

Proyecto de Seguridad

Sísmica para las

Construcciones Escolares

de Quito, Ecuador

Invirtiendo en el Futuro de Quito



*Escuela Politécnica Nacional
GeoHazards International*


 Una Publicación de GeoHazards International

Participantes del Proyecto

COMITÉ DIRECTOR

G. Hoefler, Director del Proyecto

GeoHazards International, USA

J. Fernández

Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

W. D. L. Finn

University of British Columbia, Canadá

B. Tucker

GeoHazards International, USA

C. Ventura

University of British Columbia, Canadá

INGENIEROS DEL PROYECTO (de la Escuela Politécnica Nacional)

J. Fernández, Director Local del Proyecto

R. Arellano

G. Barahona

S. Díaz

J. Espinoza

P. Gachet

E. Márquez

P. Placencia

F. Ponce

F. Vaca

J. Valverde

J. Vintimilla

H. Yepes

Este proyecto fue financiado por GeoHazards International a través de generosas donaciones de organizaciones y personas como The Cecil and Ida Green Foundation; OYO Corporation; la Sra. Tama Suyama; el Sr. Satoru Ohya; y el Sr. Ernest M. Hall, Jr. Financiamiento adicional fue provisto por el Municipio de Quito, y por Educación Básica: Proyecto de Desarrollo, Eficiencia y Calidad, Ecuador.

Los miembros del Comité Asesor de Estrategia y del Comité Asesor Técnico donaron su tiempo y experiencia al proyecto. Su ayuda es reconocida con gratitud.

COMITÉ ASESOR DE ESTRATEGIA

- T. Abdo**, *Obras Públicas, Municipio de Quito*
L. Almeida, *Defensa Civil, Ecuador*
L. Benítez, *Dirección Nacional de Construcciones Escolares, Ecuador*
G. Bustamante, *Departamento de Planificación, Municipio de Quito*
M. Chávez, *UNESCO-Quito*
E. González, *Dirección de Educación de Pichincha, Ecuador*
F. Moncayo, *Ministerio de Educación y Cultura, Ecuador*
D. Peñaherrera, *Fondo de Inversión Social de Emergencia, Ecuador*
E. Pfister, *Educación Básica: Proyecto de Desarrollo, Eficiencia y Calidad, Ecuador*
C. Quiroz, *Dirección de Educación y Cultura, Municipio de Quito*

COMITÉ ASESOR TÉCNICO

- P. Campbell**, *Office of the California State Architect, USA*
J. Crum, *Design and Construction Branch of the Los Angeles Unified School District, USA*
W. D. L. Finn, *University of British Columbia, Canadá*
J. Irish, *Peck/Jones, USA*
D. Jephcott, *ingeniero consultor, USA*
J. Jones, *Peck/Jones, USA*
J. Meehan, *ingeniero consultor, USA*
R. Nigbor, *Agabian Associates, Inc., USA*
C. Rojahn, *Applied Technology Council, USA*
C. Ventura, *University of British Columbia, Canadá*

OTROS COLABORADORES:

Municipio de Quito: **J. Tupiza**; *Escuela Politécnica Nacional:* **R. Bernal, E. Chiguano, E. Egüez, G. Flores, H. Fuel, S. Guerra, E. Luna, C. Morales, F. Narváez, P. Pinto, R. Puebla, G. Pulupa, J. Santacruz, R. Santacruz, F. Serrano, N. Yumiseba**; *Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo y Cooperación (ORSTOM):* **J.-L. Chatelain, B. Guillier, M. Souris**; *GeoHazards International:* **S. King, C. Villacís.**

Las escuelas juegan un papel vital en la



CONTENIDO

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 EVALUACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES ESCOLARES DE QUITO
- 4 DISEÑO DE LAS OBRAS DE REFORZAMIENTO
- 15 REPORTE DEL AVANCE
- 16 DANDO EL SIGUIENTE PASO

comunidad...

En las escuelas se enseña civismo, creando una comunidad conciente de sus derechos y deberes. Se cultiva la apreciación de la cultura a través del estudio de la literatura y las artes. En las escuelas se enseña historia, los descubrimientos de la ciencia, y las recompensas al servicio público. Los centros de educación benefician a la economía de la sociedad al proveer una fuerza de trabajo alfabetizada y calificada. También son sitios de reuniones sociales, educación continua, producciones teatrales y musicales, y deportes. Los establecimientos educativos son una medida del bienestar de una comunidad.

Las comunidades propensas a la ocurrencia de terremotos necesitan de edificaciones sismoresistentes. Cuando los establecimientos educativos se cierran debido a daños producidos por un terremoto, la educación se retrasa y la vida de la comunidad se interrumpe. Además, la reparación y la reconstrucción de edificaciones escolares son difíciles y costosas luego de un sismo, cuando los recursos del gobierno son limitados. Pero más importante aún, las comunidades propensas a la ocurrencia de terremotos necesitan de edificaciones sismoresistentes para proteger a sus profesores y niños.

Un estudio reciente del riesgo sísmico para Quito, capital del Ecuador, demostró que muchas de sus escuelas públicas son vulnerables y podrían colapsar durante terremotos fuertes. Dicho estudio, que fue completado en mayo de 1994, fue realizado en un período de dos años por un equipo de científicos e ingenieros ecuatorianos así como de otras instituciones internacionales. Ellos encontraron que aunque Quito no ha sido afectada recientemente por un sismo fuerte, es un hecho que la ciudad ha sufrido los efectos de sismos grandes en el pasado y que, probablemente, los sufrirá en el futuro. Debido a esto, se recomendó un estudio de los establecimientos educacionales en Quito, para evaluar su estado estructural y determinar la necesidad o no de un reforzamiento posterior.

En respuesta a esta recomendación, GeoHazards International inició el Proyecto de Seguridad Sísmica para las Construcciones Escolares de Quito en diciembre de 1995. GeoHazards International, una organización sin fines de lucro dedicada a promover la seguridad sísmica alrededor del mundo, colaboró con la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador y la University of British Columbia en la definición de este proyecto. Se fijaron tres objetivos:

- Evaluar la vulnerabilidad sísmica de las escuelas públicas de la ciudad de Quito ante terremotos;
- Diseñar reforzamientos económicamente factibles para una muestra de las edificaciones vulnerables encontradas; y
- Reforzar la muestra de edificaciones vulnerables.

Este reporte describe los avances en la consecución de estos objetivos durante el primer año del proyecto y concluye con las recomendaciones necesarias para hacer seguras las construcciones escolares de Quito.

