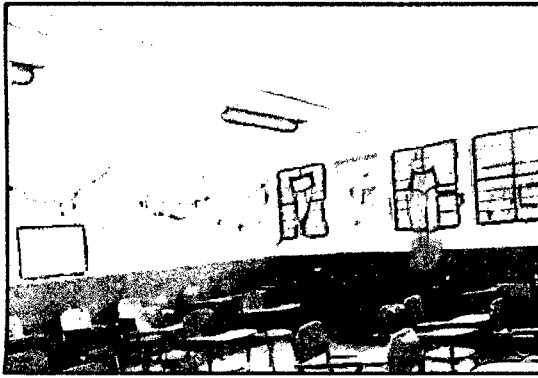


Figura 18. Líneas resistentes verticales del pabellón 2 en buen estado de conservación



Figura 19. Viga cumbrera y columna del pabellón 2 en buen estado de conservación.

De las observaciones realizadas a los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal (Fig 16, 17, 18, 19), se calificó al pabellón 1 en la clase C (malo), debido al mal estado de conservación de sus elementos resistentes. Por otro lado el pabellón 2 se calificó en la clase A (bueno), debido a que sus líneas resistentes se encuentran bien conectadas y en buen estado de conservación.

➤ **Configuración en planta de las líneas resistentes:** En la Fig 20 y Fig 21, podemos apreciar cómo es que se distribuyen las líneas resistentes verticales (columnas) y horizontales (vigas) de los pabellones 1 y 2.

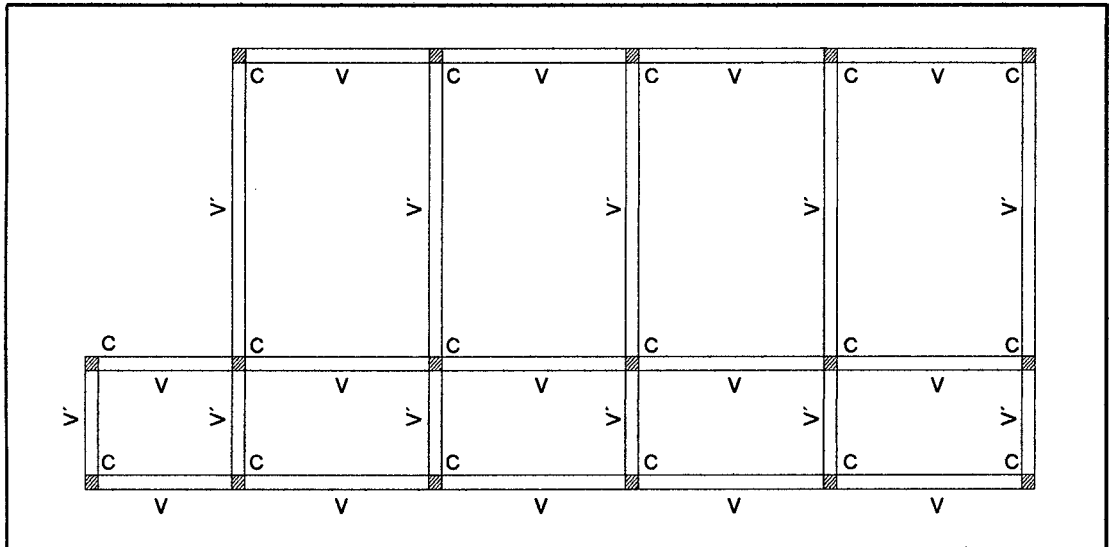


Figura 20. Configuración en planta de los elementos resistentes del pabellón 1.

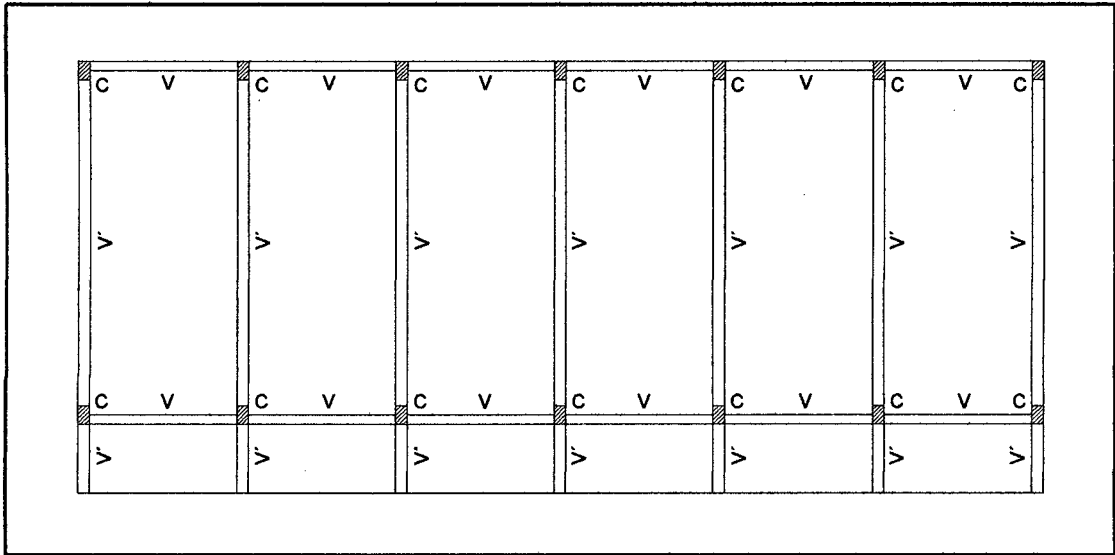


Figura 21. Configuración en planta de los elementos resistentes del pabellón 2.

De la Fig 20 y Fig 21, podemos deducir que: las líneas resistentes verticales (columnas) y horizontales (vigas) son ortogonales en sus diferentes direcciones, no encontrándose dispersas en cualquier dirección de la planta. Por tanto los pabellones 1 y 2 se calificaron en la clase A (bueno).

4.1.2. Calidad del sistema resistente

Se ha realizado una inspección visual del estado actual de la mampostería, con la finalidad de tener la calificación más precisa posible (Fig 22, 23, 24, 25):

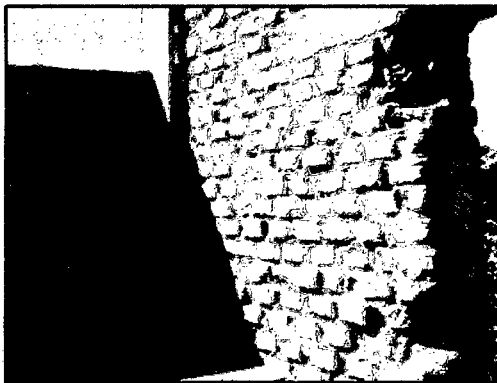


Figura 22. Pabellón 1. Mampostería de ladrillo de mala calidad y sin buen ligamento.



Figura 23. Pabellón 1. Mampostería de ladrillo de mala calidad susceptible al agrietamiento.

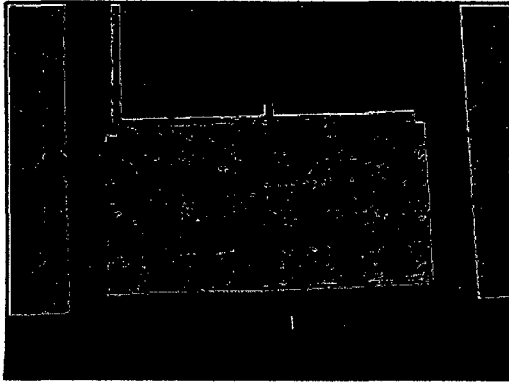


Figura 24. Pabellón 2. Mampostería de ladrillo de buena calidad y con buen ligamento.

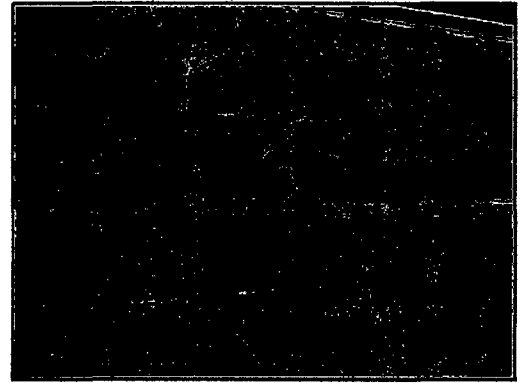


Figura 25. Pabellón 2. Mampostería de ladrillo homogénea y de tamaño constante.

Como resultado de las observaciones realizadas se calificó al pabellón 1 en la clase C (malo), debido a que está conformado por ladrillos de mala calidad y en avanzado estado de deterioro, además las juntas de mortero no cumplen con los espesores especificados en el RNE - E.070, 2014.

El pabellón 2 se calificó en la clase A (bueno), debido a que las unidades de albañilería que lo constituyen se encuentran en buen estado, y el ligamento que las une es del espesor adecuado según el artículo 10.2 del RNE - E.070., 2014.

4.1.3. Resistencia convencional

➤ Uso de normativa antisísmica

Debido a que el pabellón 1 fue construido en el año 1987, se asume que emplearon la segunda norma peruana publicada en el año 1977. Por tanto se calificó este sub parámetro en la clase C (malo), por su antigüedad y por la falta de criterios sismorresistentes que presentaba esta normativa.

El pabellón 2 fue construido en el año 1998, se asume que utilizaron en su diseño la norma publicada en el año 1997 la cual fue implementada debido al sismo de 1996 ocurrido en Nazca en donde se pudieron apreciar serios daños ocasionados a los colegios del INFES. En ese sismo se comprobó que las deformaciones laterales de las edificaciones eran mayores que los resultados que se obtenían con los coeficientes de la norma sísmica de 1977. Por tanto se calificó este sub parámetro en la clase B

(regular), debido a que en esta norma ya se consideraban parámetros sísmicos para evitar el colapso de las estructuras, sin embargo esta norma es algo antigua.

➤ **Momento de inercia y módulo de sección en columnas:** Se evaluó en qué dirección se produce el mayor daño en columnas debido a momento flexionante causado por sismo, se determinó el momento de inercia y el módulo de sección (Tabla 15), para ello se utilizó la ecuación 2.

Tabla 15. Momento de inercia y módulo de sección de las columnas de los pabellones 1 y 2.

Pabellón	B (cm)	H (cm)	I_{xx} (cm ⁴)	I_{yy} (cm ⁴)	Z_x (cm ³)	Z_y (cm ³)
1	30	30	67 500	67 500	4 500	4 500
2	25	40	133 333	52 083	6 667	4 167

El pabellón 1 presenta igual momento de inercia y módulo de sección en ambas direcciones (x,y), por tanto las columnas soportarán igual momento resistente ya sea en x o y. Se calificó a este pabellón en la clase A (bueno) debido a que el momento flexionante causado por un sismo será resistido por igual en ambas direcciones.

De la Tabla 15 podemos darnos cuenta que para el pabellón 2 el momento de inercia y el módulo de sección es mucho menor en la dirección y, por tanto en esta dirección la sección de la columna es menos resistente al momento flexionante causado por un sismo. Se calificó a este pabellón en la clase B (regular) debido a la falta de resistencia en la dirección y.

➤ **Número de pisos de la edificación**

Se calificó a los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal dentro de la clase A (bueno), debido a que ambos tienen menos de 3 niveles y pertenecen a la tipología de hormigón armado.

4.1.4. Posición del edificio y cimentación

Los pabellones de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado se encuentran posicionados sobre suelo areno arcilloso, de consistencia media, expansibilidad media, plasticidad baja, y con capacidad portante entre 1,10 a 1,20 kg/cm² (INDECI - PNUD, 2005). En el Anexo D se muestran los mapas de microzonificación de suelos y geotécnico de la ciudad de Jaén.

La pendiente del terreno para ambos pabellones se realizó mediante una inspección visual (Fig 26 y Fig 27).



Figura 26. Pabellón 1. Edificio cimentado sobre terreno con pendiente menor al 10%.

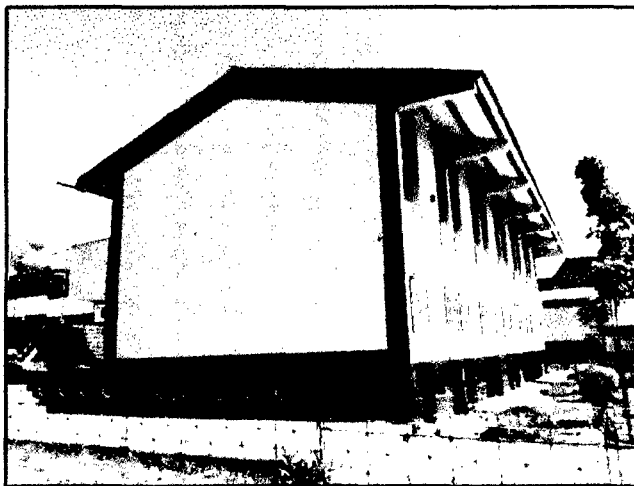


Figura 27. Pabellón 2. Edificio cimentado sobre terreno con pendiente plana.

Los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal se calificaron en la clase A (bueno), debido a que se encuentran cimentados sobre suelo estable, con cotas de fundación al mismo nivel, y con pendiente inferior al 10%.

4.1.5. Diafragma horizontal (entrepisos)

Para la asignación de los pabellones 1 y 2 dentro de una de las clases, se realizó una inspección visual (Fig 28 y Fig 29).

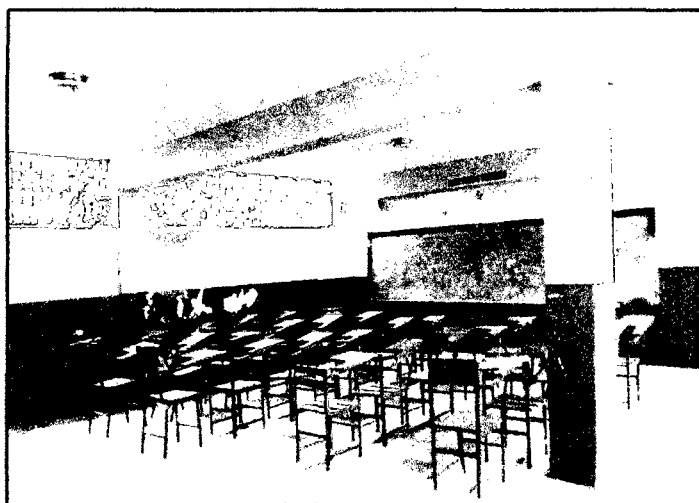


Figura 28. Pabellón 1. Diafragma rígido correctamente conectado a los elementos resistentes.



Figura 29. Pabellón 2. Diafragma rígido correctamente conectado a los elementos resistentes.

Como resultado de las observaciones se calificó a los pabellones 1 y 2 en la clase A (bueno), debido a que no existe deformabilidad del diafragma, y la conexión entre el diafragma y los elementos resistentes es eficaz.

4.1.6. Configuración en planta

➤ **Esquinas entrantes:** Para la configuración en planta del pabellón 1 (Fig 30 (a)), se obtuvo los siguientes resultados: dirección X: $3,4 < 0,2 * 22,1$; dirección Y: $6,6 > 0,2 * 9,40$. En base a estos resultados se calificó al pabellón 1 en la clase B (regular), debido a que en la dirección “y” la dimensión de la esquina entrante es mayor que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta.

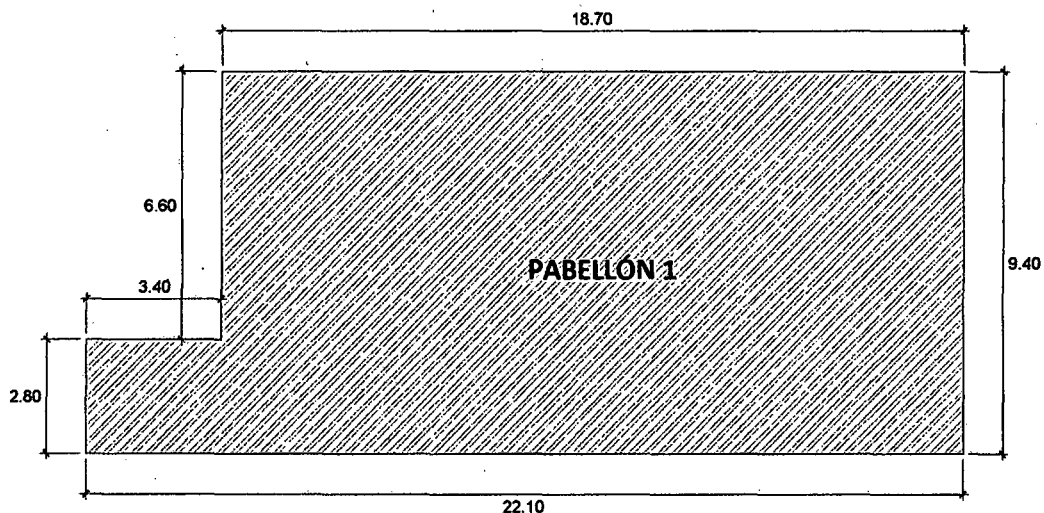


Figura 30 (a). Configuración en planta del pabellón 1.

En el caso de la configuración en planta del pabellón 2 (Fig 30 (b)), podemos apreciar que su forma es rectangular y no tiene esquinas entrantes, por tanto se calificó en la clase A (bueno) debido a que no presenta ningún tipo de irregularidad.

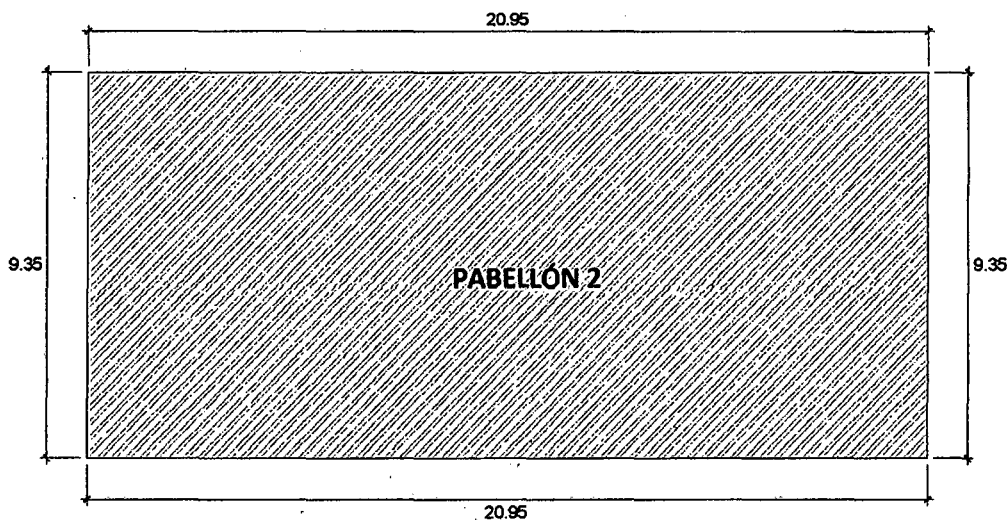


Figura 30 (b). Configuración en planta del pabellón 2.