Evaluación de las Construcciones Escolares de Quito

Quito

SUDAMÉRICA

Los establecimientos de educación pública en Quito incluyen un grupo grande y variado de edificaciones. Existen más de 700 escuelas públicas en Quito y muchas de ellas consisten de más de un edificio. Algunas de ellas fueron originalmente residencias o bodegas. Unas consisten de estructuras diseñadas individualmente, y otras están formadas por grupos de módulos. En la actualidad, todos los establecimientos educativos públicos son construídos por la Dirección Nacional de Construcciones Escolares usando módulos de hormigón armado o acero. Tres tipos de materiales son usados comúnmente en las construcciones escolares: hormigón armado, acero y, en las escuelas antiguas, mampostería sin reforzar. La mampostería incluye bloques de cemento, adobe (bloques de arcilla hechos a mano y secados al sol) y ladrillo (bloques de arcilla hechos a mano y cocidos).

Hogar de 1.2 millones de Ecuatorianos, Quito esta situada en los Andes a 2,850 m sobre el nivel del mar, 22 km al sur de la Línea Ecuatorial.

PRIMER PISO "BLANDO"



Debido a su número y diversidad, una evaluación de todas las escuelas de la ciudad es imposible en un período corto de tiempo. En este proyecto, el estudio se concentró en una muestra de las escuelas de alto uso (gran número de estudiantes por área del edificio y por día), altamente vulnerables a sismos y que representen los tres materiales principales de construcción. Estas edificaciones con un gran uso y alta vulnerabilidad han sido denominadas como construcciones de “alto riesgo”.

El proceso de selección y evaluación de la vulnerabilidad de las escuelas incluídas en la muestra consistió en identificar los establecimientos educativos de mayor uso en Quito, clasificarlos de acuerdo al tipo de material de construcción, y determinar las edificaciones más vulnerables dentro de cada grupo. Datos catastrales proporcionados por el Municipio de Quito fueron utilizados para seleccionar 340 construcciones escolares de alto uso. Inspectores visitaron cada edificación y recolectaron información que incluyó materiales de construcción y condiciones generales de las estructuras. Las estructuras fueron agrupadas de acuerdo al material de construcción. Se siguieron tres pasos para determinar la vulnerabilidad de los edificios en cada grupo. Primero, los ingenieros del proyecto seleccionaron un total de 60 edificaciones que parecían ser las más vulnerables. Luego, por medio de una inspección rápida usando el método sugerido por el Applied Technology Council de los Estados Unidos, se asignó un valor de vulnerabilidad a cada edificio considerando las condiciones locales de sismicidad y construcción. Finalmente, se realizó un análisis estructural detallado para aquellas construcciones, un total de 20, con el mayor grado de vulnerabilidad en cada grupo. El análisis incluyó una investigación del sistema estructural (incluyendo la cimentación) para evaluar la localización, tamaño y detalles de conexión de todos los elementos estructurales. El deterioro estructural fue igualmente documentado. Se realizó el análisis dinámico de cada edificación considerando varios niveles de aceleración del terreno. En una evaluación preliminar, ingenieros de suelos determinaron que ninguna estructura estaba situada en suelos inestables.

Como resultado de este proceso, los ingenieros del proyecto identificaron 15 edificaciones de alto riesgo. Se encontró, además, que los dos módulos tipo de las escuelas construídas por la Dirección Nacional de Construcciones Escolares presentaban también riesgo sísmico. La siguiente sección presenta un resumen de los resultados de los estudios para las 15 edificaciones identificadas, así como también para las escuelas modulares que son comúnmente construídas en todo el país.

COLUMNAS “CORTAS”



Dos deficiencias estructurales comunes son los pisos “blandos” (por ejemplo pisos sin paredes de relleno) y las columnas “cortas” (columnas cuya longitud efectiva ha sido reducida por paneles o muros).

Ejemplos de cada caso son presentados en escuelas de Quito, y un edificio con un primer piso “blando” dañado por un terremoto.

Diseño de las Obras de Reforzamiento

Las 15 escuelas y los dos módulos escolares tipo identificados en el proyecto (ver la Tabla de Escuelas de Alto Riesgo) fueron escogidos para ser reforzados y proteger, de esta manera, a sus ocupantes aún durante los terremotos más fuertes que puedan ocurrir en Quito.

Reforzar un edificio significa mejorar su resistencia a los terremotos. El diseño de una obra de reforzamiento comprende la especificación de los cambios estructurales requeridos en una edificación para lograr un nivel adecuado de resistencia sísmica. El nivel aceptable de daño producido por varias intensidades del movimiento del terreno y el nivel deseado de resistencia determinan el criterio de diseño.

El criterio de diseño usado en este proyecto (ver Tabla del Criterio de Diseño de Reforzamiento) indica, por ejemplo, que las construcciones escolares reforzadas deberían resistir aceleraciones horizontales del terreno hasta del 6% de la aceleración de la gravedad (movimiento suficientemente fuerte como para desplazar muebles pesados) sin sufrir daños estructurales y con un mínimo de daño no estructural. Sismos capaces de producir intensidades altas en Quito son esperados cada dos décadas según lo demuestra la sismicidad histórica.

Diseños de reforzamiento fueron desarrollados y discutidos para las 15 escuelas y los dos tipos de módulos escolares. Estos diseños son realizables y utilizan materiales y técnicas de construcción locales. Las siguientes páginas presentan un resumen de estos diseños.

Intensidad del Movimiento del Terreno	Frecuencia Histórica de Ocurrencia	Criterio de Reforzamiento de las Escuelas
Muebles pesados se mueven (6%g)	Cada 2 décadas	Mínimo daño no estructural, no daño estructural
Algunos tienen dificultades para permanecer de pie (9%g)	Cada siglo	Daño no estructural moderado, no daño estructural
La mayoría tiene dificultades para permanecer de pie (26%g)	Cada 5 siglos	Daño estructural pero no colapso

Criterio de Diseño de Reforzamiento



Los ingenieros de la Escuela Politécnica Nacional discuten los diseños de reforzamiento de las escuelas con un miembro del Comité Asesor Técnico.



Nombre de la Escuela	No. de edificios	Material de Construcción	Año de Construcción	Nivel de Educación	Costo Estimado de Reforzamiento (Suces/US\$)
Ana Paredes de Alfaro	1	Hormigón armado	1956	Jardín de infantes y Educación primaria	S/ 34,333,000 \$14,000
Experimental Sucre	4	Hormigón armado	1952-59	Educación primaria	S/ 144,098,000 \$57,000
José de Antepara	1	Adobe	Pre-1940	Jardín de infantes y Educación primaria	S/ 27,452,000 \$11,000
República de Argentina	1	Mampostería sin refuerzo	1953	Educación primaria	No disponible
República de Chile	4	Hormigón armado	1945/1994	Educación primaria y secundaria	S/ 618,698,000 \$244,000
Río Amazonas	3	Hormigón armado	1978	Educación secundaria	S/ 98,000,000 \$39,000
11 de Marzo	1	Acero	Desconocido	Educación secundaria	S/ 16,718,000 \$7,000
Dirección Nacional de Construcciones Escolares, Módulo I	Muchos	Hormigón armado	Varios	Varios	S/ 160,000/m ² \$63/m ²
Dirección Nacional de Construcciones Escolares, Módulo II	Muchos	Acero	Varios	Varios	S/ 33,000/m ² \$13/m ²

Escuelas de Alto Riesgo

Localización: Calles Rocafuerte y Rodríguez de Quiroga

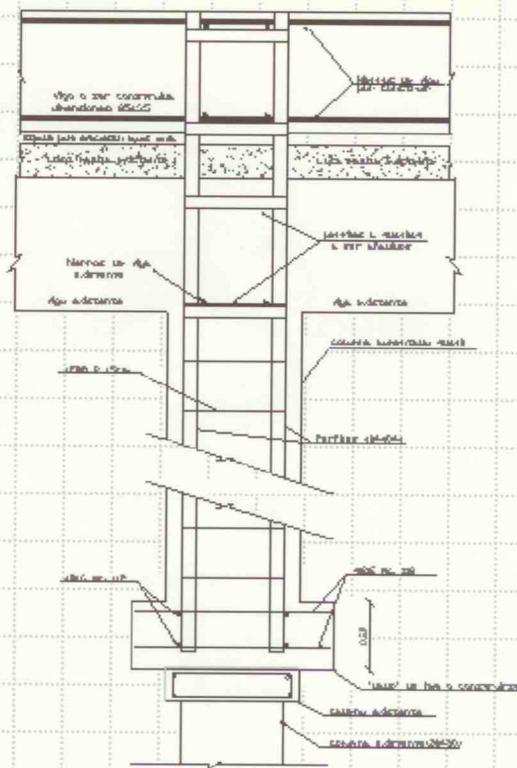
Año de Construcción: 1956

Material: Hormigón armado

Area Total de Construcción: 540 m²

No. de Edificios Estudiados: 1

Costo Estimado: S/ 34,333,000 (US \$14,000)



Detalle de Columna y Losa de Cubierta

DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

El jardín de infantes y escuela primaria Ana Paredes de Alfaro consta de un edificio principal de un piso, construido de hormigón armado, y de dos módulos de acero. El edificio principal fue estudiado en este proyecto.

La planta del edificio principal tiene forma de C, con su eje y dos alas separados por juntas de construcción. La losa de cubierta tiene un espesor de 15 cm y está recubierta con teja. La losa está soportada por columnas de hormigón armado y paredes de mampostería de 20 cm de espesor. La cimentación consiste principalmente de zapatas de piedra y hormigón armado. Debido a la pendiente del terreno, algunas partes del edificio están soportadas sobre muros de mampostería. La cimentación tiene una viga de amarre de hormigón de 10 cm de espesor.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Las vigas y columnas de concreto son débiles y ponen al marco de la estructura en riesgo de colapso durante un terremoto fuerte. Varias columnas no poseen el acero de refuerzo necesario y muchas de las juntas viga-columna son inadecuadas. La losa de concreto de la cubierta presenta deflexiones excesivas en varios sitios y rajaduras que permiten la entrada de agua lluvia en el edificio.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

La edificación será reforzada añadiendo vigas de hormigón armado sobre la losa de la cubierta y columnas de acero, y reforzando tanto las columnas como las juntas viga-columna existentes. Esto creará un marco resistente a cargas laterales para el edificio, incrementará su ductilidad durante terremotos, disminuirá los esfuerzos en sus elementos estructurales, y detendrá la deflexión de la losa de la cubierta. La cubierta será sellada con impermeabilizantes para evitar filtraciones.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: G. Barahona y F. Vaca, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Jardín de Infantes "Ana Paredes de Alfaro"*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Calle Sucre, Barrio La Loma

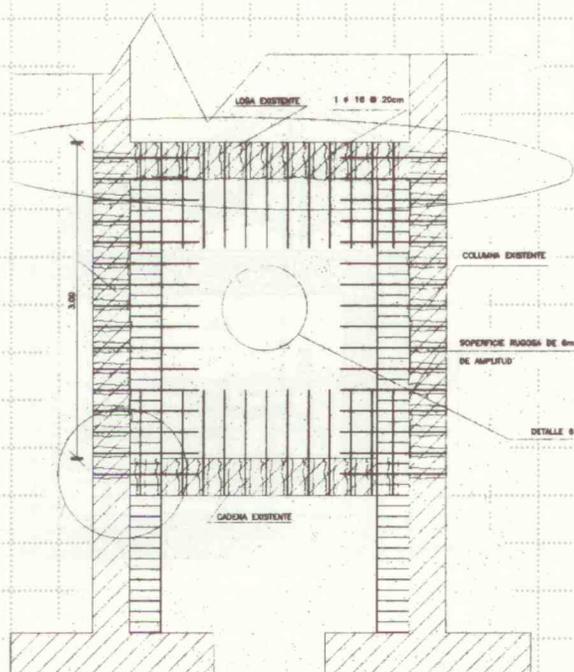
Año de Construcción: 1952-1959

Material: Hormigón armado

Area Total de Construcción: 3,080 m²

No. de Edificios Estudiados: 4

Costo Estimado: S/ 144,098,000 (US \$57,000)



Detalle de Diseño de Reforzamiento



DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

La escuela Experimental Sucre tiene varios edificios con pórticos de hormigón armado de tres y cuatro pisos y paredes de relleno de mampostería sin refuerzo. Cuatro edificios fueron estudiados en este proyecto: una estructura de cuatro pisos que sirve como eje longitudinal y sus tres bloques transversales de tres pisos cada uno.

El eje longitudinal es de 130 m de longitud y está constituido por pórticos transversales de 7.5 m de luz y voladizos de 2.5 m, espaciados cada 3 m. Juntas de construcción separan la parte central (50 m de longitud) del eje longitudinal del resto de la estructura. Los pisos están formados por losas rígidas de 35 cm de espesor. Las columnas están conectadas entre sí por vigas descolgadas únicamente en la dirección longitudinal.