➤ Torsión

Se ha determinado que los pabellones 1 y 2 durante un sismo severo sufrirán los desplazamientos laterales y desplazamientos relativos de entrepiso que se muestran en la Tabla 16. Estos desplazamientos fueron calculados con el programa SAP 2000 versión 17.1.0, el procedimiento detallado se muestra en el Anexo G.

Tabla 16. Desplazamientos laterales y desplazamientos relativos de entrepiso de los pabellones 1 y 2.

Pabellón	Entrepiso	Dx (m)	Dy (m)	Dx/He	Dy/He
1	1	0,3134	0,1208	0,0567	0,0166
	2	0,1376	0,0694	0,0444	0,0224
2	1	0,0303	0,0194	0,0095	0,0061

De los resultados obtenidos podemos deducir que los desplazamientos relativos de entrepiso son mayores en la dirección “X” que en la “Y”, siendo estos mayores al máximo permitido 0,007 en el RNE - E.030, 2014 (artículo 15.1).

Se calificó al pabellón 1 en la clase C (malo), debido a que este pabellón supera en ambas direcciones el desplazamiento lateral máximo permisible en más del 50%, por tanto se concluye que este pabellón presenta irregularidad torsional. Mientras que el pabellón 2 no presenta irregularidad torsional, pero su desplazamiento lateral en la dirección “x” supera el máximo permitido en el RNE - E.030, por lo que será necesario reforzar la estructura en esta dirección, se calificó a este pabellón en la clase B (regular).

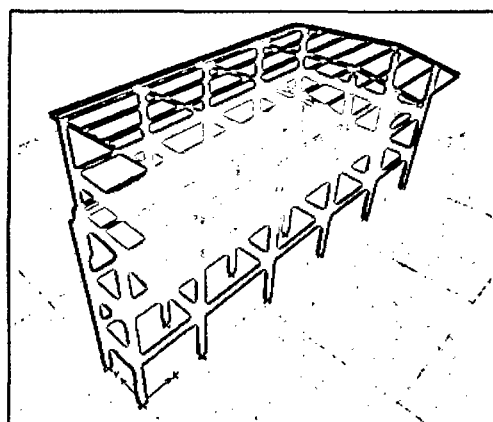


Figura 31 (a). Modelado de la estructura del pabellón 1 en el software SAP 2000.

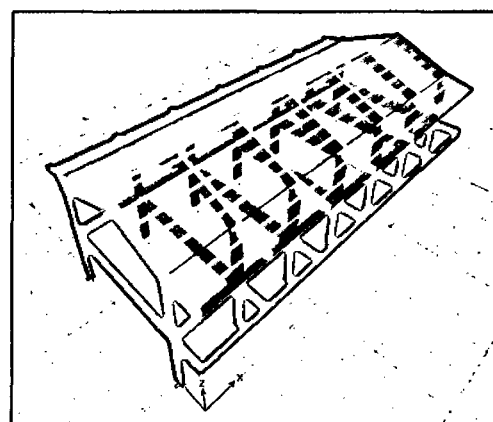


Figura 31 (b). Modelado de la estructura del pabellón 2 en el software SAP 2000.

4.1.7. Configuración en elevación

➤ Columna corta

Para evaluar el efecto de los vanos en las columnas se determinó la rigidez de la columna con su longitud total y la rigidez de la columna acortada por los vanos, llamada la columna corta. Para ello se utilizó la ecuación (5).

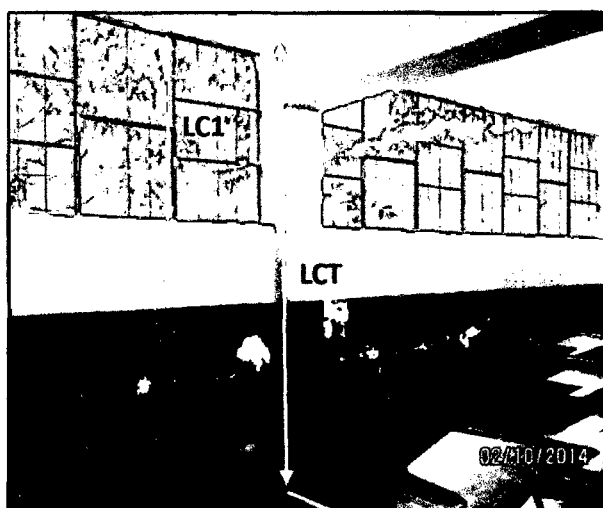


Figura 32. Longitudes de evaluación de la rigidez.

Tabla 17. Rigidez de la columna total y la columna corta N° 1.

Pabellón			Longitud de la columna total		Longitud de la columna Corta 1		Relación de K	
	LCT (m)	LC1 (m)	$12EI_x/L^3$	$12EI_y/L^3$	$12EI_x/L^3$	$12EI_y/L^3$	$\frac{K_{x_{C1}}}{K_{x_{CT}}}$	$\frac{K_{y_{C1}}}{K_{y_{CT}}}$
			(TNf/m)	(TNf/m)	(TNf/m)	(TNf/m)		
1	2,9	0,9	614,21	614,21	20 548,50	20 548,50	33,46	33,46
2	2,6	0,45	1 683,54	657,63	324 716,99	126 842,58	192,88	192,88

Tabla 18. Rigidez de la columna total y la columna corta N° 2.

Pabellón			Longitud de la columna total		Longitud de la columna Corta 1		Relación de K	
	LCT (m)	LC1 (m)	$12EI_x/L^3$	$12EI_y/L^3$	$12EI_x/L^3$	$12EI_y/L^3$	$\frac{K_{x_{C1}}}{K_{x_{CT}}}$	$\frac{K_{y_{C1}}}{K_{y_{CT}}}$
			(TNf/m)	(TNf/m)	(TNf/m)	(TNf/m)		
1	2,9	1,2	614,21	614,21	8 668,90	8 668,90	14,11	14,11
2	2,6	1,1	1 683,54	657,63	22 231,28	8 684,09	13,21	13,21

Finalmente se calificó este sub parámetro en la clase C (malo) para ambos pabellones, debido a la falta o inadecuada junta de construcción entre tabique - pórtico, y a la elevada rigidez que tendría que soportar la columna corta frente a un sismo, pues en algunos casos tendría que soportar hasta 192,88 veces más fuerza sísmica de lo que soportaría la columna larga.

➤ **Irregularidad vertical en masa**

Para los pabellones 1 y 2 se realizó el metrado de cargas por nivel (Tabla 19a y Tabla 19b), los cuales se muestran con mayor grado de detalle en los Anexos E y F respectivamente.

Tabla 19. (a) Pabellón 1. Metrado de cargas por nivel.

Nivel	Carga muerta (Cm)	Carga viva (Cv)	Masa por piso (Kg)	Masa acumulada (Kg)
1	133 023,3	40 476	173 499,3	173 499,3
2	142 762,0	36 550	179 312,0	352 811,3
3	40 641,3	-	40 641,3	393 452,6

Tabla 19. (b) Pabellón 2. Metrado de cargas por nivel.

Nivel	Carga muerta (Cm)	Carga viva (Cv)	Masa por piso (Kg)	Masa acumulada (Kg)
1	150 355,3	52 639,5	202 994,8	202 994,8
2	182 106,4	-	182 106,4	385 101,2

De los resultados de la Tabla 19 (a) nos podemos dar cuenta que el segundo nivel excede en 5 812,7 Kg la masa del primer nivel, con lo cual supera en 3,35% la masa del primer nivel. Mientras que de los resultados de la Tabla 19 (b), observamos que el peso del segundo nivel es menor al del primer nivel en 20 888,4 kg, con lo cual supera en 11,47% la masa del segundo nivel.

Por tanto se calificó a los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal en la clase A (bueno), debido a que no presentan irregularidad vertical en masa (masa de un piso mayor a 150% la de un piso adyacente).

➤ **Discontinuidad en los sistemas resistentes**

Para los pabellones 1 y 2 materia de evaluación, no se encontraron desalineamientos de los elementos estructurales verticales, ya sea por cambio de orientación o por un desplazamiento de magnitud mayor de la dimensión del elemento, como se puede ver en la Fig 33 (a) y Fig 33 (b). Por tanto ambos pabellones fueron calificados en la clase A (bueno).

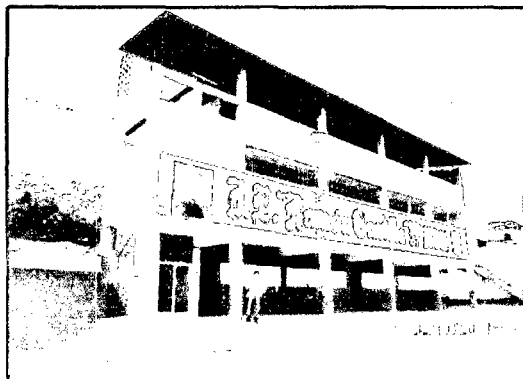


Figura 33 (a). Pabellón 1. Elementos estructurales verticales alineados.

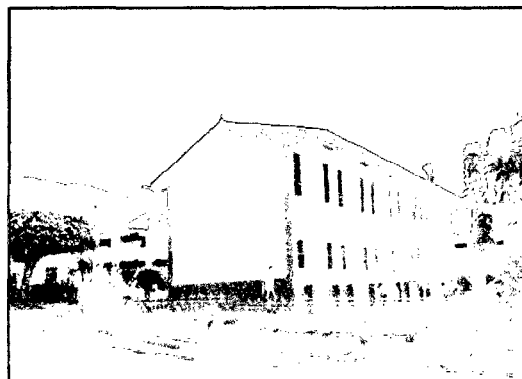


Figura 33 (b). Pabellón 2. Elementos estructurales verticales alineados.

4.1.8. Separación máxima entre líneas resistentes

Para el pabellón 1, el menor ancho b de la cara en compresión de la viga es 0,30 m, por tanto de acuerdo a lo especificado en el RNE - E.060, 2014 (artículo 10.4), la separación máxima entre los apoyos laterales de la viga debe ser de 15 m. Se verificó que la separación es de 6,30 m (Fig 34); por lo tanto este parámetro fue calificado en la clase A (bueno), debido a que no excede el valor máximo de 15 m.

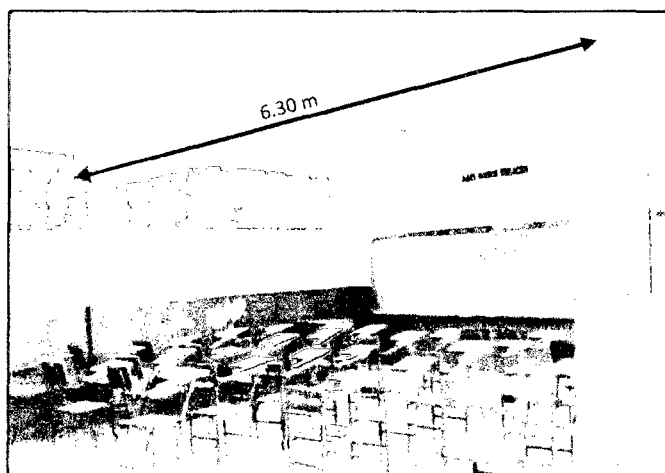


Figura 34. Pabellón 1. Separación máxima entre los apoyos laterales de la viga.

En el caso del pabellón 2, el menor ancho b de la cara en compresión de la viga es 0,25 m, por tanto de acuerdo con el RNE - E.060, 2014 (artículo 10.4), la separación máxima entre los apoyos laterales de la viga debe ser de 12,5 m. Se verifico que la separación es de 7,05 m (Fig 35); por lo tanto este parámetro fue calificado en la clase A (bueno), debido a que no se excede el valor máximo de 12,5 m.

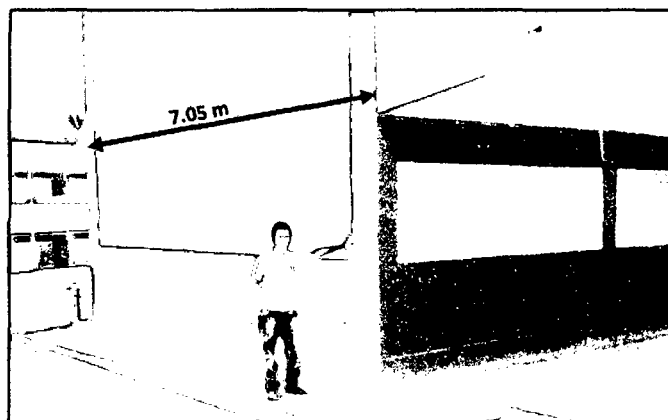


Figura 35. Pabellón 2. Separación máxima entre los apoyos laterales de la viga.

4.1.9. Tipo de cubierta

➤ Estado de conservación

En el caso del pabellón 1 su cubierta es del tipo inclinada, conformada por planchas de calamina apoyadas en armaduras metálicas de alma calada. Estas armaduras se encuentran en regular estado de conservación, Fig 36 (a) y Fig 36 (b). Por tanto se calificó este sub parámetro en la clase B (regular).

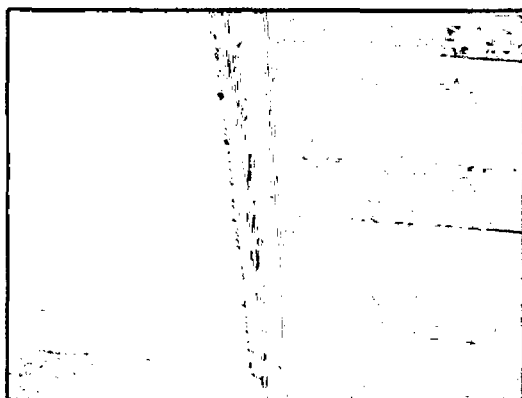


Figura 36 (a). Cubierta del pabellón 1 en regular estado de conservación.

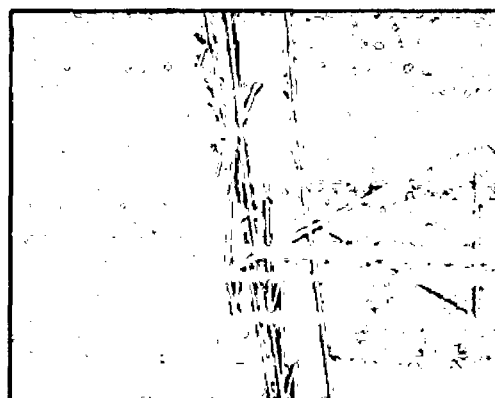


Figura 36 (b). Cubierta del pabellón 1 en regular estado de conservación.

La cubierta del pabellón 2 es del tipo inclinada, conformada por quincha (caña brava y barro) apoyada sobre travesaños de madera, los cuales se encuentran separados 0,70 m, con un acabado de capa de yeso la cual se encuentra en mal estado (Fig 37). Está cubierta se apoya a la vez sobre vigas cunbreras las cuales se encuentran ubicadas cada 3,45 m en el sentido longitudinal de la estructura. El acabado final en la parte superior de la cubierta es de eternit (Fig 38). Este sub parámetro se calificó en la clase B (regular), debido a su regular estado de conservación.



Figura 37. Desprendimiento de capa de yeso en la cubierta del pabellón 2.

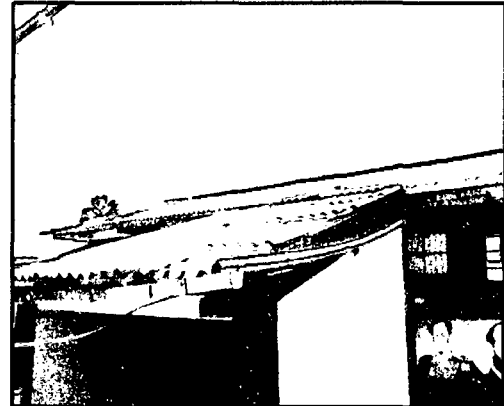


Figura 38. Cubierta de eternit del pabellón 2 en regular estado de conservación.

➤ **Conexión con la estructura:** Se realizó una inspección visual de ambos pabellones, con la finalidad de calificar este sub parámetro dentro de una de las tres clases: A: bueno, B: regular, C: malo.

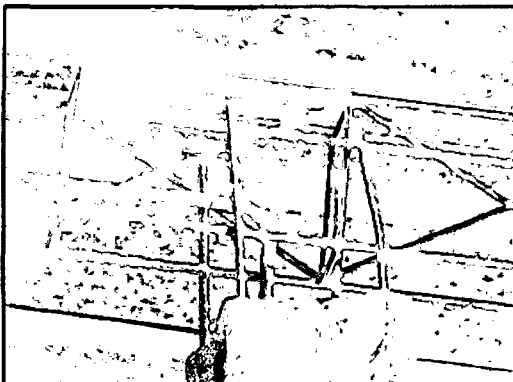


Figura 39 (a). Estructura metálica de la cubierta mal conectada al sistema resistente.

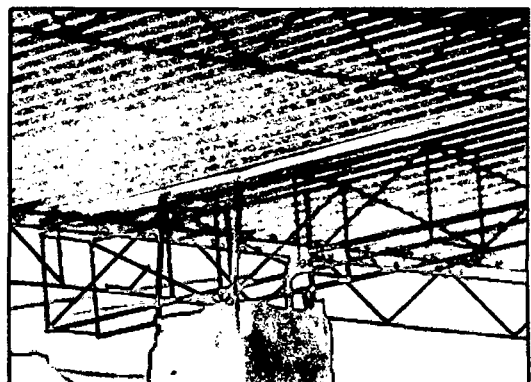


Figura 39 (b). Estructura metálica de la cubierta mal conectada al sistema resistente.

De la Fig 39 (a) y Fig 39 (b), se calificó a la cubierta del pabellón 1 en la clase B (regular), debido a que no se encuentra correctamente conectada al sistema resistente de la estructura.

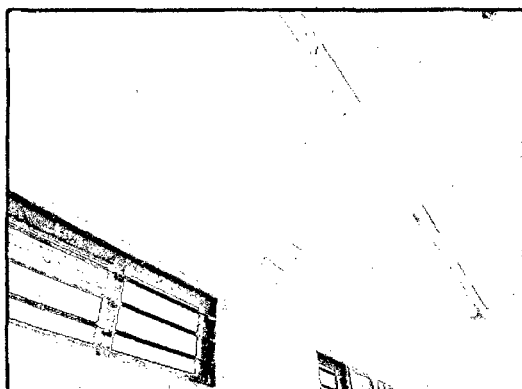


Figura 40 (a). Cubierta del pabellón 2 correctamente conectada al sistema resistente.

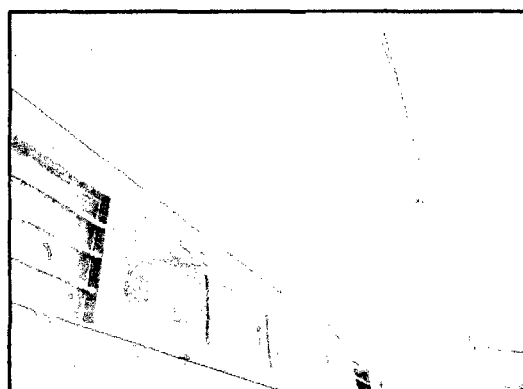


Figura 40 (b). Cubierta del pabellón 2 correctamente conectada al sistema resistente.

De la Fig 40 (a) y Fig 40 (b), se calificó a la cubierta del pabellón 2 en la clase A (bueno), debido a que se encuentra correctamente conectada al sistema resistente de la estructura.

4.1.10 Elementos no estructurales

Para evaluar este parámetro se han tomado dos tabiques típicos de cada pabellón, se comparó el momento actuante M_s en KN-m/m (ecuación 6) y el momento resistente M_r en KN-m/m (ecuación 8), los resultados se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Estabilidad de tabiques de los pabellones 1 y 2.

Pabellón	Muro	Factores							M_s	M_r	Resultado
		C1	m	t	γ	ω	a	$M_s : M_r$			
		adim.	adim.	m	KN/m ³	KN/m ²	m				
1	M1	0,9	0,110	0,25	18	1,94	2,5	1,34	1,04	Inestable	
	M2	1,3	0,116	0,15	18	1,68	1,5	0,44	0,38	Inestable	
2	M1	0,9	0,113	0,25	18	1,94	2,6	1,48	1,04	Inestable	
	M2	1,3	0,500	0,17	18	1,91	1,5	2,15	0,48	Inestable	

Finalmente se calificó este parámetro en la clase C (malo), debido a que en los tabiques de ambos pabellones, el momento resistente es mucho menor que el momento actuante, por tanto son inestables ante un eventos sísmico.

4.1.11. Estado de conservación

Los resultados de la encuesta que se aplicó al personal docente y administrativo de la Institución Educativa Estatal, se muestran en las Fig 41, 42, 43, 44:

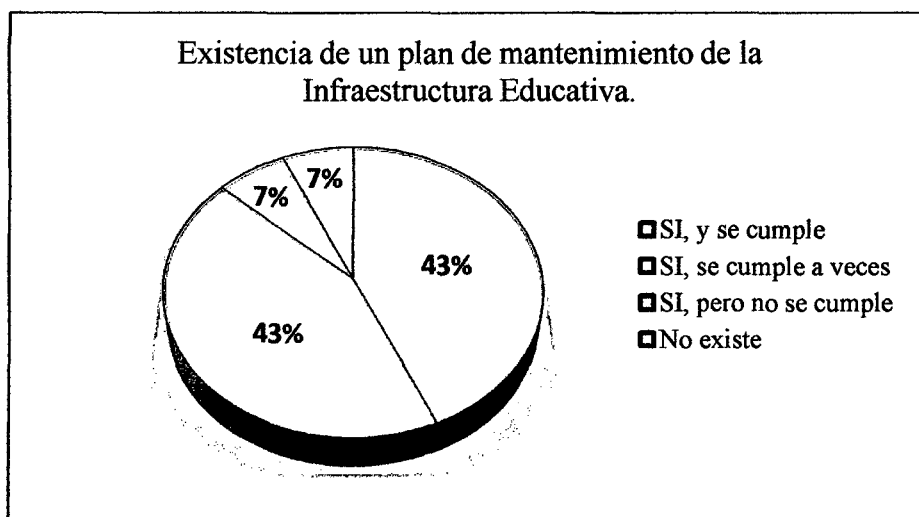


Figura 41. Existencia de un plan de mantenimiento de la infraestructura Educativa.

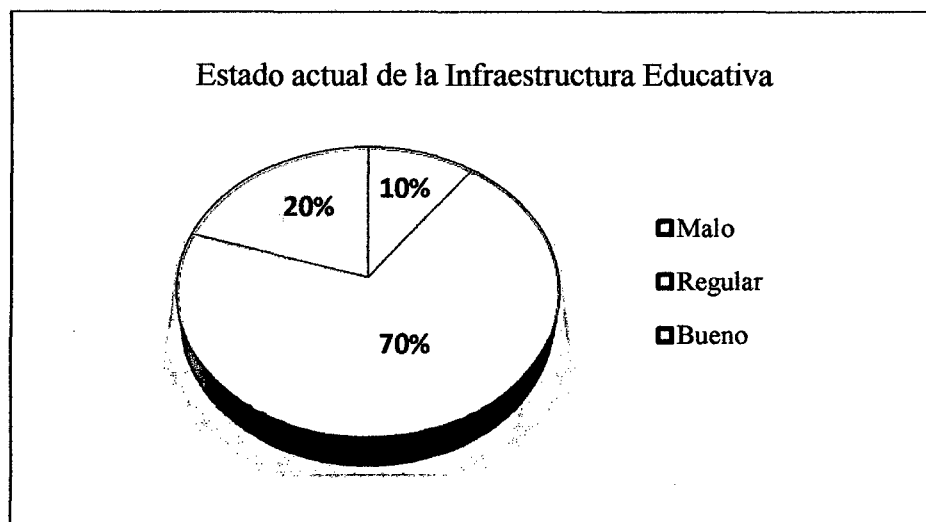


Figura 42. Estado actual de la infraestructura Educativa.

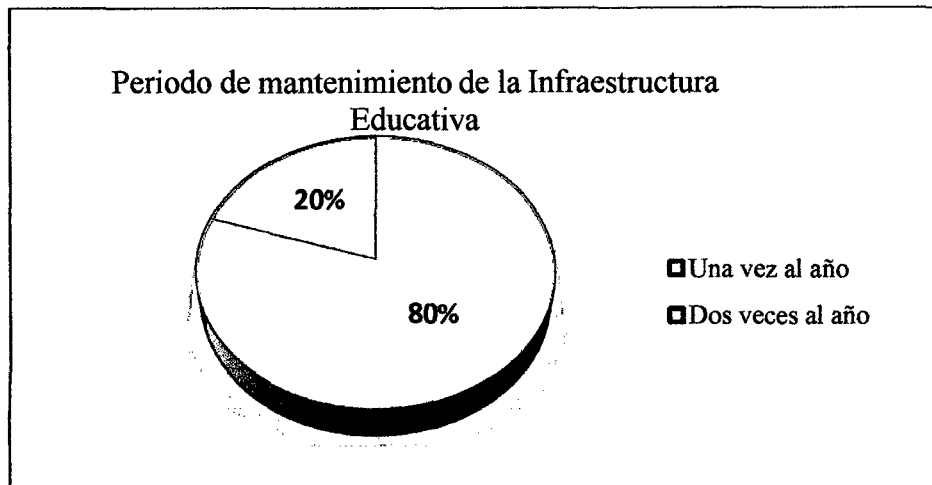


Figura 43. Periodo de mantenimiento de la infraestructura Educativa.

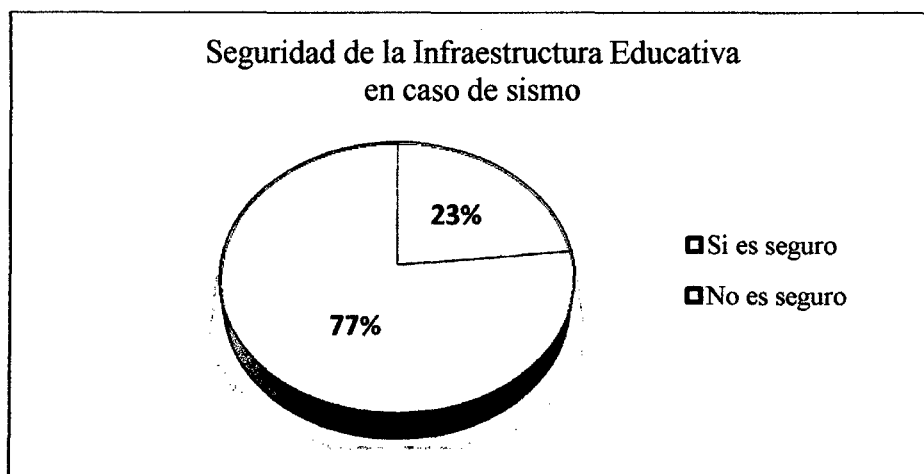


Figura 44. Seguridad de la infraestructura Educativa en caso de sismo.

Además de la encuesta, se realizó una inspección visual, para determinar el estado de conservación de la estructura, unidad de construcción y aspecto físico; con la finalidad de tener la calificación más precisa posible.

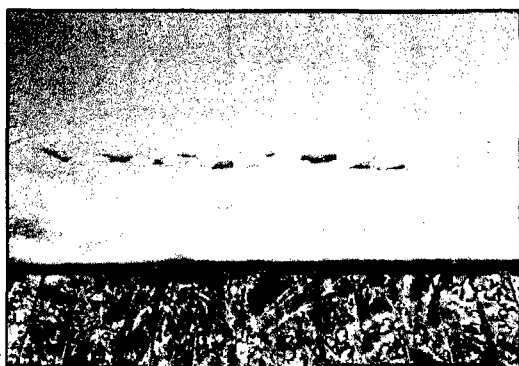


Figura 45. Pabellón 1. Fisura en losa de techo del primer nivel.



Figura 46. Pabellón 1. Fisura en unión tabique columna.



Figura 47. Pabellón 1. Picado de viga y columna para colocar tubos de instalaciones eléctricas.

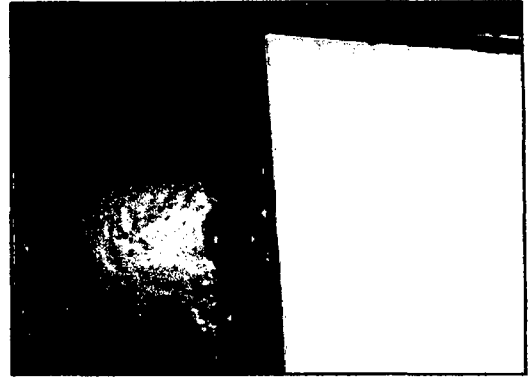


Figura 48. Pabellón 2. Inadecuada junta de construcción entre tabique y columna.

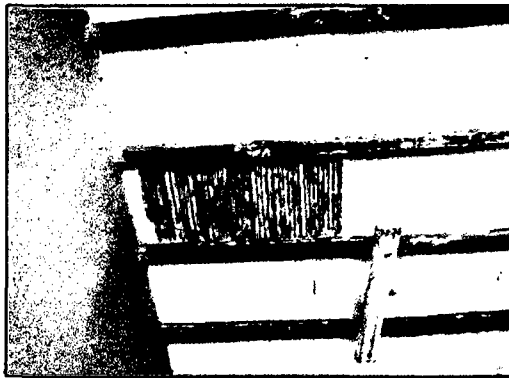


Figura 49. Cubierta del pabellón 2 en mal estado de conservación.

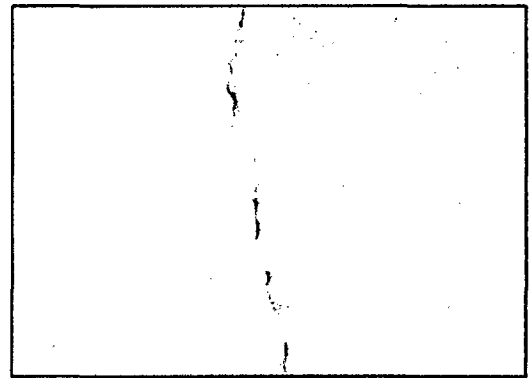


Figura 50. Pabellón 2. Fisura en losa de techo del primer nivel.

Con los resultados de la encuesta y de las observaciones realizadas, se pudo apreciar que: la estructura, la unidad de construcción y el aspecto físico, demuestran que han sufrido deterioro en cuanto a su calidad y conservación, por tanto se calificó a los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal en la clase B (regular).

Finalmente el índice de vulnerabilidad final para cada pabellón, se determinó mediante la calificación de los sub parámetros evaluados anteriormente, los cuales fueron afectados por un factor de peso W_i , para posteriormente aplicar la ecuación 1 obteniendo el índice de vulnerabilidad global de cada pabellón (Tablas 21 y 22).

Tabla 21. Índice de vulnerabilidad sísmica del pabellón 1.

Nº	Descripción del Parámetro	Descripción del sub parámetro	Clase (Ki)			Peso	Total
			A	B	C	Wi	
1	Organización del sistema resistente	Calidad de líneas resistentes	0	1	2	2,00	4,00
		Configuración en planta de las líneas resistentes	0	1	2	2,00	0
2	Calidad del sistema resistente	Calidad del tipo de mampostería	0	1	2	1,00	2,00
3	Resistencia convencional	Uso de normativa antisísmica (según año)	-1	0	1	0,30	0,30
		Momento de inercia y módulo de sección en columnas	-1	0	1	0,50	-0,50
		Número de pisos de la edificación	-1	0	1	0,20	-0,20
4	Posición del edificio y cimentación.	Condiciones y pendiente del terreno	0	1	2	1,00	0
5	Diafragma horizontal (entrepisos)	Según deformabilidad y conexión con los elementos resistentes	0	1	2	1,00	0
6	Configuración en planta	Esquinas entrantes	0	1	2	0,60	0,60
		Torsión	0	1	2	0,40	0,80
7	Configuración en elevación	Columna corta	0	1	2	0,60	1,20
		Irregularidad vertical en masa	0	1	2	0,50	0
		Discontinuidad de los elementos estructurales	0	1	2	0,90	0
8	Separación entre líneas resistentes	Distancia máxima entre líneas resistentes	0	1	2	1,00	0
9	Tipo de cubierta	Estado de conservación	0	1	2	0,40	0,40
		Conexión con la estructura	0	1	2	0,60	0,60
10	Elementos no estructurales	Estabilidad de los tabiques	0	1	2	1,00	2,00
11	Estado de conservación	Estado actual de la estructura	0	1	2	2,00	2,00
						$\sum W_i \cdot K_i$	13,20
						Iv (%)	41,76

Tabla 22. Índice de vulnerabilidad sísmica del pabellón 2.

N°	Descripción del Parámetro	Descripción del sub parámetro	Clase (Ki)			Peso	Total
			A	B	C	Wi	
1	Organización del sistema resistente	Calidad de líneas resistentes	0	1	2	2,00	0
		Configuración en planta de las líneas resistentes	0	1	2	2,00	0
2	Calidad del sistema resistente	Calidad del tipo de mampostería	0	1	2	1,00	0
3	Resistencia convencional	Uso de normativa antisísmica (según año)	-1	0	1	0,30	0
		Momento de inercia y módulo de sección en columnas	-1	0	1	0,50	0
		Número de pisos de la edificación	-1	0	1	0,20	-0,20
4	Posición del edificio y cimentación.	Condiciones y pendiente del terreno	0	1	2	1,00	0
5	Diafragma horizontal (entrepisos)	Según deformabilidad y conexión con los elementos resistentes	0	1	2	1,00	0
6	Configuración en planta	Esquinas entrantes	0	1	2	0,60	0
		Torsión	0	1	2	0,40	0,40
7	Configuración en elevación	Columna corta	0	1	2	0,60	1,20
		Irregularidad vertical en masa	0	1	2	0,50	0
		Discontinuidad de los elementos estructurales	0	1	2	0,90	0
8	Separación entre líneas resistentes	Distancia máxima entre líneas resistentes	0	1	2	1,00	0
9	Tipo de cubierta	Estado de conservación	0	1	2	0,40	0,40
		Conexión con la estructura	0	1	2	0,60	0
10	Elementos no estructurales	Estabilidad de los tabiques	0	1	2	1,00	2,00
11	Estado de conservación	Estado actual de la estructura	0	1	2	2,00	2,00
						$\sum w_i \cdot K_i$	5,80
						Iv (%)	20,00

En la Tabla 21, se aprecia que el pabellón 1 tiene un índice de vulnerabilidad sísmica alto, debido a la mala calidad de sus líneas resistentes, mala calidad de su mampostería, uso de normativa antisísmica demasiado antigua, desplazamientos relativos de entrepiso que superan lo establecido en el RNE - E.030, falla de columna corta, inestabilidad de tabiques y regular estado de conservación de la estructura. Todos estos sub parámetros en conjunto hacen que el pabellón pueda colapsar en caso de un evento sísmico severo.

En la Tabla 22, se aprecia que el pabellón 2 tiene un índice de vulnerabilidad sísmica medio, debido a la elevada rigidez que tendría que soportar la columna corta frente a un sismo, sus desplazamientos relativos de entrepiso superan lo establecido en el RNE - E.030, uso de normativa antisísmica desfasada, inestabilidad de tabiques y regular estado de conservación de la estructura. Todos estos sub parámetros en conjunto hacen que la estructura tenga vulnerabilidad sísmica media ante un evento sísmico severo.

De los resultados mostrados en las Tablas 21 y 22, podemos afirmar que los pabellones 1 y 2 de la I.E. Estatal Ramón Castilla y Marquesado, ante un sismo severo (0.4g) sufrirán fallas iniciales en las columnas, produciéndose una falla frágil de columna corta; sus tabiques colapsarán, se producirán desplazamientos relativos de entrepiso, quedando los pabellones cercanos al colapso.

Los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal, al tener vulnerabilidad sísmica alta y media respectivamente, no cumplen con la filosofía ni los principios de diseño sismorresistente propuestos en el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE - E.030, por consiguiente: sus edificaciones colapsaran provocando pérdida de vidas humanas, no habrá continuidad de los servicios y los daños a la propiedad serán irreparables.

4.2. Discusión

Luego de haber evaluado la vulnerabilidad sísmica de los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal, podemos discutir nuestros resultados con otras investigaciones similares, como la de Bustamante et al. (2007), con quien se obtuvo resultados parecidos, por ejemplo: La Institución Educativa Estatal presenta una vulnerabilidad por origen debido a que ambos pabellones se construyeron con técnicas

que no consideraban la sismo resistencia para su estructuración, así mismo, ha existido una vulnerabilidad progresiva debido al deterioro de las estructuras. Por lo tanto, es muy probable que si ocurren sismos fuertes, se presenten daños irreparables en los pabellones de la I.E.E. Ramón Castilla y Marquesado.

Otra investigación con la cual podemos comparar resultados es la desarrollada por Alvarado (2013), en la cual se obtuvieron resultados diferentes a los de la presente investigación: Las estructuras de hormigón armado y de albañilería confinada de la ciudad de Valdivia poseen en general una buena configuración estructural y características geométricas. Esto se debe a que las estructuras de la ciudad de Valdivia poseen buenos criterios de estructuración; a diferencia de los pabellones de la I.E.E. Ramón Castilla y Marquesado, los cuales fueron construidos en décadas en que los códigos de construcción no consideraban de manera decidida la protección contra terremotos.

Una investigación peruana con la cual podemos discutir resultados, es la desarrollada por Mosquera (2012), con quien se obtuvo resultados muy semejantes: Los pabellones 1A, 1B, 1C de la Facultad de Ingeniería de la UNC tienen vulnerabilidad sísmica alta, por lo que ante un sismo severo se producirán fallas de columna corta, sus tabiques colapsarán debido a la falta de elementos de arriostre, llevando esto al posible colapso de las edificaciones. Los resultados de ambas investigaciones tienen semejanza debido a que las edificaciones se construyeron en décadas donde no se consideraban criterios de sismo resistencia, así como al deterioro que han sufrido en el tiempo.