Los tres bloques transversales son de 18 m de longitud y están separados 25 m entre sí. Son perpendiculares al eje principal y separados de éste por juntas de construcción. Cada bloque está formado por siete pórticos de 6 m de luz y voladizos de 2.5 m, colocados cada 3 m. Una viga de hormigón de 35 cm de espesor y embebida en la losa conecta las dos columnas de cada pórtico.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Las vigas y columnas no son suficientemente fuertes como para garantizar la resistencia sísmica de las estructuras. Las aberturas de puertas y ventanas han creado columnas cortas. El primer piso de cada uno de los bloques transversales no tiene paredes de relleno, creando una condición peligrosa de piso blando. La separación entre los bloques transversales y el edificio principal no es suficiente para evitar que estas estructuras choquen durante un sismo.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se añadirán muros de cortante a las edificaciones en sus direcciones longitudinal y transversal. Se formularon dos propuestas de diseño para la construcción de los muros de cortante. La primera consiste en añadir paredes de mampostería reforzada al primer piso (únicamente en los bloques transversales) y reemplazar las paredes de los pisos superiores con paredes de mampostería reforzada conectadas apropiadamente a los pórticos. La segunda propuesta consiste en añadir paredes de mampostería reforzada al primer piso (únicamente en los bloques transversales) y reforzar las paredes de los pisos superiores con malla de acero y hormigón sobre la superficie. Los muros de cortante incrementarán la rigidez de los pórticos y evitarán los peligros de pisos blandos y choques entre bloques. Se añadirán juntas de separación entre las paredes y las columnas para evitar problemas de columnas cortas.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: S. Díaz y F. Ponce, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Escuela Sucre*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Calles Húsares y Cabo Vinuesa, esquina

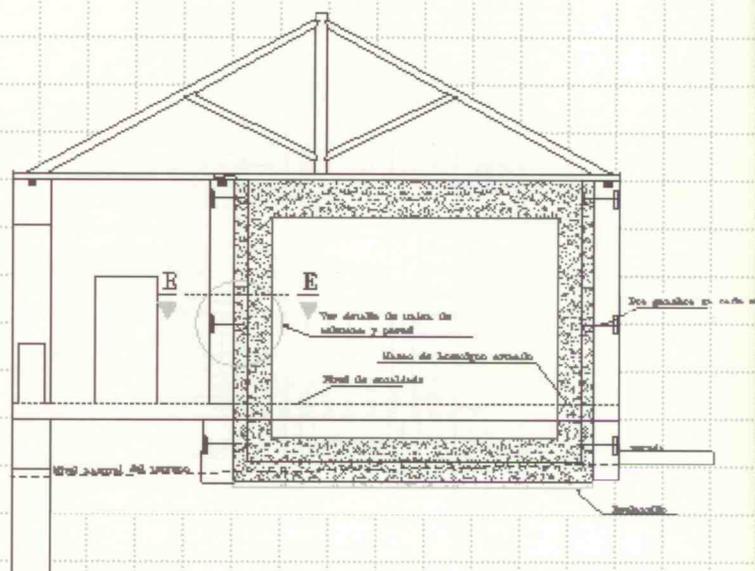
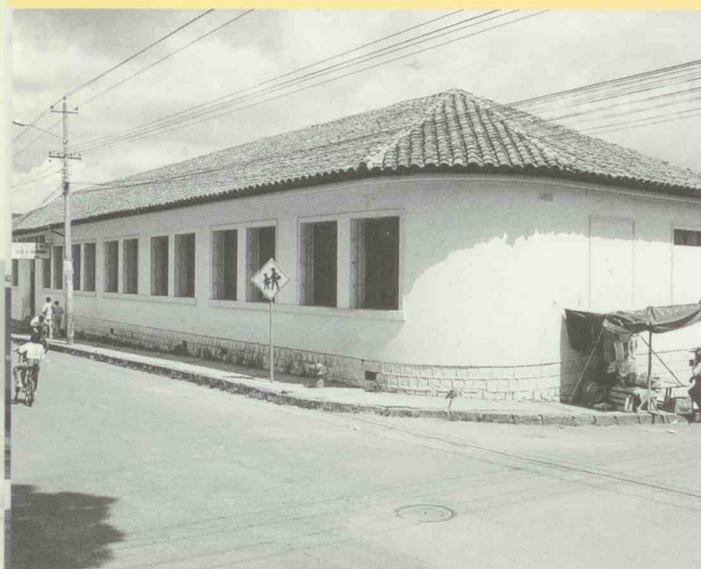
Año de Construcción: Antes de 1940

Material: Adobe, teja

Area Total de Construcción: 900 m²

No. de Edificios Estudiados: 1

Costo Estimado: S/ 27,452,000 (US \$11,000)



Detalle de Diseño de Reforzamiento

DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Las instalaciones del jardín de infantes y escuela primaria José de Antepara incluyen un edificio principal, compuesto de varios materiales y sistemas estructurales, y varios módulos de acero y hormigón armado. La sección original y más larga del edificio principal, una estructura alargada de adobe, fue estudiada en este proyecto. La estructura de adobe tiene una forma de L con paredes de 40 a 60 cm de espesor soportadas por cimentaciones continuas de piedra. Las paredes muestran pocos signos de daño. El techo consiste de armaduras de madera alineadas transversalmente y cubiertas con tejas. Las armaduras están conectadas en su parte superior e inferior con correas de madera. Un cielo raso falso está suspendido de las cuerdas inferiores.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Los dos mayores problemas que presenta esta edificación son su debilidad en la dirección transversal y un techo peligroso. Las paredes longitudinales tienen grandes luces sin soporte lateral que las hacen muy flexibles en la dirección perpendicular al plano que las contiene.

Algunas armaduras están rotas. Los nudos de las armaduras y sus conexiones con las paredes no son capaces de transferir efectivamente cargas sísmicas. El techo carece de arriostre en la dirección longitudinal. Estas deficiencias podrían causar que el techo y las tejas colapsen sobre las aulas durante un terremoto. Las tejas, sostenidas solamente por gravedad, podrían resbalar durante un terremoto hacia el patio y la acera adyacentes.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se sugirieron dos opciones para reforzar la estructura a lo largo de su eje transversal. La primera consiste en la construcción, en la dirección transversal, de una pared continua de mampostería no reforzada de 40 cm de espesor, confinada por una viga de hormigón armado y columnas. Esto, sin embargo, dividiría un gran salón de clases de uso múltiple. La segunda, un diseño que evite tal división, requiere la construcción de dos marcos rígidos de hormigón armado en la dirección transversal del edificio.