De los resultados obtenidos, la hipótesis no queda demostrada en su totalidad, debido a que el pabellón 1 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén – Cajamarca, tiene vulnerabilidad sísmica alta; mientras que el pabellón 2 tiene vulnerabilidad sísmica media.

4.3. Propuesta

En el caso del pabellón 2, se propone como solución a los posibles daños que podría sufrir en caso de un evento sísmico, incorporar muros y vigas de concreto armado en las fachadas para incrementar la resistencia lateral, este reforzamiento cambiaría la arquitectura original: ingreso a aulas y ubicación de las pizarras, dichos muros serán

integrados con las columnas que se encuentren en la fachada posterior en los ejes 2-2 y eje 4-4, perpendiculares al eje A-A, y en la fachada principal con las columnas que se encuentren en los ejes 4-4 y eje 6-6, perpendiculares al eje B-B, (Fig 51).

La incorporación de estos muros acoplados permitirá que la edificación tenga mayor rigidez y disminuya los desplazamientos laterales de entre piso, evitando la falla típica de columna corta y haciendo más resistente y rígido al sistema estructural.

Otra propuesta para mejorar el comportamiento estructural del pabellón 2 sería incorporar columnas T y L, columnas T en el interior del pabellón y columnas L en las esquinas del pabellón, con este cambio se mejoraría la resistencia y rigidez global de la estructura, este reforzamiento modificaría la arquitectura original al reducir las ventanas y al reubicar las puertas (Fig 52).

En cualquiera de los dos casos, el reforzamiento debe ser diseñado y calculado exclusivamente para cada edificación, para colocar los nuevos estribos se perforará la columna antigua con taladros especiales para no deteriorarla; antes de vaciar el nuevo concreto, se debe embeber la superficie antigua con aditivos especiales que unan el concreto viejo con el concreto nuevo.

En el caso del pabellón 1, se sugiere la reconstrucción debido a los altos daños que tiene y a que esta edificación ha alcanzado su periodo de vida útil. Como solución alternativa se sugiere incorporar columnas T y L, columnas T en el interior del pabellón y columnas L en las esquinas del pabellón (Fig 53).

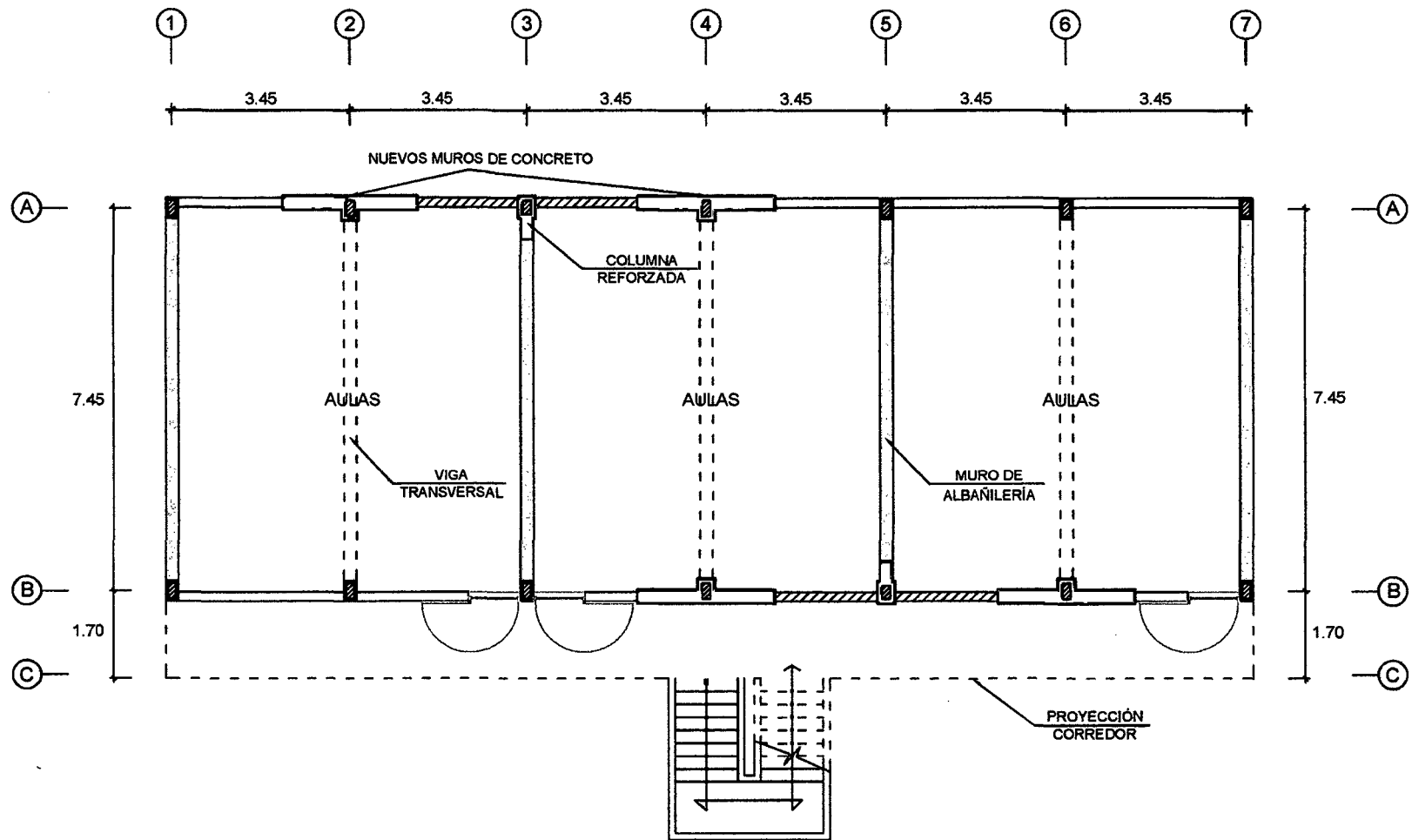


Figura 51. Reforzamiento del pabellón 2 con muros y vigas de concreto armado.

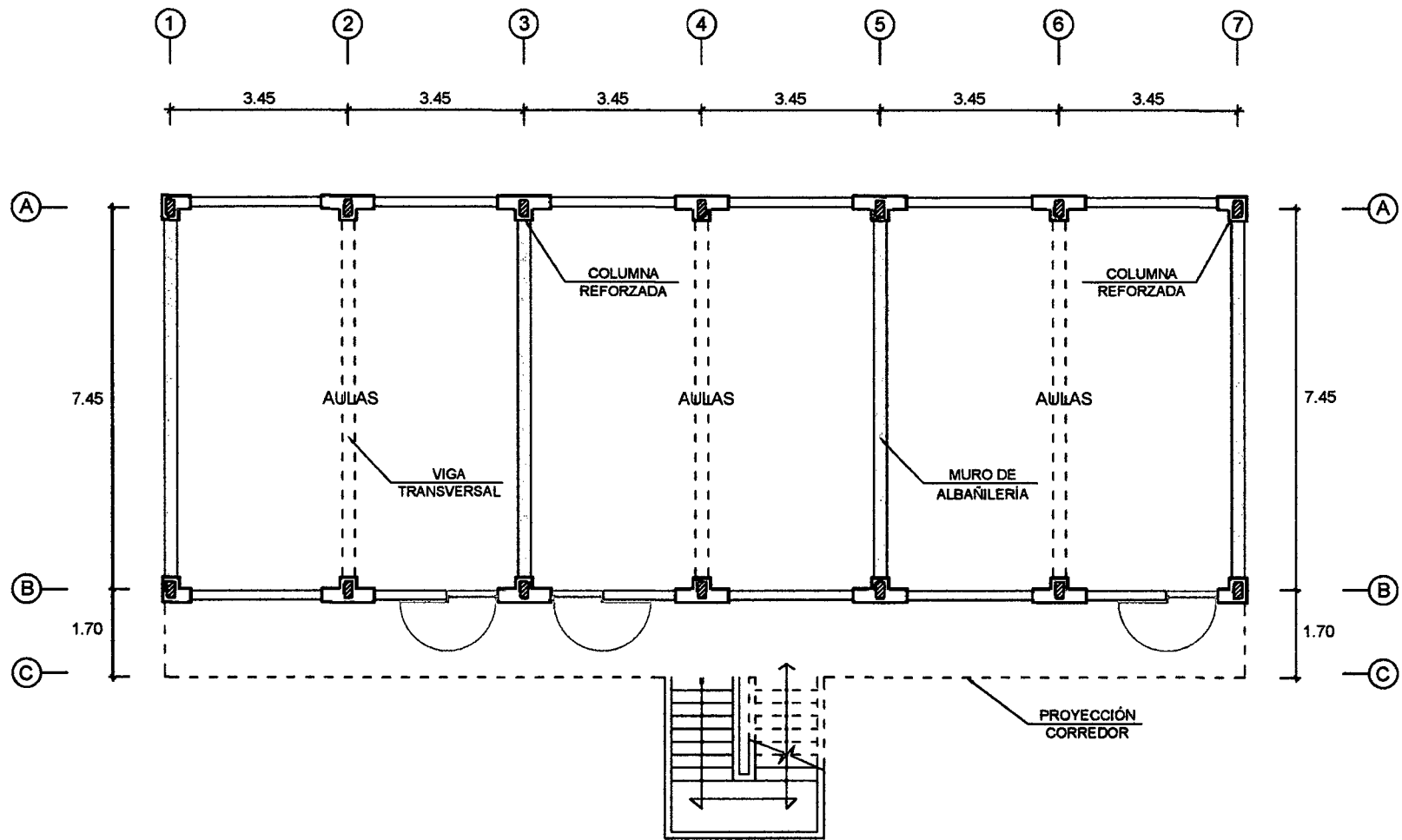


Figura 52. Reforzamiento del pabellón 2 incorporando columnas T y L.

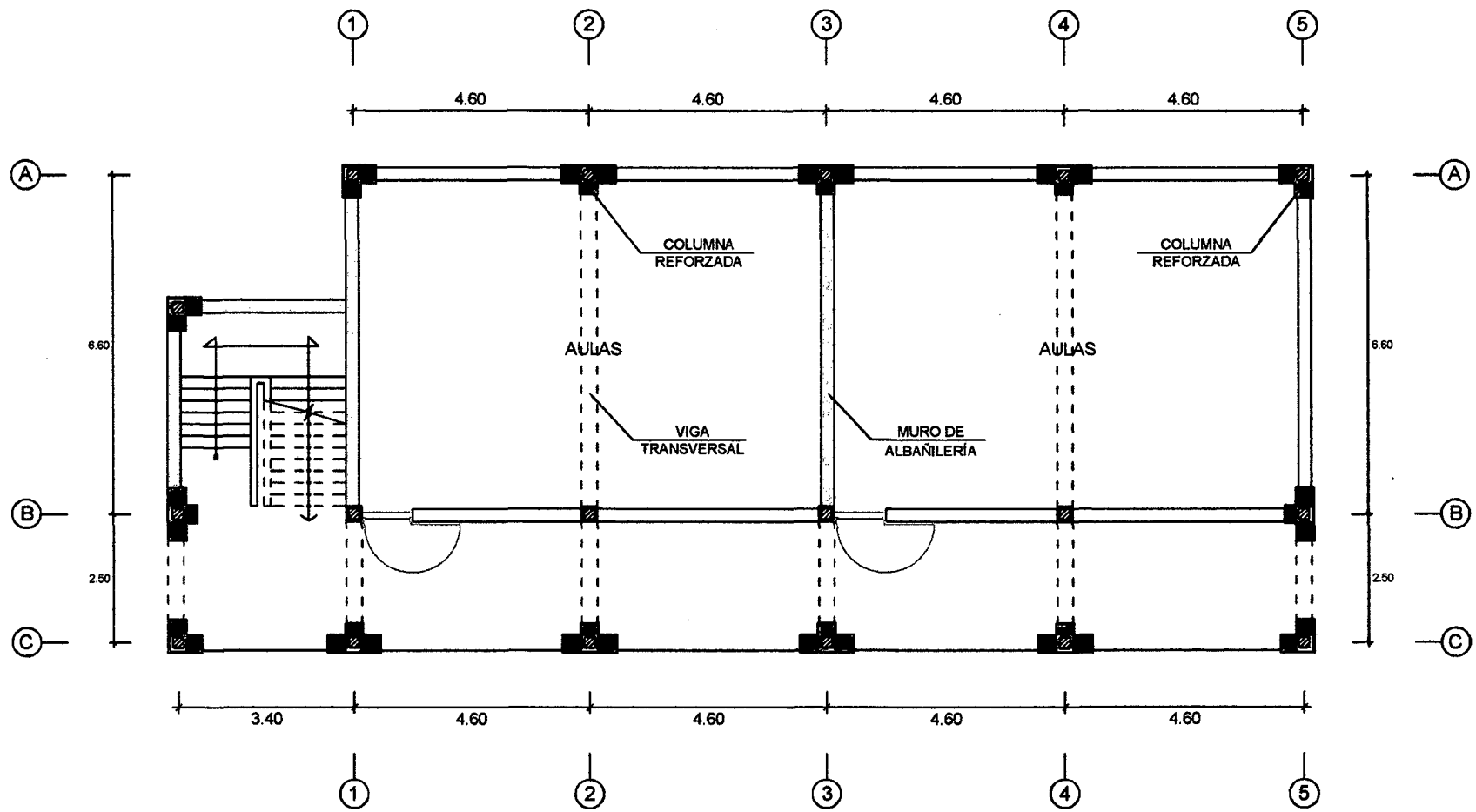


Figura 53. Reforzamiento del pabellón 1 incorporando columnas T y L.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los pabellones 1 y 2 de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado, tienen vulnerabilidad sísmica alta y media respectivamente; a causa de su comportamiento sísmico inadecuado, elevada rigidez de la columna corta, inestabilidad de sus tabiques y su regular a mal estado de conservación.
- Las características geométricas, constructivas y estructurales que más influyeron en la vulnerabilidad sísmica de los pabellones evaluados fueron: desplazamientos relativos de entrepiso, falla de columna corta, calidad del tipo de mampostería, calidad de líneas resistentes y uso de la normativa antisísmica.
- El reforzamiento con vigas y muros de concreto armado o el reforzamiento con columnas T y L, mejoraría la resistencia y rigidez de ambos pabellones, disminuyendo los desplazamientos laterales de entrepiso y evitando la falla de columna corta.

5.2. Recomendaciones

- El método del índice de vulnerabilidad sísmica desarrollado en la presente investigación es solo un índice estimativo de la respuesta de cada pabellón ante un posible evento sísmico, por lo que se recomienda complementarlo con cálculos de índice de daño. Esto representaría una gran ventaja con respecto a otros métodos puesto que no solo se limitaría a dar un número que indique la vulnerabilidad sísmica de cada pabellón, sino que alcanzaría resultados del grado de daño que pueden sufrir los pabellones después de un sismo.
- Los resultados de esta investigación deben servir como una herramienta para la planificación, así como una base para diseñar y promover programas de prevención ante un evento sísmico. Por lo que se recomienda a las autoridades locales y a los organismos competentes tomar las medidas necesarias para mejorar el comportamiento estructural de los pabellones de la Institución Educativa Estatal Ramón Castilla y Marquesado del distrito de Jaén, con el fin de salvaguardar la vida de los escolares y del personal que allí labora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvayay Barrientos, DA. 2013. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Casco Urbano de la Ciudad de Valdivia, Empleando Índices de Vulnerabilidad. Tesis (Ingeniero Civil en Obras Civiles). Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. 203p.
- Arnold, C; Reitherman, R. 1987. Configuración y Diseño Sísmico de Edificios. 1º ed. México D.F. Editorial Limusa. 298p.
- Astorga Mendizábal, MA; Aguilar Velez, R. 2006. Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones peruanas. Tesis M.Sc. Ingeniería Civil. Lima, PE, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados. 90p.
- Bernal, I; Tavera, H. 2002. Geodinámica, sismicidad y energía sísmica en Perú. Lima, PE. Instituto Geofísico del Perú – Centro Nacional de Datos Geofísicos. 65p.
- Broto, C. 2009. Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. 16 ed. Barcelona ES. Editorial Links Internacional. 1389p.
- Bustamante Vergara, RE; Castro Navarro, CM. y Márquez Zabala, JE. 2007. Estudio de vulnerabilidad sísmica en las instituciones educativas de la zona rural norte del municipio de Sincelejo. Tesis Ingeniero Agrícola. Sucre, CO, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería. 134p.
- Cadena Villavicencio, HJ. 2013. Vulnerabilidad y reforzamiento sísmico de estructuras antiguas de mampostería no confinada. Aplicación al caso de edificio colonial del colegio Liceo Fernández Madrid Quito. Tesis Ingeniero Civil. Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército, 166p.

- Calavera Ruiz, J. 2005. Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado. 1° ed. Madrid ES. Instituto Técnico de Materiales y Construcción. 775p.
- Comisión Multisectorial de Reducción de Riesgos en el Desarrollo. 2004. Mapa de calificación de provincias según niveles de peligros sísmicos. Lima, PE. Esc. 3 000 000. Colores (Coordenadas Geográficas).
- Goytia Torres, IR; Villanueva Inca, R. 2001. Modernización de la enseñanza aprendizaje en la asignatura de Ingeniería Antisísmica. Cochabamba, BO. 240 P.
- INDECI - PNUD. 2005. Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Jaén. Jaén, PE, Instituto Nacional de Defensa Civil - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 259p.
- Maldonado Rondón, E; Chio Cho, G; Gómez Araujo, I. 2007. Índice de vulnerabilidad Sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. Bogotá, CO. 149p.
- Martel Vargas, PF. 2009. Comparación de la Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente 1997 vs. La Norma Básica de Diseño Sismorresistente 1977, aplicadas en el Perú. Lima, PE. 6p.
- Mosqueira Moreno, MA. 2012. Riesgo sísmico en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis Dr. en Ciencias e Ingeniería. Trujillo, PE, Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Postgrado. 158p.
- Muñoz Peláez, JA. 2004. Ingeniería Sismorresistente. Lima, PE, Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería. Editorial PUCP.
- Navarro López, CE; Fernández Villegas, JA. 2006. Desempeño sísmico de un edificio aporticado de 6 pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones. Tesis Ingeniero Civil. Lima, PE, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 102p.

- Peralta Buritacá, H.A. 2002. Escenarios de vulnerabilidad de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio. Cali, CO, Universidad del Valle. 367p.
- Rivera Mantilla, H. 2011. Geología General. 3° ed. Lima, PE. Editorial Megabyte. 533p.
- RNE. 2014. Reglamento Nacional de Edificaciones NTE - E.030. Diseño sismorresistente. Lima, PE. Editorial Megabyte. 743p.
- RNE. 2014. Reglamento Nacional de Edificaciones NTE - E.060. Concreto Armado. Lima, PE. Editorial Megabyte. 743p.
- RNE. 2014. Reglamento Nacional de Edificaciones NTE - E.070. Albañilería. Lima, PE. Editorial Megabyte. 743p.
- Safina Melone, S. 2002. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Tesis Dr. en Ciencias e Ingeniería. Barcelona, ES, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería del terreno, Cartografía y Geofísica. 250p.
- Seminario Regional de Estudios y Normalización de la Construcción (Ayacucho, PE).2011. Diagnóstico de la Construcción en Ayacucho. Ed. Castro R, C. Ayacucho, PE. 100p.
- Tarque Ruiz, SN; Mosqueira Moreno, MA. 2005. Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana. Tesis M.Sc. en Ingeniería Civil. Lima, PE, Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados. 142p.
- UNDRO (Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastres, IT), 1979. Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad. 49p.
- Vizconde Campos, A. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel de Piura. Tesis Ingeniero Civil. Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Civil. 247p.

ANEXOS

Anexo A

MÉTODO ESTANDAR DEL NÚMERO DE REBOTE EN CONCRETO ENDURECIDO (A.S.T.M. C 805 - 97)

MATERIAL : CONCRETO ARMADO

RESPONSABLE Bach. Fredy Rolando Marín Marín

ESTUDIO : DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS PABELLONES
1 Y 2 DE LA I.E. ESTATAL RAMÓN CASTILLA Y MARQUESADO DEL DISTRITO
DE JAÉN - CAJAMARCA

OPERADOR : F.R.M.M

UBICACIÓN : DISTRITO: JAÉN. PROVINCIA: JAÉN. REGIÓN: CAJAMARCA.

FECHA : 27 DE SETIEMBRE DEL 2014

NORMA TÉCNICA : A.S.T.M. C 805 - 97.

SOLICITANTE : FREDY ROLANDO MARÍN MARÍN

P1M1		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA PABELLÓN Nº 1	25	NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
	37	NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	31
DESVIACIÓN ESTANDAR :	3.3

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	211 Kg/cm ²
--	----------------------------------

P1M2		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA PABELLÓN Nº 1	28	VALIDO
		NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
	32	NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	30
DESVIACIÓN ESTANDAR :	1.3

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	193 Kg/cm ²
--	----------------------------------

P1M3		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
VIGA PABELLÓN Nº 1	29	VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
	38	NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	32
DESVIACIÓN ESTANDAR :	2.1

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	227 Kg/cm ²
--	----------------------------------

P2M1		
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN
COLUMNA PABELLÓN Nº 2	41	VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
	26	NO VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		VALIDO
		NO VALIDO
		VALIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	32
DESVIACIÓN ESTANDAR :	3.6

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	227 Kg/cm ²
--	----------------------------------

**MÉTODO ESTANDAR DEL NÚMERO DE REBOTE EN CONCRETO ENDURECIDO
(A.S.T.M. C 805 - 97)**

MATERIAL : CONCRETO ARMADO **RESPONSABLE** Bach. Fredy Rolando Marín Marín
ESTUDIO : DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS PABELLONES **OPERADOR :** F.R.M.M
 1 Y 2 DE LA I.E. ESTATAL RAMÓN CASTILLA Y MARQUESADO DEL DISTRITO
 DE JAÉN - CAJAMARCA
UBICACIÓN : DISTRITO: JAÉN. PROVINCIA: JAÉN. REGIÓN: CAJAMARCA. **FECHA :** 27 DE SETIEMBRE DEL 2014
NORMA TÉCNICA : A.S.T.M. C 805 - 97.
SOLICITANTE : FREDY ROLANDO MARÍN MARÍN

P2M2			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN	
COLUMNA PABELLÓN Nº 2	34	32	VALIDO
		30	VALIDO
		30	VALIDO
		32	VALIDO
		30	VALIDO
		33	VALIDO
		31	VALIDO
			NO VALIDO
		33	VALIDO
		29	VALIDO
		33	VALIDO
		26	NO VALIDO
	31	VALIDO	
	32	VALIDO	
	29	VALIDO	

P2M3			
UBICACIÓN DE ENSAYO	Nº REBOTE	ACEPTACIÓN	
VIGA PABELLÓN Nº 2	27	30	VALIDO
		32	VALIDO
		32	VALIDO
		30	VALIDO
		31	VALIDO
			NO VALIDO
		31	VALIDO
		32	VALIDO
		34	VALIDO
		32	VALIDO
		33	VALIDO
		30	VALIDO
	35	NO VALIDO	
	32	VALIDO	
	31	VALIDO	

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	31
DESVIACIÓN ESTANDAR :	1.5

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
PROMEDIO :	32
DESVIACIÓN ESTANDAR :	1.2

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	211 Kg/cm ²
--	----------------------------------

DATO DEL Nº REBOTE - RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, DEL GRÁFICO DEL ESCLERÓMETRO	227 Kg/cm ²
--	----------------------------------

Estos ensayos fueron realizados con ayuda de un esclerómetro, el cual fue proporcionado por el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, como parte del apoyo al desarrollo de la tesis.

Por consiguiente de los resultados promedios de estos ensayos, se modeló los pabellones 1 y 2 con una resistencia a la compresión de diseño de 210 kg/cm².

Anexo B

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
SEDE JAÉN

**ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ESTADO DE
CONSERVACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA**

Descripción: En este formato se pretende recopilar información referente al estado de conservación de la infraestructura, aplicando la encuesta al personal docente y administrativo de la Institución Educativa Estatal.

Ciudad : Jaén
Sector : Pueblo Libre
Nombre de la calle : Garcilaso de la Vega
Fecha : ___ / 09 / 2014
Responsable : Fredy Rolando Marín Marín

01. ¿Existe un plan de mantenimiento para la infraestructura educativa?

- a) SI, y se cumple
- b) SI, se cumple a veces
- c) SI, pero no se cumple
- d) No existe

02. ¿Cómo califica usted el estado actual de la infraestructura educativa?

- a) Malo
- b) Regular
- c) Bueno

03. ¿Cada que tiempo se realiza el mantenimiento de la infraestructura educativa?

- a) Una vez al año
- b) Dos veces al año
- c) Tres veces al año
- d) Cuatro veces al año
- e) Más de cuatro veces al año
- f) No se hace

04. ¿Cree usted que la infraestructura educativa es segura en caso de un evento sísmico?

- a) SI
- b) NO

Anexo C

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL SEDE JAÉN

INSTRUMENTO PARA EL DIAGNOSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS, CONSTRUCTIVAS Y ESTRUCTURALES

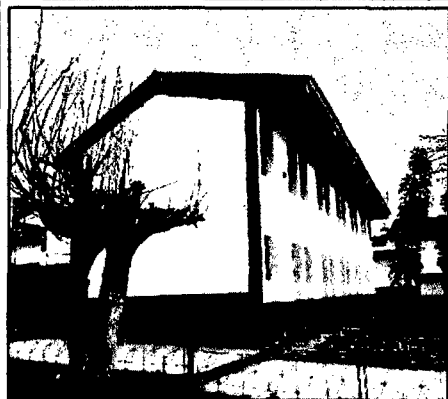
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 1

<p>Ciudad : Jaén Sector : Pueblo Libre Nombre de la calle : Garcilaso de la Vega Fecha : ___ / 09 / 2014 Responsable : Fredy Rolando Marín Marín Pabellón N° : _____</p> <p>Descripción: En este formato se pretende recopilar información referente a las características geométricas, constructivas y estructurales, con la finalidad de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica del pabellón en estudio.</p>		
Descripción del Parámetro	Descripción del Sub parámetro	Clase
Organización del sistema resistente	Calidad de líneas resistentes	
	Configuración en planta de las líneas resistentes	
Calidad del sistema resistente	Calidad del tipo de mampostería	
Resistencia convencional	Uso de la normativa antisísmica (según año)	
	Número de pisos de la edificación	
Posición del edificio y cimentación.	Condiciones y pendiente del terreno	
Diafragma horizontal (entrepisos)	Según deformabilidad y conexión con los elementos resistentes	
Configuración en elevación	Discontinuidad de los elementos estructurales	
Tipo de cubierta	Conexión con la estructura	
	Estado de conservación	
Estado de conservación	Estado actual de la estructura	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
SEDE JAÉN

**INSTRUMENTO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS
 GEOMÉTRICAS, CONSTRUCTIVAS Y ESTRUCTURALES**

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 2

<p>Ciudad : Jaén Sector : Pueblo Libre Nombre de la calle : Garcilaso de la Vega Fecha : ___ / 09 / 2014 Responsable : Fredy Rolando Marín Marín Pabellón N° : _____</p> <p>Descripción: En este formato se pretende recopilar información referente a las características geométricas, constructivas y estructurales, con la finalidad de determinar el grado de vulnerabilidad sísmica del pabellón en estudio.</p>		
Descripción del Parámetro	Descripción del Sub parámetro	Clase
Organización del sistema resistente	Calidad de líneas resistentes	
	Configuración en planta de las líneas resistentes	
Calidad del sistema resistente	Calidad del tipo de mampostería	
Resistencia convencional	Uso de la normativa antisísmica (según año)	
	Número de pisos de la edificación	
Posición del edificio y cimentación.	Condiciones y pendiente del terreno	
Diafragma horizontal (entrepisos)	Según deformabilidad y conexión con los elementos resistentes	
Configuración en elevación	Discontinuidad de los elementos estructurales	
Tipo de cubierta	Conexión con la estructura	
	Estado de conservación	
Estado de conservación	Estado actual de la estructura	

CIUDAD DE JAEN

8371000
8370000
8369000
8368000
8367000
8366000
8365000
8364000



FUENTE: MAPA DE PELIGROS - DICIEMBRE 2004

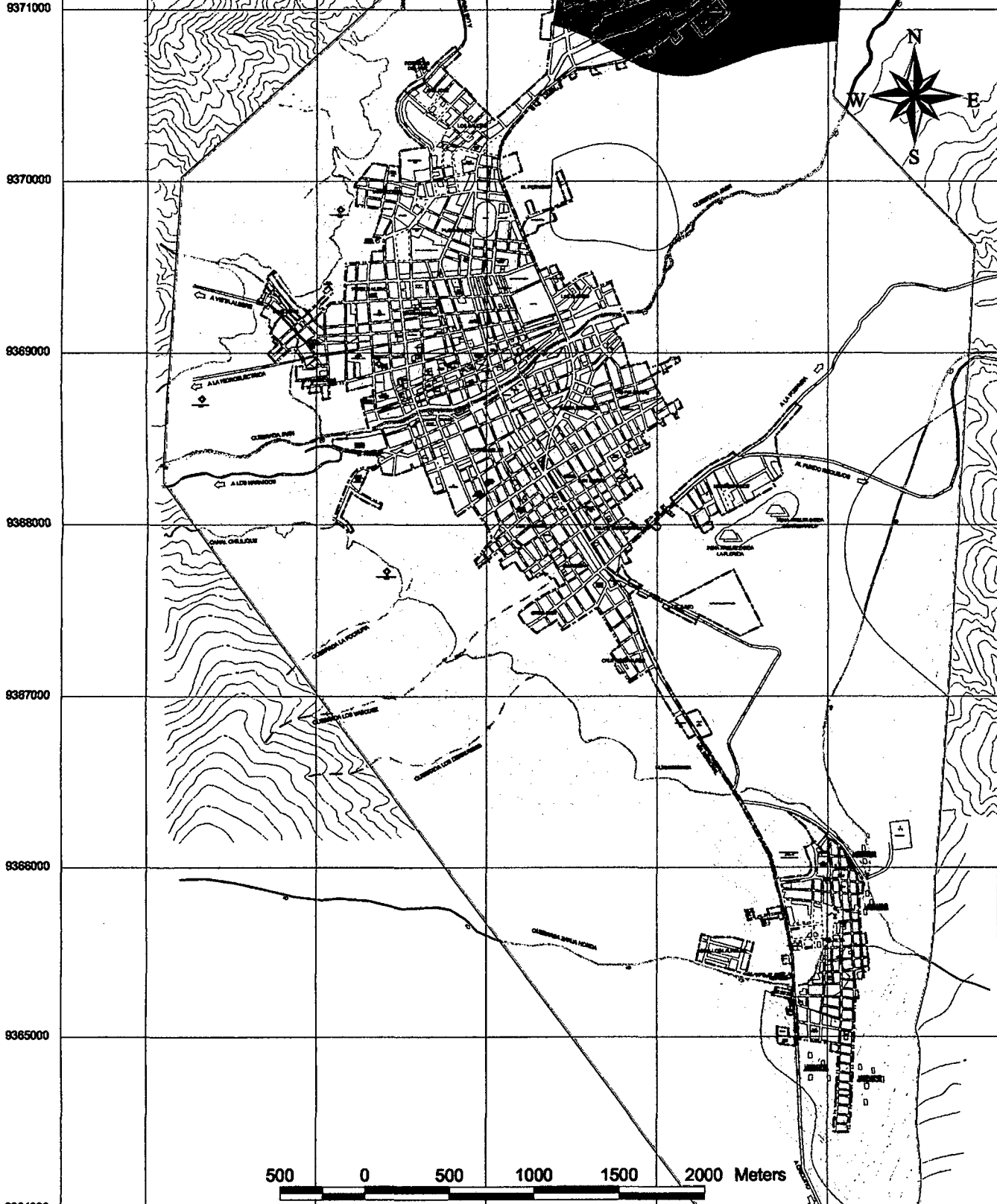
LEYENDA

SECTOR	SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCION	OPACIDAD PORCENTAJE (Nº/255)
I		ROCA	Roca.	1.30 a más
II		SP, SP-SM, SP-SC	Arena pobremente graduada. Arena pobremente graduada-finos. Arena pobremente graduada-arcillosa.	0.70 - 1.00
		SC, SM, SC-SM	Arena arcillosa o Arena limosa Arena con flocos.	1.10 - 1.20
III		CL, ML, MH	Arcilla y limos inorgánicos de bajo plasticidad - suelo fino.	0.85 - 0.90



PROYECTO: INDECI - PNUD - PER / 02 / 051	
CIUDADES SOSTENIBLES	
ESTUDIO: PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES DE LA CIUDAD DE JAEN	
DESCRIPCION: MAPA GEOTECNICO	LAMINA Nº: 16
FECHA: OCTUBRE - 2005	ESCALA:

CIUDAD DE JAEN



FUENTE: MAPA DE PELIGROS - DICIEMBRE 2004

LEYENDA		
SIMBOLO	CLASIFICACION SUCS	DESCRIPCION
	SP, SC, SM, BC-SM, SP-SM, SP-SC, GC, ROCA	Suelos no Expansivos.
	ML, CL	Suelos Medianamente Expansivos.
	MH	Suelos Expansivos.



PROYECTO: INDECI - PNUD - PER / 02 / 051		LAMINA N°: 17
CIUDADES SOSTENIBLES		
ESTUDIO: PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES DE LA CIUDAD DE JAEN		
DESCRIPCION:	SUELOS EXPANSIVOS	
FECHA:	OCTUBRE - 2005	ESCALA:

Anexo E

Metrado de cargas del pabellón 1

Metrado de columnas (Kg)

Nivel	Numero	b	d	h	Peso columna
1	17	0,3	0,3	3,1	11 383,2
2	17	0,3	0,3	3,1	11 383,2
3	17	0,3	0,3	3,1	11 383,2
					34 149,6

Metrado de tabiquería (Kg)

Nivel	Muro	Número	t	l	h	P. muro	P. Total
1	M1 y-y	3	0,25	6,3	2,5	21 262,5	48 100,5
	M2 x-x	2	0,25	4,3	2	7 740,0	
	M3 x-x	2	0,25	3,3	2	5 940,0	
	M4 x-x	4	0,25	4,3	1,7	13 158,0	
2	M1 y-y	3	0,25	6,3	2,5	21 262,5	59 463,0
	M2 y-y	3	0,25	1,2	2	3 240,0	
	M3 y-y	1	0,25	2,2	2,3	2 277,0	
	M4 x-x	4	0,25	4,3	2	15 480,0	
	M5 x-x	4	0,25	4,3	1,7	13 158,0	
	M6 x-x	1	0,25	3,1	2,9	4 045,5	
3	M1 y-y	2	0,15	6,3	2,5	8 505,0	21 227,4
	M2 y-y	1	0,15	1,2	2	648,0	
	M3 x-x	8	0,15	4,3	1,3	12 074,4	
							128 790,9

Metrado de vigas (Kg)

Nivel	Viga	Número	l	b	h	P. viga	P. Total
1	V1 y-y	5	6,3	0,3	0,6	13 608,0	27 633,6
	V2 y-y	6	2,2	0,3	0,6	5 702,4	
	V3 x-x	12	4,3	0,3	0,2	7 430,4	
	V4 x-x	2	3,1	0,3	0,2	892,8	
2	V1 y-y	5	6,3	0,3	0,6	13 608,0	25 790,4
	V2 y-y	5	2,2	0,3	0,6	4 752,0	
	V3 x-x	12	4,3	0,3	0,2	7 430,4	
3	V1 x-x	12	4,3	0,2	0,2	4 953,6	5 251,2
	V2 x-x	1	3,1	0,2	0,2	297,6	
							58 675,2

Metrado de losas aligeradas (Kg)

Nivel	Losa	Espesor	Nº Paños	Lx	Ly	Área	P. Unitario	P. Losa	P. Total
1	L1	0,2	4	4,3	6,3	108,36	300	32 508	45 906
	L2	0,2	4	4,3	2,2	37,84	300	11 352	
	L3	0,2	1	3,1	2,2	6,82	300	2 046	
2	L1	0,2	4	4,3	6,3	108,36	300	32 508	43 860
	L2	0,2	4	4,3	2,2	37,84	300	11 352	
									89 766

Metrado de cubierta (Kg)

Nivel	Área	P. Unitario	P. Total
3	185,3	15	2 779,5

Metrado de escalera (Kg)

Nivel	Área	Espesor	P. específico	Live	Cm	Cv
2	5,55	0,17	2 400	400	2 265,42	2 221

Carga viva – entrepiso (Kg)

Nivel	Live	Área	Peso
1	250	153,02	38 255
2	250	146,2	36 550

Pesos efectivos (Kg)

Nivel	Cm	Cv	Peso por nivel	Peso acumulado
1	133 023,3	40 476	173 499,3	173 499,3
2	142 762,0	36 550	179 312,0	352 811,3
3	40 641,3	-	40 641,3	393 452,6
			393 452,6	

Anexo F

Metrado de cargas del pabellón 2

Metrado de columnas (Kg)

Nivel	Numero	b	d	h	Peso columna
1	14	0,25	0,4	3,2	10 752
2	14	0,25	0,4	3,2	10 752
					21 504

Metrado de tabiquería (Kg)

Nivel	Muro	Número	t	l	H	P. muro	P. Total
1	M1 x-x	3	0,18	3,2	2,15	6 687,4	53 610,12
	M2 x-x	3	0,18	2,2	2,15	4 597,6	
	M3 x-x	6	0,18	3,2	1,5	9 331,2	
	M4 y-y	4	0,25	7,05	2,6	32 994	
2	M1 x-x	3	0,18	3,2	2,15	6 687,4	58 875,12
	M2 x-x	3	0,18	2,2	2,15	4 597,6	
	M3 x-x	6	0,18	3,2	1	6 220,8	
	M4 y-y	4	0,25	7,05	3,26	41 369,4	
							112 485,2

Metrado de parapetos (Kg)

Nivel	Parapeto	Número	t	l	h	P. parapeto	P. Total
2	P x-x	1	0,18	19,4	1	6 285,6	7 147,44
	P y-y	1	0,18	2,66	1	861,8	

Metrado de vigas (Kg)

Nivel	Viga	Número	l	b	h	P. viga	P. Total
1	V1 x-x	12	3,2	0,2	0,6	11 059,2	34 441,2
	V2 y-y	7	7,05	0,25	0,6	17 766	
	V3 y-y	12	1,5	0,25	0,52	5 616	
2	V1 x-x	12	3,2	0,2	0,6	11 059,2	32 932,8
	V2 y-y	7	10,85	0,25	0,48	21 873,6	
							67 374

Metrado de losas aligeradas (Kg)

Nivel	Losas	Espesor	Nº Paños	Lx	Ly	Área	P. Unitario	P. Losa	P. Total
1	L1	0,2	6	3,2	7,45	143,04	300	42 912	51 552
	L2	0,2	6	3,2	1,5	28,8	300	8 640	

Metrado de cubierta (Kg)

Nivel	Área	P. Unitario	P. Total
2	241,3	300	72 399

Carga viva – entrepiso (Kg)

Nivel	Live	Área	Peso
1	250	160,27	40 067,5
1	400	31.43	12 572

Pesos efectivos (Kg)

Nivel	Cm	Cv	Peso por nivel	Peso acumulado
1	150 355,3	52 639,5	202 994,8	202 994,8
2	182 106,4	-	182 106,4	385 101,2
			385 101,2	

Anexo G

Se calculó el desplazamiento relativo de entrepiso en los diafragmas rígidos de ambos pabellones, realizando un análisis sísmico dinámico, usando el programa SAP 2000 versión 17.1.0.