Las armaduras del techo serán reparadas y sus nudos y conexiones serán reforzados. Se añadirá arriostre en el plano del techo. Las tejas serán fijadas para prevenir su movimiento durante un terremoto.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: E. Márquez y P. Placencia, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Escuela Fiscal Mixta "José de Antepara"*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Entre las calles Daule, Pita y Pique, Ciudadela México

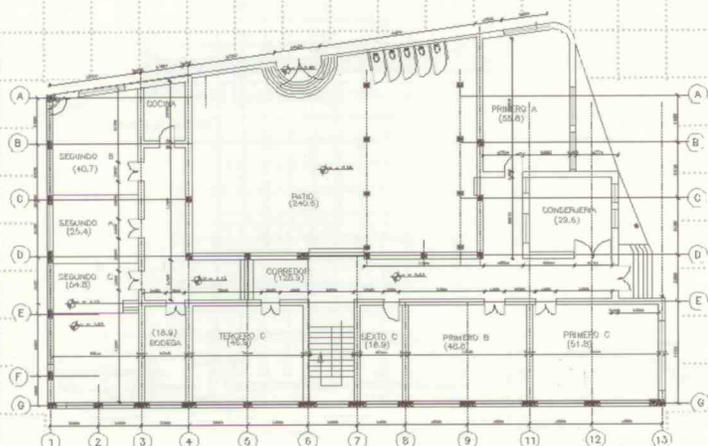
Año de Construcción: 1953

Material: Mampostería sin refuerzo

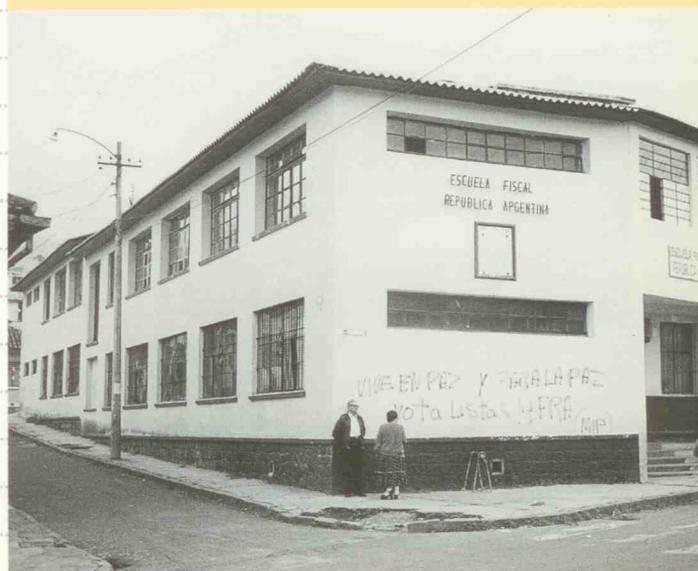
Area Total de Construcción: 700 m²

No. de Edificios Estudiados: 1

Costo Estimado: No disponible



Planta del Edificio



DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

La escuela primaria República de Argentina consta de una estructura de hormigón armado recientemente construida y el edificio principal original de dos pisos y construido con ladrillo. El edificio principal fue estudiado en este proyecto.

La planta del edificio principal tiene forma de C. Debido a la topografía irregular del terreno, el primer piso contiene cuatro niveles y el segundo dos. Las paredes de ladrillo sin refuerzo tienen un espesor de 40 cm. El piso de madera del segundo piso está soportado por vigas de hormigón armado que, a su vez, descansan sobre las paredes de la planta baja. El techo está apoyado sobre vigas de madera. En el segundo piso existen varias adiciones de hormigón armado con techos alivianado de metal.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Las paredes exteriores e interiores tienen aberturas de puertas y ventanas que crean un efecto peligroso de columnas cortas. Las conexiones viga-pared son deficientes. Debido a que las vigas de madera y la estructura del techo descansan sobre las paredes, la falla de las conexiones viga-pared durante un terremoto podría producir el colapso de la estructura.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Las aberturas de las paredes serán modificadas para reducir el efecto de columnas cortas. Las intersecciones entre paredes serán mejoradas. Se mejorarán la rigidez en el plano del piso y la rigidez de los sistemas del techo, así como también las conexiones que sostienen las paredes.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: G. Barahona y F. Vaca, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Escuela Fiscal Mixta "República de Argentina"*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Calles Rocafuerte y Cumandá

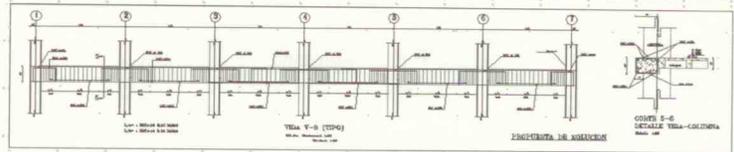
Años de Construcción: 1945 y 1994

Material: Hormigón armado

Area Total de Construcción: 2,570 m²

No. de Edificios Estudiados: 4

Costo Estimado: S/ 618,698,000 (US \$244,000)



Detalle de Diseño de Reforzamiento

DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

La escuela República de Chile consiste de cuatro edificios de hormigón armado (Bloques 1 al 4) con paredes de mampostería sin refuerzo. Los bloques 1, 2, y 3 fueron construídos en 1945 y son de dos pisos. El bloque 1 tiene un área total de 1090 m². El bloque 2, de forma cuadrada en planta, tiene un área total de 240 m² y es usado para la circulación de personas entre los otros tres bloques. El bloque 3 tiene un área de 600 m² y es de construcción similar al bloque 1. Los bloques 1, 2 y 3 tienen columnas de sección rectangular y circular, algunas de las cuales son muy esbeltas. La cimentación es de zapatas de hormigón ciclópeo, y cimientos de piedra que sostienen las paredes. No existen vigas de amarre entre las zapatas. El bloque 4, una estructura de un piso construída en 1994, tiene un área de 200 m² y pórticos de hormigón únicamente en su dirección transversal.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Las losas y las columnas de hormigón armado se han deteriorado por la acción del agua. En algunas áreas, el hormigón contiene agregados blandos o escombros de la construcción. Los edificios tienen varias columnas cortas y las débiles paredes de relleno podrían resquebrajarse y colapsar durante un terremoto fuerte. Estas edificaciones no son capaces de resistir movimientos del suelo fuertes y de larga duración. Muchos cielo rasos de las aulas de clase tienen tejas pesadas y sueltas, que podrían caer durante un sismo.

Las columnas de los bloques 1, 2 y 3 tienen acero de refuerzo liso. Las esbeltas columnas circulares del primer piso del bloque 2 no están alineadas verticalmente con las columnas del piso superior lo que produce discontinuidades entre las columnas y las vigas. Muchas vigas son excesivamente largas y la distribución de vigas no es eficiente. El bloque 4 carece de pórticos estructurales en la dirección longitudinal lo que disminuye bastante la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Debido a que la escuela fue construída sin ningún sistema estructural sismoresistente, los pórticos de los bloques 1, 3, y 4 serán completamente rediseñados. Considerando el diseño extremadamente pobre y las condiciones del bloque 2, éste será demolido y reconstruído. Las tejas del cielo raso de todas las aulas serán removidas y reemplazadas por paneles más livianos y seguros.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: R. Arellano y J. Espinoza, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Escuela República de Chile*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Avenida Alonso de Angulo,
Barrio de la Villaflores

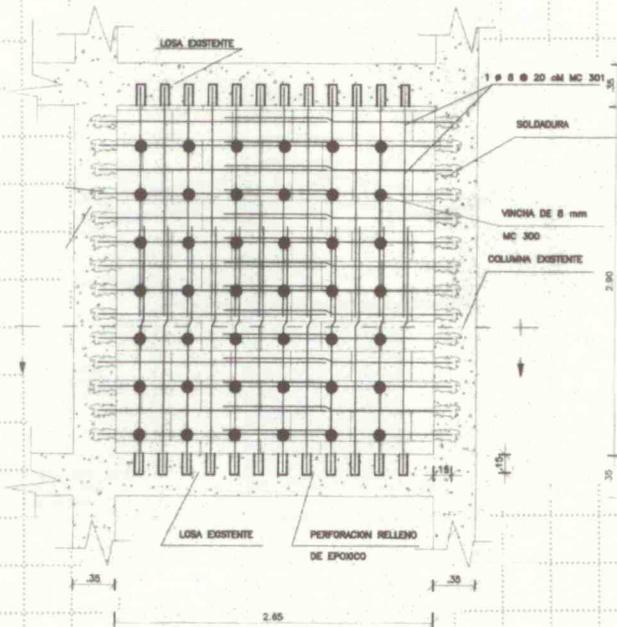
Año de Construcción: 1978

Material: Hormigón armado

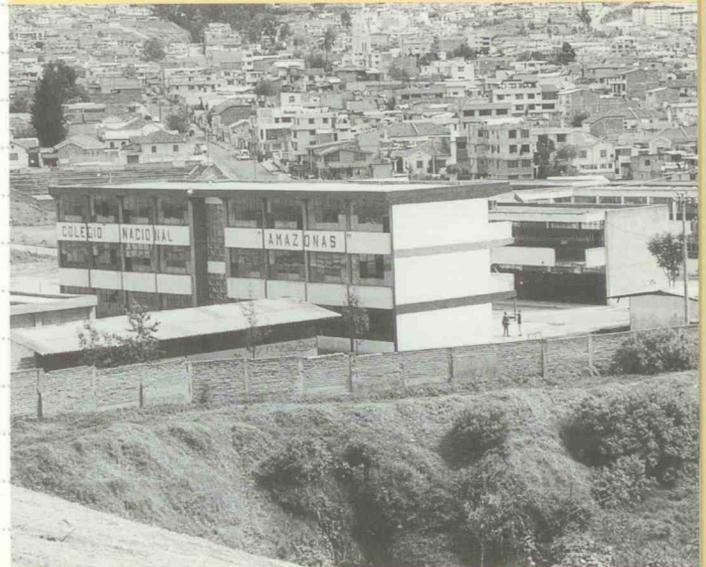
Area Total de Construcción: 1,600 m²

No. de Edificios Estudiados: 3

Costo Estimado: S/ 98,000,000 (US \$39,000)



Detalle de Diseño de Reforzamiento



DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

El colegio Río Amazonas tiene 12 edificios de hormigón armado de dos y tres pisos y un edificio con pórticos de acero, todos construidos entre 1978 y 1985. Este proyecto consideró tres edificaciones de hormigón armado construidas en 1978: el edificio principal, de planta en forma de C y de dos pisos, y dos edificaciones aledañas de tres pisos.

Las alas simétricas del edificio principal están formadas por una serie de pórticos separados 3 m y con juntas de construcción cada 9 m. Las vigas están embebidas en la losa del piso y conectan los pórticos en la dirección longitudinal. La parte central de este bloque de dos pisos tiene pasadizos de losas sólidas que descansan sobre columnas cada 3 m. El módulo de la escalera está localizado en la mitad del edificio principal.

Los dos edificios aledaños son de diseño similar al edificio principal, con la excepción de que ellos son de tres pisos y con pórticos separados cada 4 m. Cada edificio tiene un módulo de escaleras en el centro, separado por juntas de construcción de 1.5 m.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Los diseños originales de los edificios no consideraron fuerzas laterales. Los pórticos no proveen suficiente rigidez o resistencia para transferir propiamente cargas laterales durante un terremoto. La separación de las juntas de construcción es muy pequeña y podría permitir choques durante un sismo. Las aberturas de ventanas y puertas y las paredes de media altura crean condiciones de columnas cortas. Los módulos de las escaleras muestran deflexiones excesivas.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se añadirán elementos estructurales a las edificaciones para incrementar su rigidez longitudinal. Se recomiendan dos opciones: reemplazar las paredes de relleno de mampostería sin refuerzo con paredes de mampostería reforzada conectadas apropiadamente a los pórticos de hormigón, o reforzar las paredes existentes colocando mallas de acero y hormigón armado sobre su superficie. Se añadirán juntas de separación entre las paredes y las columnas para prevenir efectos de columnas cortas. Se añadirán elementos soportantes para controlar la deflexión de los módulos de escaleras.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: S. Díaz y F. Ponce, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Escuela Río Amazonas*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Panamericana Sur, en La Internacional

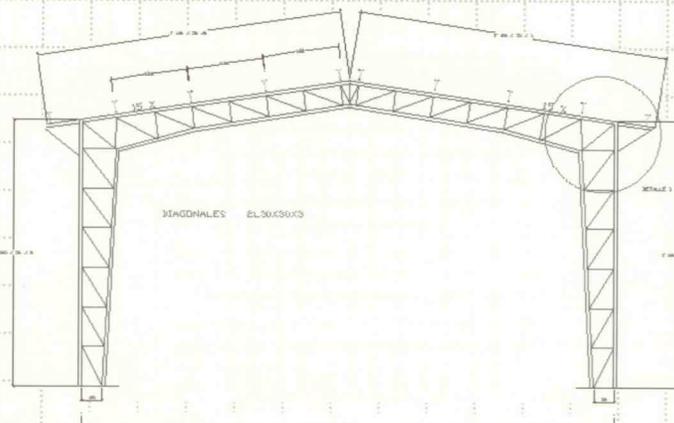
Año de Construcción: Desconocido

Material: Acero

Area Total de Construcción: 380 m²

No. de Edificios Estudiados: 1

Costo Estimado: S/ 16,718,000 (US \$7,700)



Pórtico de Acero Tipo

DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

El colegio 11 de Marzo es un edificio de dos pisos con pórticos de acero y paredes de relleno de mampostería sin refuerzo. Fue originalmente utilizado como bodega. Consiste de ocho pórticos rígidos en la dirección transversal y dos pórticos arriostrados en la dirección longitudinal. Las columnas del primer piso son de tipo I y las del segundo piso son columnas tubulares.