En el caso del pabellón 1, el sistema estructural es aporticado (Fig 54) y con altura de entrepiso de 3,10m. Su suelo es flexible (Anexo D) y tiene las siguientes características:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'c = 2\ 100\text{T/m}^2$.
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2\ 188\ 197,9\text{T/m}^2$.
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (piso 1 y 2)
Pesos para el análisis sísmico (Anexo E)	Piso 1 = 153,261T (100% C_m +50% C_v) Piso 2 = 161,037T (100% C_m +50% C_v)

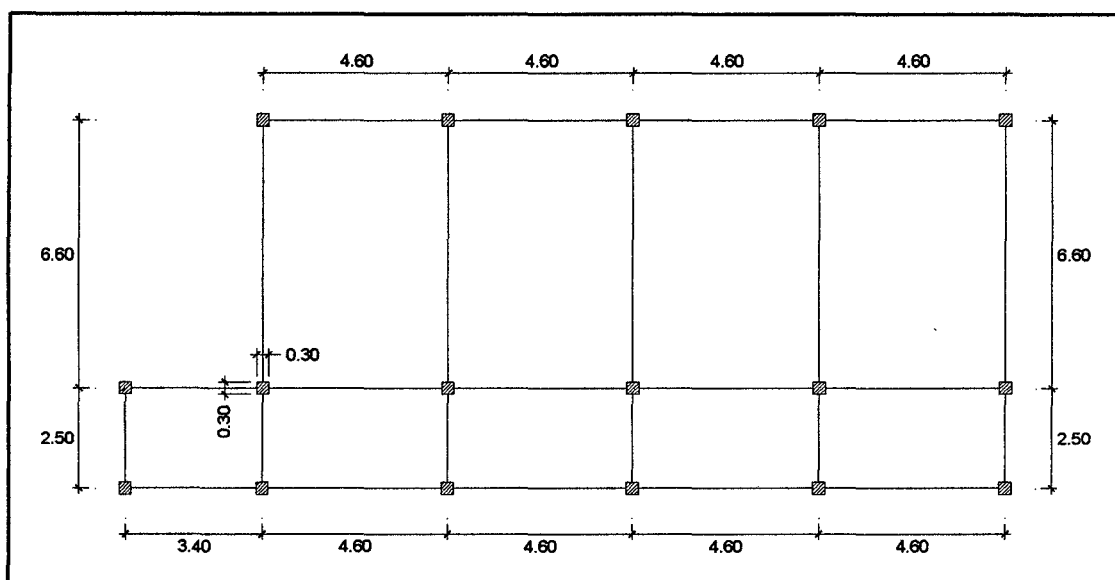


Figura 54. Pabellón 1. Sistema estructural aporticado.

Se obtuvo los desplazamientos relativos de entrepiso, una vez realizado el siguiente procedimiento:

- i) Excentricidad accidental:
 $e_x = 0,05 \cdot 22,1 = 1,105\text{m}$
 $e_y = 0,05 \cdot 9,4 = 0,47\text{m}$

ii) Distribución de masas por altura:

Piso 2:

Masa traslacional

$$M_{t(2)} = \frac{P_{\text{piso}}^{\text{psismico}}}{g} = \frac{161,037}{9,81} = 16,416T.s^2/m$$

Masa rotacional: Como el edificio es irregular y de acuerdo a la modelación estructural, la losa se comportará como diafragma rígido y rotará alrededor de Z, entonces, para determinar la masa rotacional en cada piso, se aplicó la siguiente fórmula:

$$M_{r(2)} = \frac{M_t(I_x + I_y)}{A}$$

Donde:

I_x : Momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal "X"

I_y : Momento de inercia de la losa del edificio respecto al eje centroidal "Y"

A: Área de la losa (Diafragma rígido).

Para facilidad de cálculo, dividimos la losa en dos figuras rectangulares (Fig 55), y determinamos los momentos de inercia en X e Y.

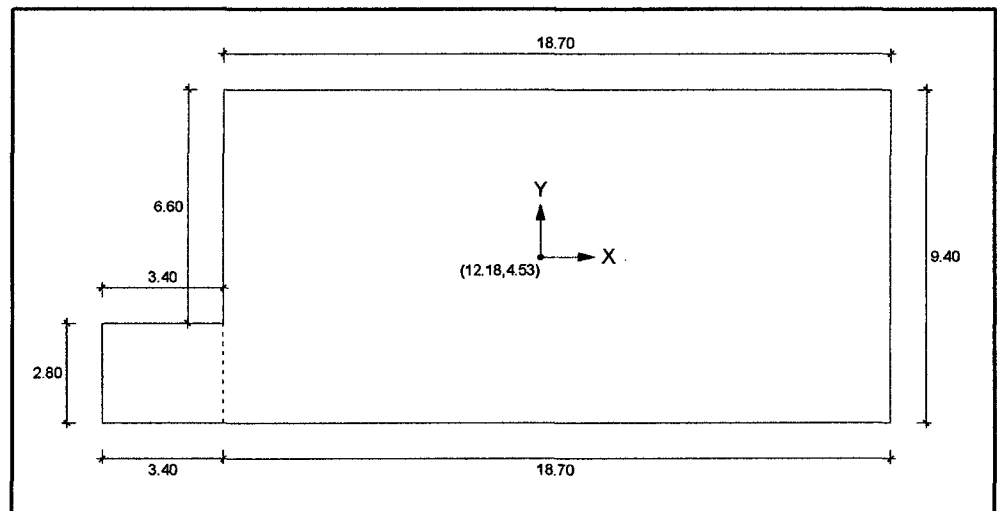


Figura 55. Pabellón 1. Momento de inercia de la losa respecto al eje centroidal

Luego:

$$I_x = \frac{18,7 \cdot 9,4^3}{12} + \frac{3,4 \cdot 2,8^3}{12} + 3,4 \cdot 2,8 \cdot 3,13^2 = 1\,393,813m^4$$

$$I_Y = \frac{2,8 \cdot 3,4^3}{12} + 2,8 \cdot 3,4 \cdot 10,48^2 + \frac{9,4 \cdot 18,7^3}{12} + 9,4 \cdot 18,7 \cdot 0,57^2 = 6\,234,243\text{m}^4$$

Ahora, calculamos el área de la losa:

$$A = 3,4 \cdot 2,8 + 18,7 \cdot 9,4 = 185,3\text{m}^2$$

Entonces:

$$M_{r(2)} = \frac{16,416(1\,393,813 + 6\,234,243)}{185,3} = 675,781\text{T} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

Piso 1:

$$M_{t(1)} = \frac{P_{\text{piso}}^{\text{psismico}}}{g} = \frac{153,261}{9,81} = 15,623\text{T} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$M_{r(1)} = \frac{15,623(1\,393,813 + 6\,234,243)}{185,3} = 643,136\text{T} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

iii) Factor de escala: Se asume $R = 0,75 \cdot 8 = 6$ por ser irregular (esquina entrante)

$$F. E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4 \cdot 1,5 \cdot 1,4 \cdot 9,81}{0,75 \cdot 8} = 1,3734$$

iv) Propiedades de material

General Data

Material Name and Display Color: CONCRETO

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0

Mass per Unit Volume: 0

Units: Tonf. m. C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2188197.9

Poisson: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 911749.1

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 2100

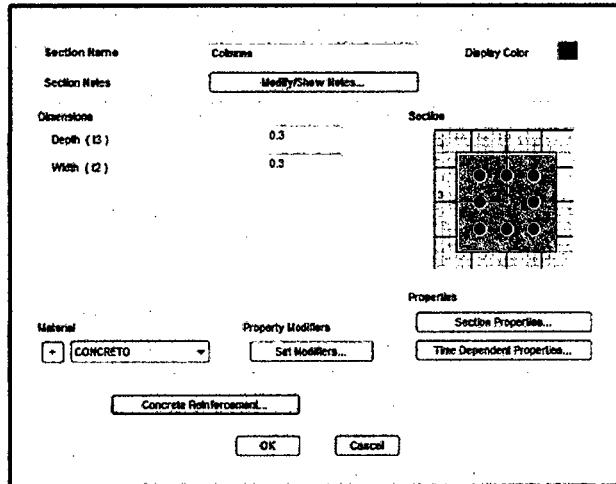
Lightweight Concrete

Shear Modulus Reduction Factor:

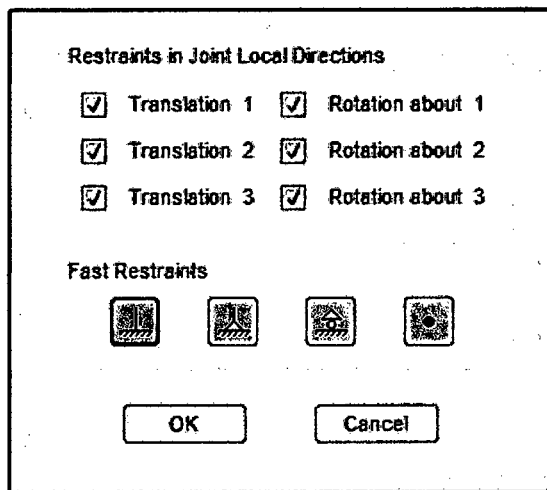
Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

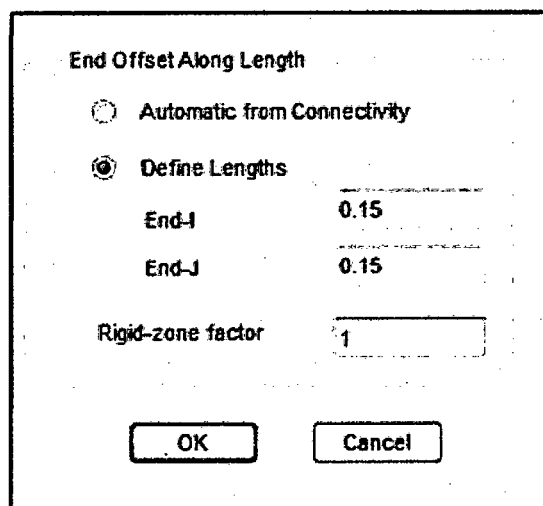
v) Propiedades de sección



vi) Asignación de empotramiento en la base



vii) Asignación de brazos rígidos en ambas direcciones



viii) Creación de centro de masas

Edit

System Name: GLOBAL Units: Tonf, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	-12.18	Primary	Show	End	
2	B	-8.78	Primary	Show	End	
3	C	-4.18	Primary	Show	End	
4	D	0.42	Primary	Show	End	
5	G	1.105	Primary	Show	Start	
6	E	5.02	Primary	Show	End	
7	F	9.62	Primary	Show	End	

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	-4.53	Primary	Show	Start	
2	2	-2.03	Primary	Show	Start	
3	4	0.47	Primary	Show	Start	
4	3	4.57	Primary	Show	Start	
5						
6						
7						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.
1	Z1	0	Primary	Show	End
2	Z2	3.1	Primary	Show	End
3	Z3	6.2	Primary	Show	End
4					
5					
6					
7					

Display Grids as: Ordinates Spacing

Hide All Grid Lines
 Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1

Reset to Default Color
Reorder Ordinates





OK Cancel

ix) Restricción de centro de masas

Restraints in Joint Local Directions

Translation 1 Rotation about 1
 Translation 2 Rotation about 2
 Translation 3 Rotation about 3

Fast Restraints

OK Cancel

x) Definición de diafragmas rígidos a nivel de entrepiso

xi) Asignación de diafragma rígido a nivel de entrepiso incluyendo el centro de masa.

xii) Asignación de masas en el centro de masas para los pisos 1 y 2

xiii) Definición de la función de espectro de respuesta

Function Name: C Function Damping Ratio: 0.05

Define Function

Period	Acceleration
8	0.28
0.	2.5
0.9	2.25
1.	2.25
2.	1.13
3.	0.75
4.	0.56
5.	0.45
6.	0.38

Buttons: Add, Modify, Delete

Function Graph

Buttons: Display Graph, OK, Cancel

0.0,0.0

xiv) Definición de estados de carga: modal y espectral

Load Case Name: MODAL Notes: Load Case Type: Model Design..

Buttons: Set Def Name, Modify/Show...

Stiffness to Use

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Buttons: OK, Cancel

Number of Modes

Maximum Number of Modes: 6

Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Frequency Shift (Center): 0. OK

Cutoff Frequency (Radius): 0. Cancel

Convergence Tolerance: 1.000E-09

Allow Automatic Frequency Shifting

Load Case Name: SISMOX+ Notes: Load Case Type: Response Spectrum Design

Modal Combination:

- CQC GMC #1: 1
- SRSS GMC #2: 0
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

 Periodic - Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- COC3
- Absolute

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Modal Load Case:

- Use Modes from this Modal Load Case: MODAL
- Standard - Acceleration Loading
- Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Coord Sys	Angle
Accel	U1	C	1.3734	GLOBAL	0
Accel	U1	C	1.3734	GLOBAL	0

Show Advanced Load Parameters Add Modify Delete

Other Parameters:

- Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

Load Case Name: SISMOY+ Notes: Load Case Type: Response Spectrum Design

Modal Combination:

- CQC GMC #1: 1
- SRSS GMC #2: 0
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

 Periodic - Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- COC3
- Absolute

Mass Source: Previous (MSSSRC1)

Modal Load Case:

- Use Modes from this Modal Load Case: MODAL
- Standard - Acceleration Loading
- Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Coord Sys	Angle
Accel	U2	C	1.3734	GLOBAL	0
Accel	U2	C	1.3734	GLOBAL	0

Show Advanced Load Parameters Add Modify Delete

Other Parameters:

- Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

xv) Definición de combinaciones en ambas direcciones

Load Combination Name: (User-Generated) COMBSISMOX

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SISMOX+	Response Spectrum	6
SISMOY+	Response Spectrum	6

Add Modify Delete

OK Cancel

Load Combination Name: (User-Generated) COMBSISMOY

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SISMOX+	Response Spectrum	6
SISMOY+	Response Spectrum	6

Add Modify Delete

OK Cancel

Finalmente se hace correr el modelo, para obtener los desplazamientos laterales de entrepiso para cada dirección:

Dirección X:

Joint Object 55	Joint Element 55		
	1	2	3
Trans	313.35442	17.34633	0.00000
Rotn	0.00000	0.00000	0.00420

Joint Object 56	Joint Element 56		
	1	2	3
Trans	137.56692	9.88467	0.00000
Rotn	0.00000	0.00000	0.00227

Dirección Y:

Joint Object 55	Joint Element 55		
	1	2	3
Trans	19.30316	120.84503	0.00000
Rotn	0.00000	0.00000	0.00859

Joint Object 56	Joint Element 56		
	1	2	3
Trans	7.84298	69.42989	0.00000
Rotn	0.00000	0.00000	0.00480

En el caso del pabellón 2, el sistema estructural también es aperticado (Fig 56) y con altura de entrepiso de 3,20m. Su suelo es flexible (Anexo D) y tiene las siguientes características:

Resistencia a la compresión del concreto	$f'c = 2\ 100\text{T/m}^2$.
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c = 2\ 188\ 197,9\text{T/m}^2$.
Coefficiente de Poisson del concreto	$\mu_c = 0,2$
Losa de techo aligerada de espesor	$e = 20\text{cm}$ (piso 1 y 2)
Pesos para el análisis sísmico (Anexo F)	Piso 1 = 176,675T (100% C_m +50% C_v)

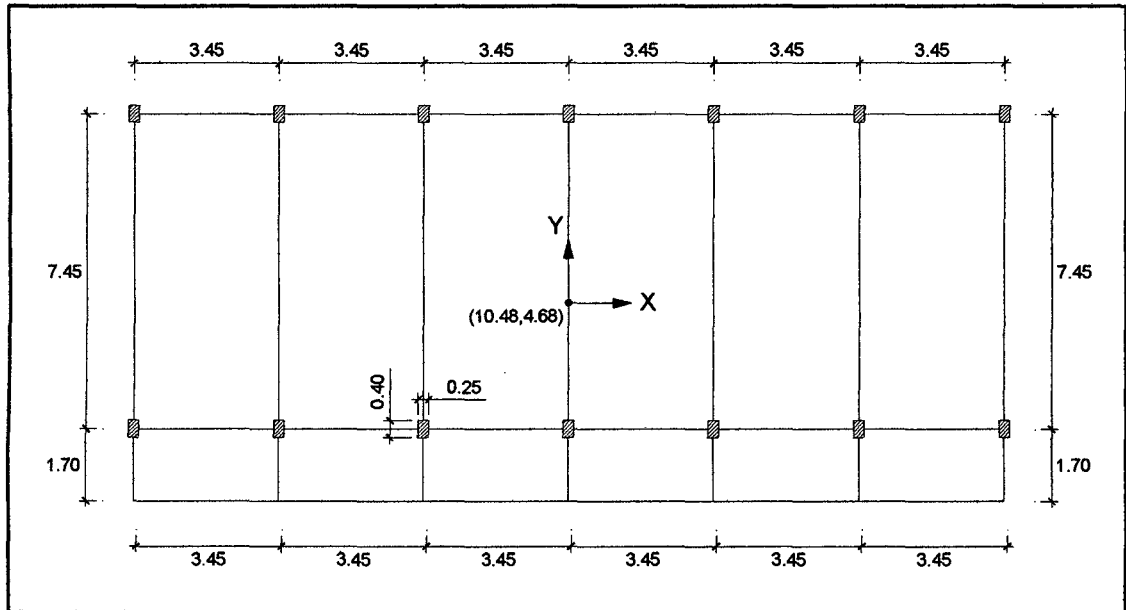


Figura 56. Pabellón 2. Sistema estructural aporticado.

Se obtuvo los desplazamientos relativos de entrepiso, una vez realizado el siguiente procedimiento:

- i) Excentricidad accidental:
 $e_x = 0,05 \cdot 20,95 = 1,048\text{m}$
 $e_y = 0,05 \cdot 9,35 = 0,468\text{m}$

- ii) Distribución de masas por altura:

Piso 1:

Masa traslacional

$$M_{t(1)} = \frac{p_{\text{sismico}}^{\text{piso}}}{g} = \frac{176,675}{9,81} = 18,01\text{T. s}^2/\text{m}$$

Masa rotacional: Como el edificio es regular, se aplicó la siguiente fórmula:

$$M_{r(1)} = \frac{M_t(a^2 + b^2)}{12}$$

Donde:

a: Longitud de la losa.

b: Ancho de la losa.

Luego:

$$M_{r(1)} = \frac{18,01(20,95^2 + 9,35^2)}{12} = 789,926T.s^2/m$$

iii) Factor de escala:

$$F. E. = \frac{ZUSg}{R} = \frac{0,4,1,5,1,4,9,81}{8} = 1,03$$

iv) Propiedades de material

The screenshot shows a software dialog box titled 'Material Properties' for 'CONCRETO'. It is organized into several sections:

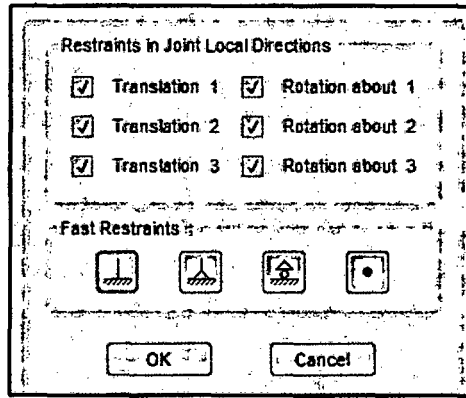
- General Data:** Material Name and Display Color (CONCRETO), Material Type (Concrete), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (0), Mass per Unit Volume (0), and Units (Tonf, m, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E (2188197.9), Poisson (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (9.900E-05), and Shear Modulus, G (911749.1).
- Other Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f_c (2100), and a checkbox for 'Lightweight Concrete' (unchecked).
- Bottom:** A checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked), and 'OK' and 'Cancel' buttons.

v) Propiedades de sección

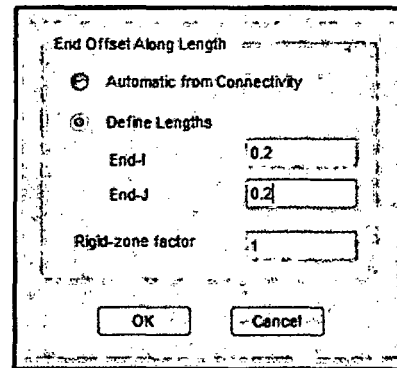
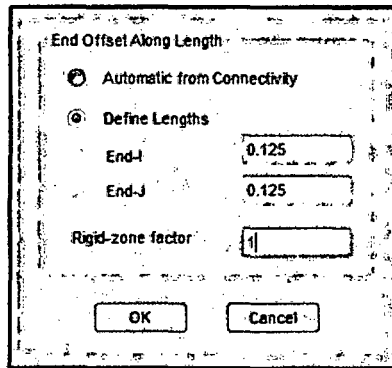
The screenshot shows a software dialog box titled 'Section Properties' for a section named 'COLUMNA'. It includes the following fields and options:

- Section Name:** COLUMNA, with a 'Display Color' checkbox (unchecked).
- Section Notes:** Modify/Show Notes...
- Dimensions:** Depth (D) (0.25) and Width (B) (0.49).
- Reinforcement:** A grid diagram showing the layout of reinforcement bars within the section.
- Material:** A dropdown menu set to 'CONCRETO'.
- Property Modifiers:** 'Set Modifiers...' and 'Section Properties...' buttons.
- Time Dependent Properties:** A 'Time Dependent Properties...' button.
- Bottom:** A 'Concrete Reinforcement...' button, and 'OK' and 'Cancel' buttons.

vi) Asignación de empotramiento en la base



vii) Asignación de brazos rígidos en ambas direcciones



viii) Creación de centro de masas

Edt

System Name: GLOBAL Units: Tonf, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	-10.35	Primary	Show	End	
2	B	-6.9	Primary	Show	End	
3	C	-3.45	Primary	Show	End	
4	D	0.	Primary	Show	End	
5	H	1.046	Primary	Show	Start	
6	E	3.45	Primary	Show	End	
7	F	6.9	Primary	Show	End	

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	-4.68	Primary	Show	Start	
2	2	-2.96	Primary	Show	Start	
3	4	0.468	Primary	Show	Start	
4	3	4.47	Primary	Show	Start	
5						
6						
7						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.
1	Z1	0.	Primary	Show	End
2	Z2	3.	Primary	Show	End
3					
4					
5					
6					
7					

Display Grids as:

Ordinate Spacing

Hide All Grid Lines

Give to Grid Lines

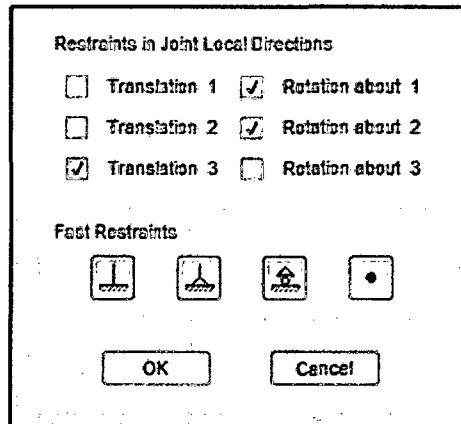
Bubble Size: 0.75

Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel





ix) Restricción de centro de masas



Restraints in Joint Local Directions

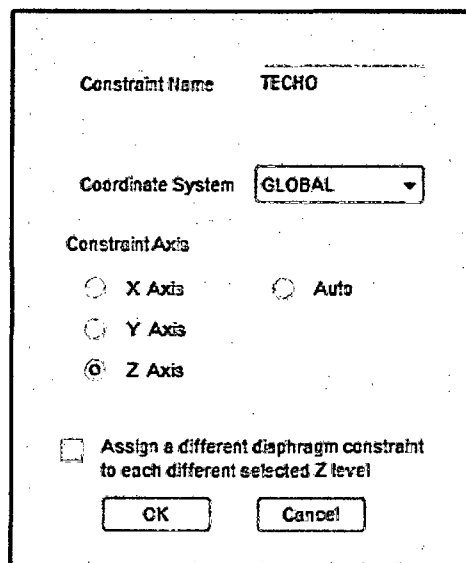
<input type="checkbox"/> Translation 1	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation about 1
<input type="checkbox"/> Translation 2	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation about 2
<input checked="" type="checkbox"/> Translation 3	<input type="checkbox"/> Rotation about 3

Fast Restraints

			
---	---	---	---

OK Cancel

x) Definición de diafragmas rígidos a nivel de entrepiso



Constraint Name:

Coordinate System:

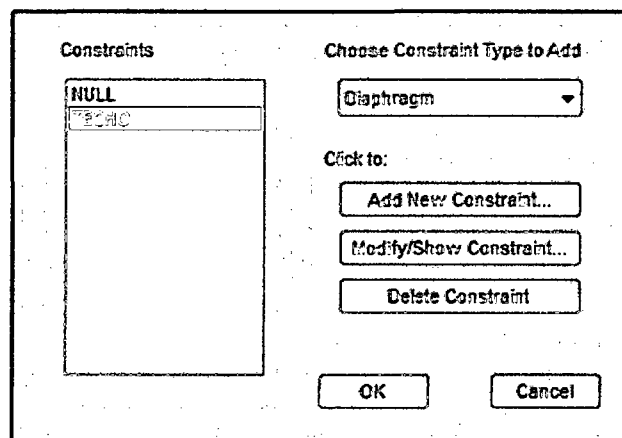
Constraint Axis

<input type="radio"/> X Axis	<input type="radio"/> Auto
<input type="radio"/> Y Axis	
<input checked="" type="radio"/> Z Axis	

Assign a different diaphragm constraint to each different selected Z level

OK Cancel

xi) Asignación de diafragma rígido a nivel de entrepiso incluyendo el centro de masa.



Constraints

NULL
TECHO

Choose Constraint Type to Add

Click to:

OK Cancel

xii) Asignación de masas en el centro de masas para los pisos 1 y 2

Specify Joint Mass

As Mass
 As Weight
 As Volume and Material Property

Mass Direction

Coordinate System: Global

Mass

Global X Axis Direction: 18.01

Global Y Axis Direction: 18.01

Global Z Axis Direction: 0.

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis: 0.

Rotation About Global Y Axis: 0.

Rotation About Global Z Axis: 789.926

Options

Add to Existing Masses
 Replace Existing Masses
 Delete Existing Masses

Units: Tonf, m, C

OK Cancel

xiii) Definición de la función de espectro de respuesta

Function Name: C Function Damping Ratio: 0.05

Define Function

Period	Acceleration
0.28	2.25
1.	1.13
2.	0.75
3.	0.56
4.	0.45
5.	0.38
6.	0.32
7.	0.28

Buttons: Add, Modify, Delete

Function Graph

Display Graph (2.3451, 0.9989)

OK Cancel

xiv) Definición de estados de carga: modal y espectral

Load Case Name: MODAL Notes: Load Case Type: Modal

Buttons: Set Def Name, Modify/Show..., Design..

Siftness to Use: Zero Initial Conditions - Unstressed State

Number of Modes: Maximum Number of Modes: 3, Minimum Number of Modes: 1

Mass Source: M55SRCT

Loads Applied: Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Frequency Shift (Center): 0, Cutoff Frequency (Radius): 0, Convergence Tolerance: 1.000E-09

Allow Automatic Frequency Shifting

Buttons: OK, Cancel

Load Case Name: SSMOX+ Notes: Load Case Type: Response Spectrum

Buttons: Set Def Name, Modify/Show..., Design..

Modal Combination: COC, SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum

GMC #1: 1, GMC #2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination: SRSS, COC3, Absolute

Mass Source: Previous (M55SRCT)

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading, Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Coord Sys	Angle
Accel	U1	C	1.03	GLOBAL	0
Accel	U1	C	1.03	GLOBAL	0

Show Advanced Load Parameters Add Modify Delete

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Buttons: OK, Cancel

Load Case Name: SSMOY+ Notes: Load Case Type: Response Spectrum

Buttons: Set Def Name, Modify/Show..., Design..

Modal Combination: COC, SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum

GMC #1: 1, GMC #2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination: SRSS, COC3, Absolute

Mass Source: Previous (M55SRCT)

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading, Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	Coord Sys	Angle
Accel	U2	C	1.03	GLOBAL	0
Accel	U2	C	1.03	GLOBAL	0

Show Advanced Load Parameters Add Modify Delete

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

Buttons: OK, Cancel

xv) Definición de combinaciones en ambas direcciones

Load Combination Name (User-Generated) COMBSSIXX

Notes

Load Combination Type Linear Add

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SEMAX+	Response Spectrum	g

Load Combination Name (User-Generated) COMBSEIDY

Notes

Load Combination Type Linear Add

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SEIDY+	Response Spectrum	g

Finalmente se hace correr el modelo, para obtener los desplazamientos laterales de entrepiso para cada dirección:

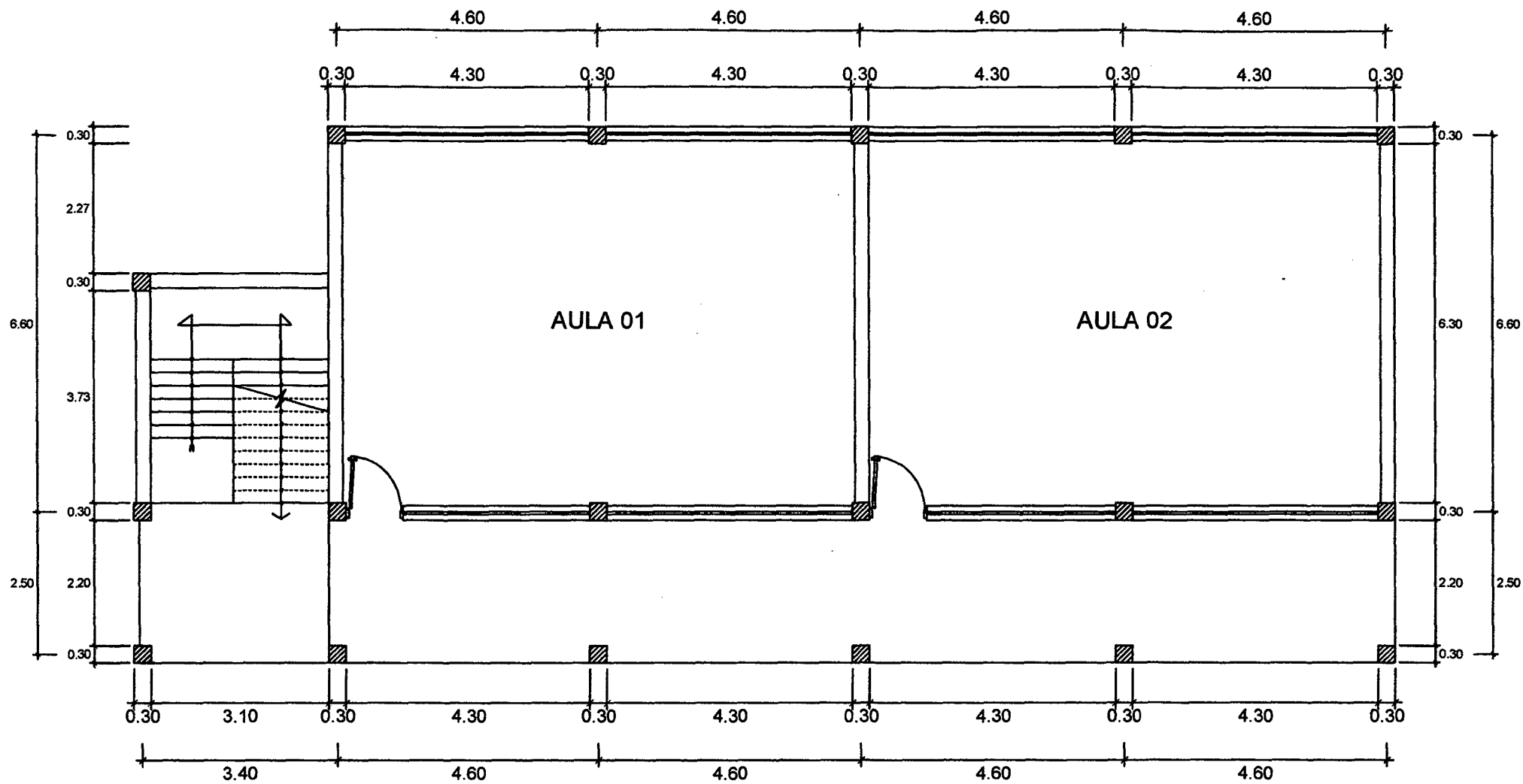
Dirección X:

	Joint Object 43			Joint Element 43		
	1	2	3	1	2	3
Trans	30.32241	3.17590	0.00000			
Rotn	0.00000	0.00000	8.403E-04			

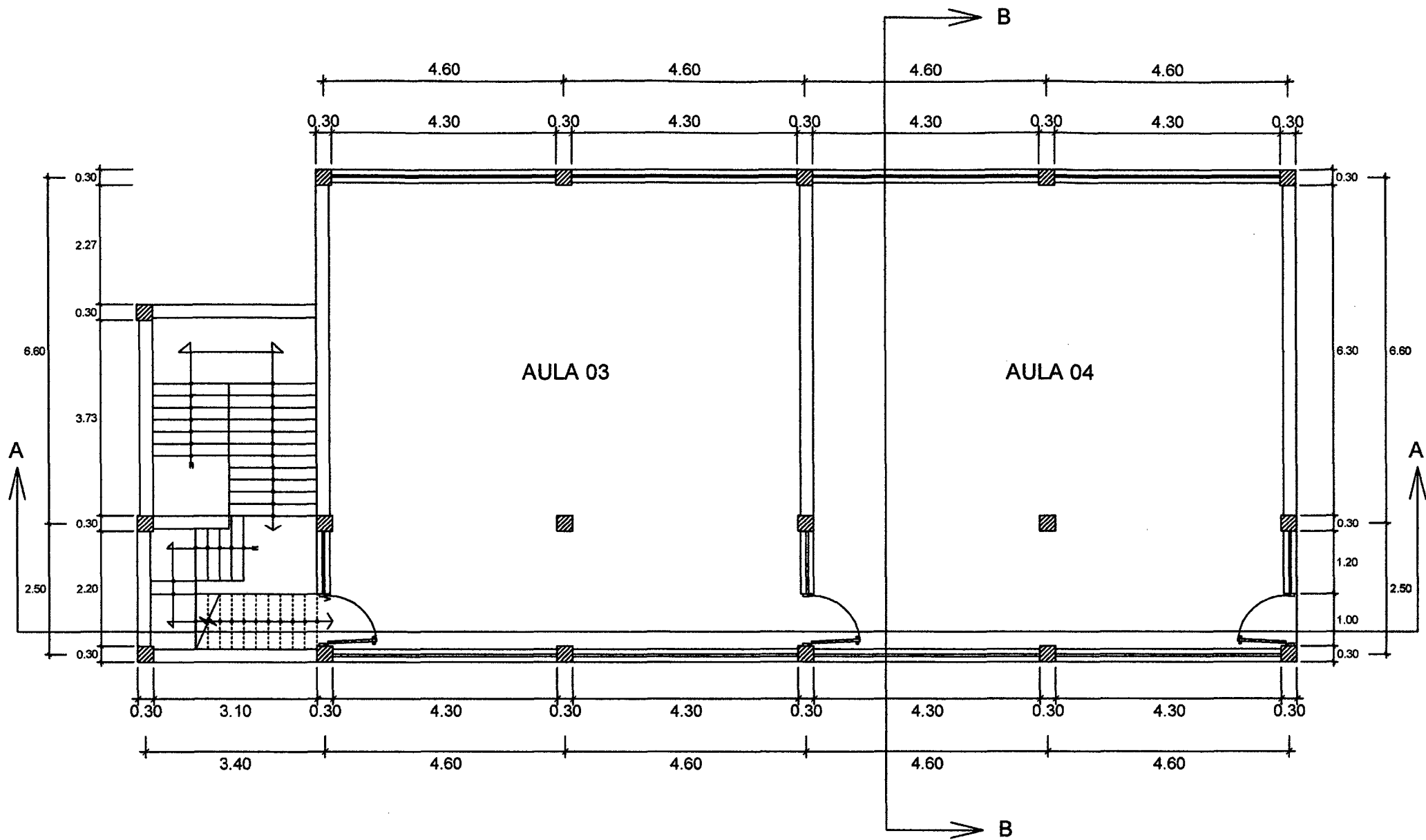
Dirección Y:

	Joint Object 43			Joint Element 43		
	1	2	3	1	2	3
Trans	3.17056	19.36659	0.00000			
Rotn	0.00000	0.00000	0.00105			

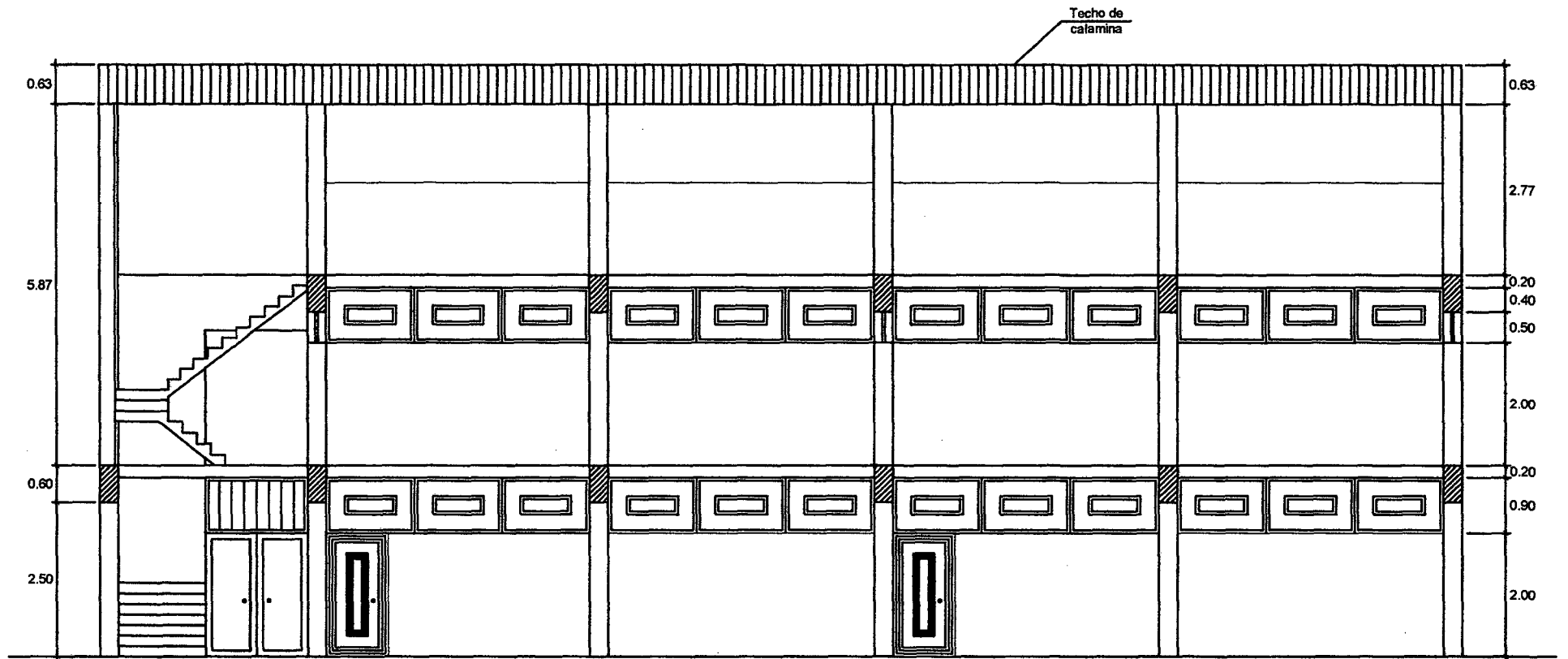
PLANOS



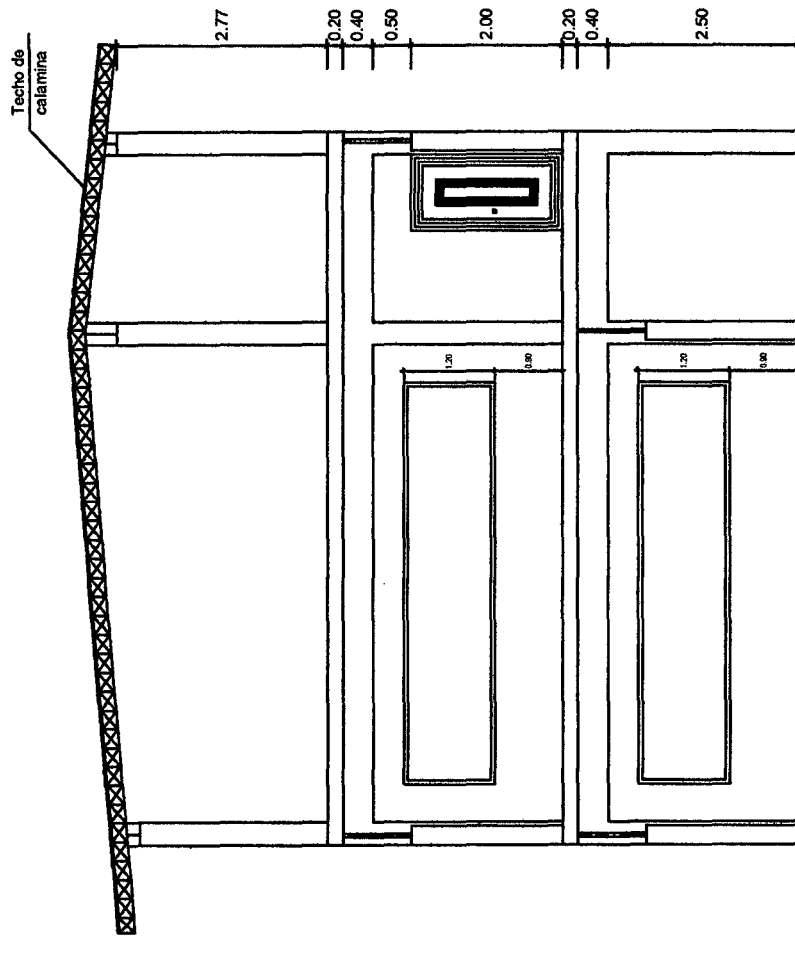
PABELLÓN N°1: PRIMER NIVEL (Esc. 1:100)



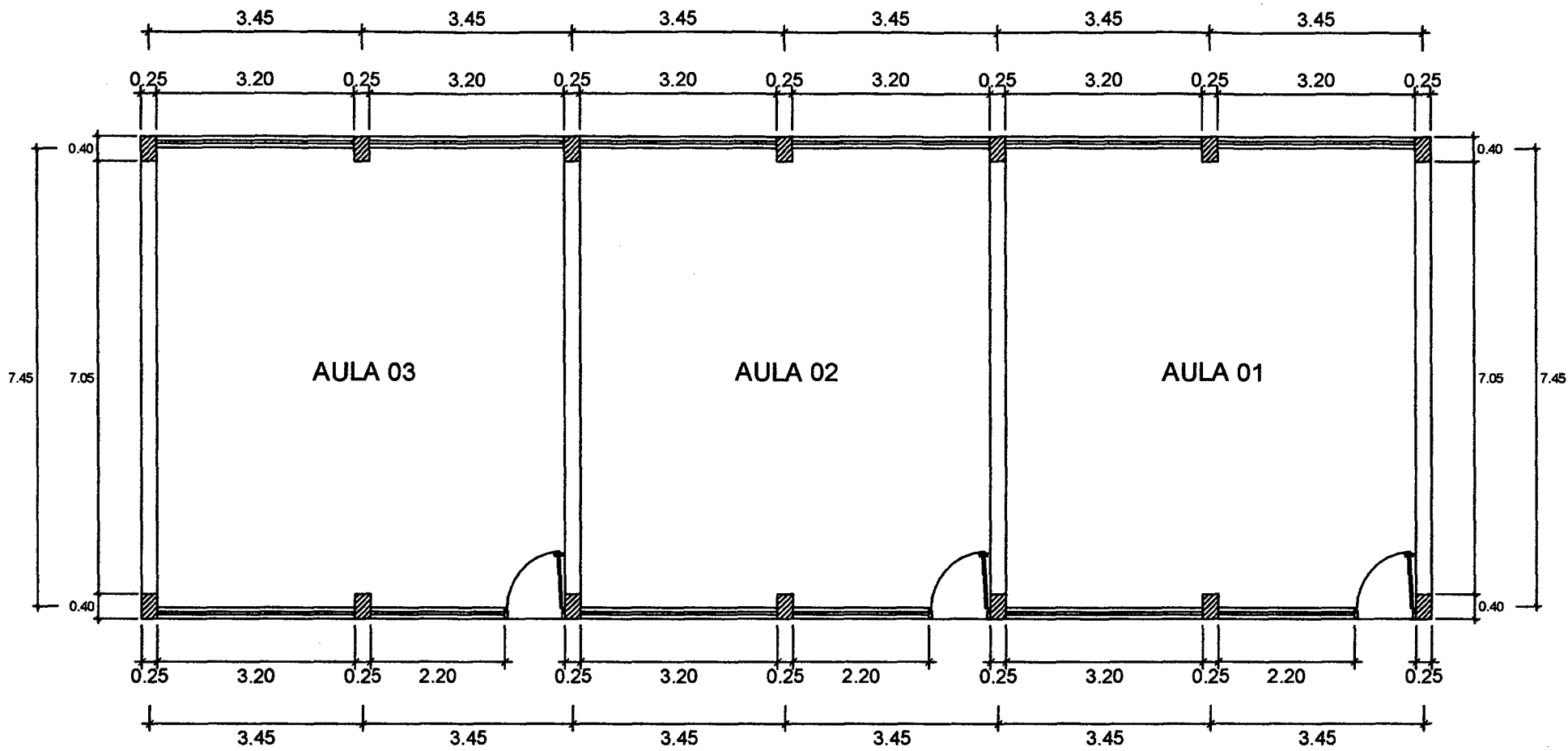
PABELLÓN N°1: SEGUNDO NIVEL (Esc. 1:100)



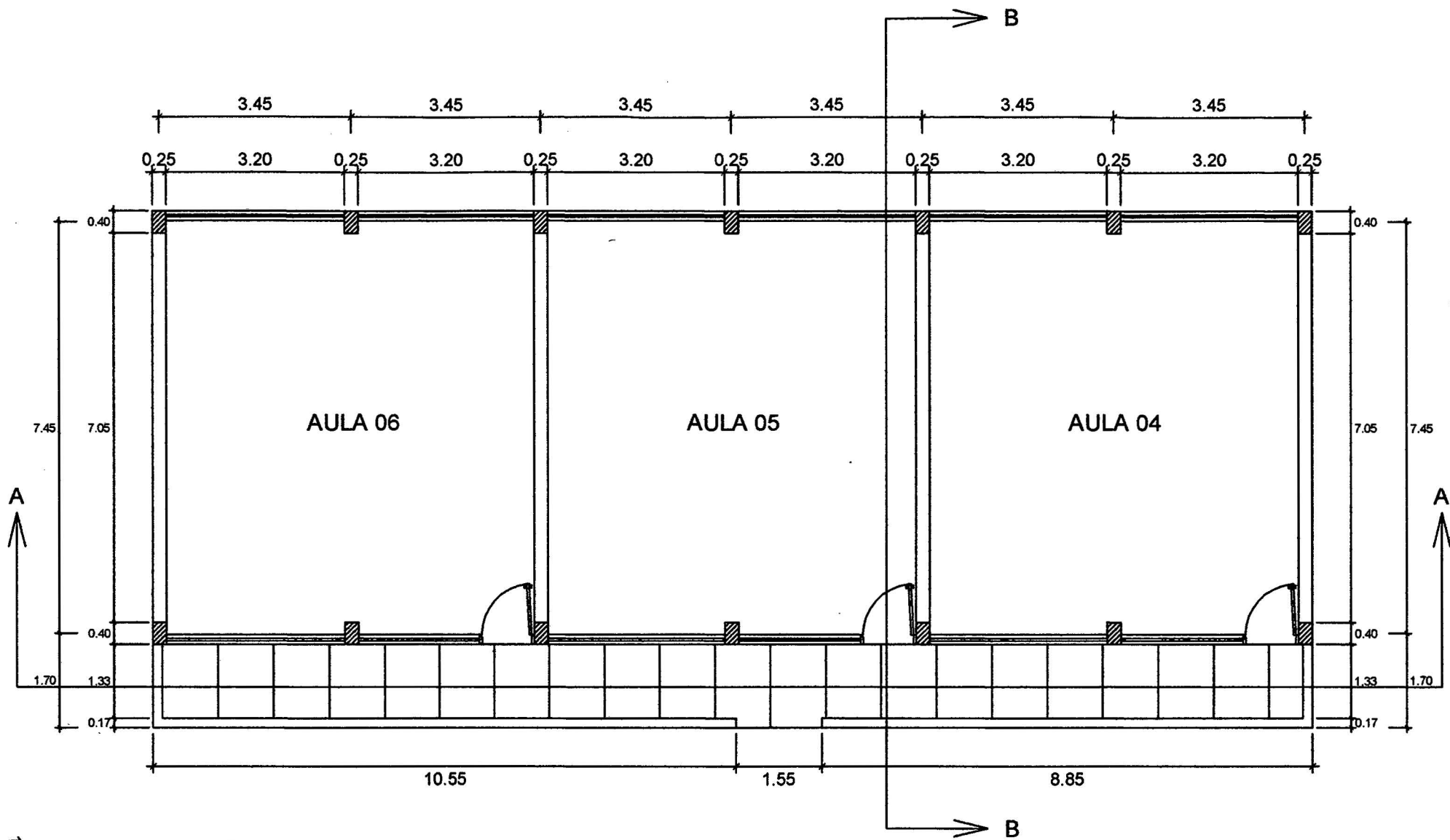
PABELLÓN N°1: CORTE A - A (Esc. 1:100)



PABELLÓN N°1: CORTE B - B (Esc. 1:100)

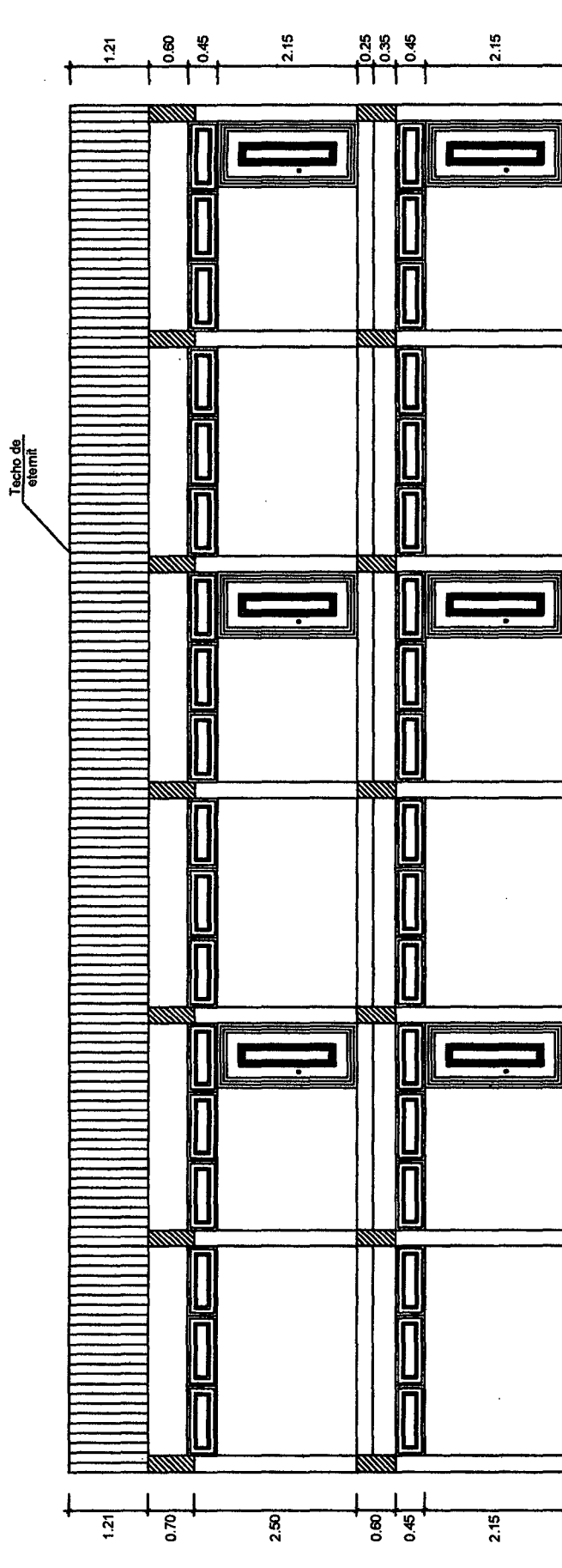


PABELLÓN N°2: PRIMER NIVEL (Esc. 1:100)

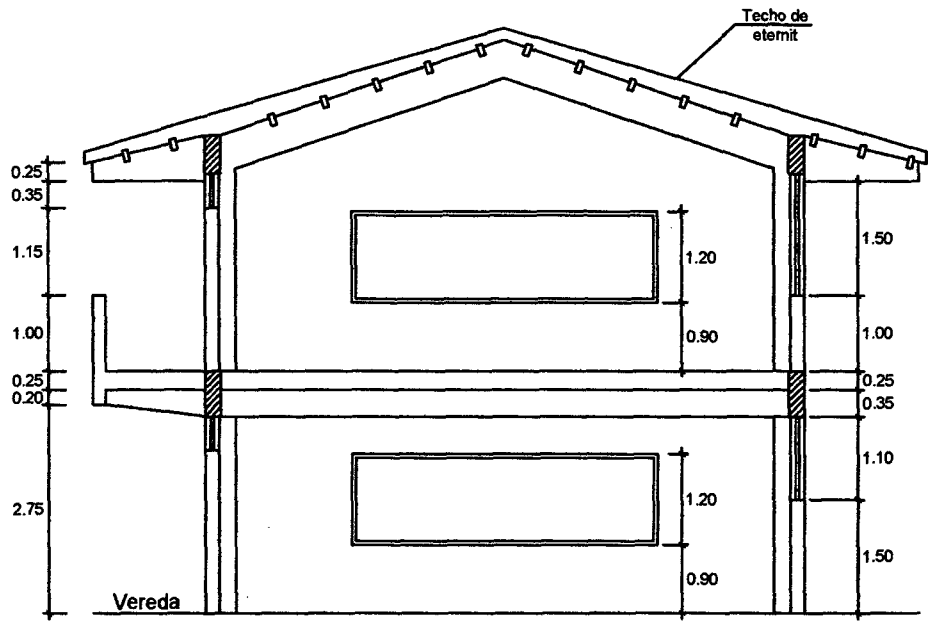


112

PABELLÓN N°2: SEGUNDO NIVEL (Esc. 1:100)



PABELLÓN N°2: CORTE A - A (Esc. 1:100)



PABELLÓN N°2: CORTE B - B (Esc. 1:100)