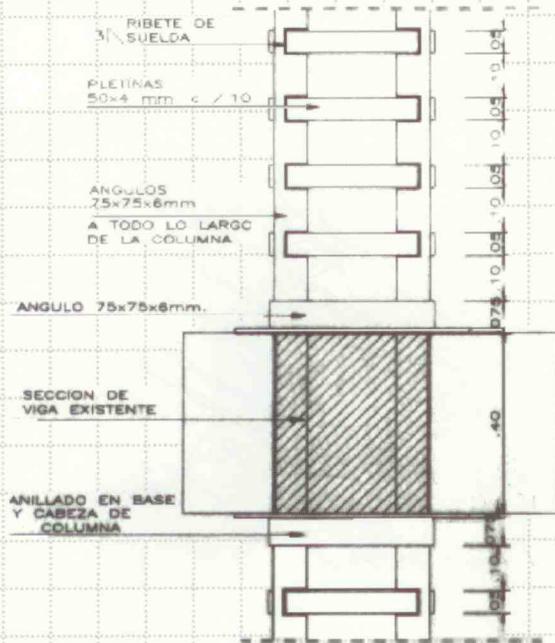
DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Debido a que las paredes de relleno de mampostería sin refuerzo son mucho más rígidas que los pórticos de acero, la interacción pórtico-pared podría dañar seriamente a los elementos menos rígidos durante terremotos fuertes. La capacidad de flexión de las vigas del primer piso es baja y las conexiones viga-columna en los pórticos longitudinales no son suficientemente rígidas, por lo que existe un riesgo potencial de colapso de la estructura durante un terremoto. Adicionalmente, varios miembros de acero presentan problemas de corrosión.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se añadirán juntas de separación entre las columnas y las paredes. La capacidad de flexión de las vigas del primer piso será incrementada con un reforzamiento adecuado. Los nudos de los pórticos longitudinales serán reforzados para asegurar continuidad y una correcta acción de los pórticos. Los problemas de corrosión serán solucionados y los miembros de acero expuestos al medio ambiente serán recubiertos con pintura anticorrosiva para evitar mayor oxidación.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: J. Vintimilla, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: 11 de Marzo*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)



Detalle de Diseño de Reforzamiento

Localización: Muchas ciudades en todo el Ecuador

Año de Construcción: Varios

Material: Hormigón armado

Area Total de Construcción: Varios

No. de Edificios Estudiados: Muchos

Costo Estimado: S/ 160,000 por m² (US \$63 por m²)



DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

Módulos escolares de hormigón armado se conectan entre sí en varias configuraciones para formar un edificio completo. Se usan columnas rectangulares de hormigón para formar pórticos longitudinales y transversales. Las paredes están construídas con ladrillos de arcilla o bloques de cemento y tienen columnas verticales de refuerzo. Dependiendo de las características del suelo, las cimentaciones son hechas de zapatas aisladas o corridas de hormigón armado. Las escaleras son usualmente colocadas en las esquinas de módulos adyacentes.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Debido al método de construcción por módulos, estas edificaciones carecen de resistencia sísmica en su dirección longitudinal. Las aberturas en las paredes para las puertas y ventanas en la dirección longitudinal crean columnas cortas. Los detalles del diseño no son adecuados. Por ejemplo, un mal detallamiento de las juntas de construcción entre bloques a menudo resulta en filtración de agua lluvia. En regiones del país con alta humedad o lluvias frecuentes, el primer piso es generalmente construído con grandes claros entre las paredes creando una condición potencialmente peligrosa de piso blando. En muchos casos, los módulos son alterados luego de ser construídos, creando deficiencias adicionales.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se prepararon diseños de reforzamiento para las deficiencias más comunes. En general, los diseños de reforzamiento recomiendan incrementar la rigidez de las paredes longitudinales y reducir el número de columnas cortas relleno algunos de las aberturas para ventanas, proveer separación entre columnas y paredes de relleno, y mejorar los detalles de construcción.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: J. Fernández y P. Gachet, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Tipo DINACE*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Localización: Muchas ciudades en todo el Ecuador

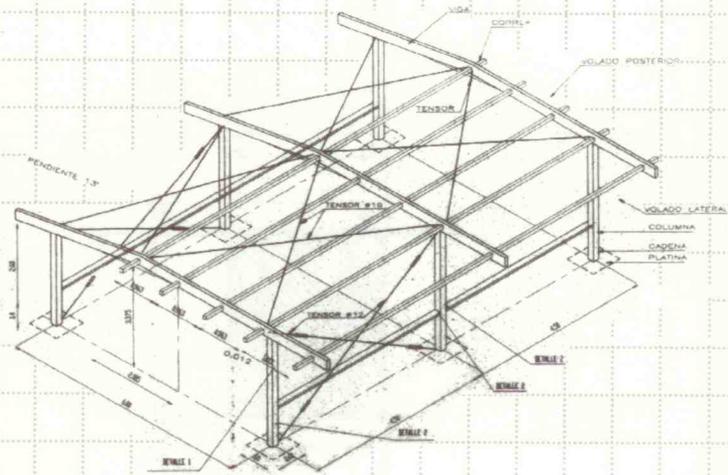
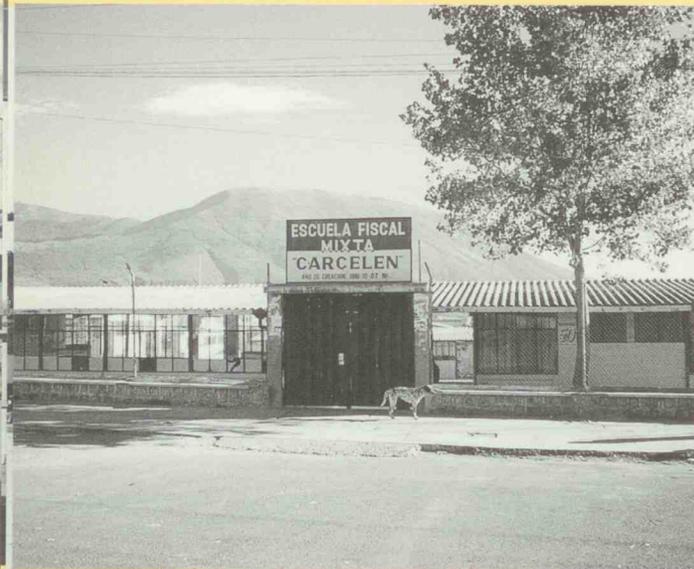
Año de Construcción: Varios

Material: Acero

Area Total de Construcción: Varios

No. de Edificios Estudiados: Muchos

Costo Estimado: S/ 33,000 por m² (US \$13 por m²)



Detalle de Diseño de Reforzamiento

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

El módulo de acero es una estructura de un piso con un techo alivianado a dos aguas. Estos módulos se conectan en varias configuraciones para formar un edificio escolar. El techo descansa sobre pórticos de sección tubular de acero alivianado. Las columnas están sobre zapatas aisladas de hormigón armado conectadas con cadenas de cimentación y contrapisos de hormigón armado. Las paredes de relleno de mampostería de ladrillo o bloque de cemento tienen refuerzo vertical y horizontal. Las paredes no están separadas de las columnas de acero. En algunas escuelas, las caras exteriores de los miembros de acero han sido pintadas para prevenir su corrosión mientras que las caras interiores están generalmente sin pintar.

DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES

Las paredes de relleno de mampostería son mucho más rígidas que los pórticos flexibles de acero, y la interacción de fuerzas entre paredes y pórticos durante un terremoto fuerte podría dañar seriamente a éstos últimos. Las aberturas para las puertas y ventanas de las paredes longitudinales crean columnas cortas que son potencialmente peligrosas. La corrosión de algunos de los miembros de acero ha reducido su resistencia y, consecuentemente, su capacidad para resistir cargas sísmicas. Adicionalmente, los módulos son, en muchos casos, alterados luego de ser construídos lo que crea deficiencias mayores.

REFORZAMIENTO PROPUESTO

Se prepararon diseños de reforzamiento para las deficiencias más comunes. En general, los diseños de refuerzo recomiendan añadir tensores horizontales a nivel del techo para incrementar la resistencia a sismos en la dirección longitudinal; añadir juntas de 2 cm entre las paredes y las columnas para mitigar los efectos de columnas cortas; prevenir los efectos de la corrosión llenando las columnas tubulares con hormigón y pintando todos los miembros de acero.

Una descripción completa de esta estructura, su análisis y diseño de su reforzamiento puede ser encontrada en: J. Fernández y P. Gachet, *Seguridad Sísmica de los Establecimientos Escolares en la Ciudad de Quito: Tipo DINACE*. (Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1995.)

Reporte del Avance

Durante el primer año de este proyecto, se ha realizado un progreso significativo en el reforzamiento de las construcciones escolares de alto riesgo de la ciudad de Quito.

Al momento de escribir este reporte, existe ya el ofrecimiento para financiar el reforzamiento de 10 establecimientos educativos. El Municipio de Quito ha asignado los fondos necesarios para reforzar cuatro edificios en la escuela municipal Experimental Sucre. Educación Básica: Proyecto de Desarrollo, Eficiencia y Calidad ha acordado reforzar seis edificaciones en tres escuelas: Ana Paredes de Alfaro, José de Antepara y República de Chile. Las obras de reforzamiento en estas escuelas empezarán en poco tiempo. Organizaciones filantrópicas locales han expresado su interés en apoyar el reforzamiento de las edificaciones restantes.

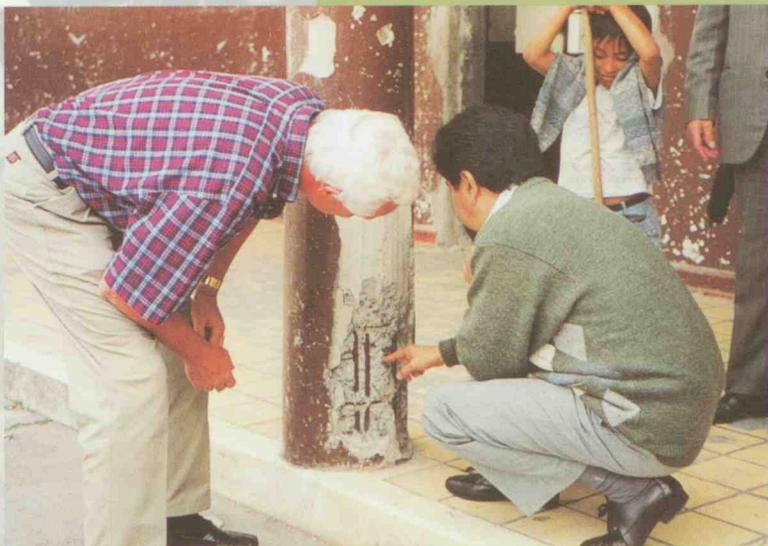
El Municipio de Quito ha acordado financiar la evaluación y reforzamiento de la escuela municipal Eugenio Espejo, identificada como vulnerable en este proyecto.

De mayor importancia para una población con una tasa rápida de crecimiento como es la Ecuatoriana, es la decisión de USAID-Ecuador de financiar el diseño de nuevos módulos sismo-resistentes para la Dirección Nacional de Construcciones Escolares. Estos diseños

serán utilizados en la construcción de establecimientos educativos en todo el Ecuador.

Igualmente, se ha progresado bastante en el aprendizaje de cómo identificar y reforzar el resto de escuelas vulnerables en Quito. Las construcciones escolares de alta vulnerabilidad pueden ser fácilmente identificadas por ingenieros experimentados usando los métodos descritos en este reporte. Este proyecto mostró que el reforzamiento de las escuelas para proteger las vidas de sus ocupantes es realizable y de menor costo que el reemplazo

total de las edificaciones. Se encontró que la identificación de las escuelas de alto riesgo y el diseño de su reforzamiento pueden generar el financiamiento local necesario para su ejecución.



Ingenieros inspeccionan la escuela República de Chile, una de las escuelas para las que se ha ofrecido financiamiento para su refuerzo.



ESTE PROYECTO ES SOLAMENTE EL PRIMER PASO
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SEGURIDAD DE LAS
CONSTRUCCIONES ESCOLARES DE LA CIUDAD DE QUITO.
EL PRÓXIMO PASO PUEDE SER DADO POR LOS PADRES
DE FAMILIA, PROFESORES Y LÍDERES DE LA COMUNIDAD.



Dando el Siguiente Paso

Este proyecto involucró principalmente ingenieros, funcionarios del gobierno y trabajadores de la educación de la ciudad de Quito. Los ingenieros identificaron las escuelas de alto riesgo y proveyeron el diseño del reforzamiento necesario. Los funcionarios del gobierno y los trabajadores del sector educativo proveyeron consejo y obtuvieron los fondos para la implementación del reforzamiento. Todos ellos demostraron su fuerte compromiso con la seguridad sísmica de las edificaciones escolares. Ellos deberían ser apoyados en la continuación de este trabajo hasta que todas las construcciones escolares vulnerables sean reforzadas.

Padres de familia y profesores no estuvieron envueltos directamente en este proyecto. Sin embargo, ellos tienen el mayor interés en la seguridad de las escuelas y pueden jugar un rol importante en la consecución de escuelas sísmoresistentes. Padres de familia y profesores pueden:

- Promover la concientización de la vulnerabilidad de las construcciones escolares de Quito y las formas de hacerlos seguros.
- Exigir inspecciones de las escuelas por ingenieros estructurales de, por ejemplo, las universidades de Quito o de la Sociedad Ecuatoriana de Ingeniería Estructural.
- Identificar y mitigar peligros no estructurales tales como estanterías de libros y cielo rasos sueltos, y sugerir planes de preparación y respuesta para sus escuelas. Estas actividades son simples, efectivas y sin costo alguno.

Los terremotos serán parte del futuro de Quito tan ciertamente como lo han sido de su pasado. Si bien no se conoce cuándo ocurrirá el próximo terremoto, es un hecho que los esfuerzos para incrementar la seguridad de los establecimientos actuales en Quito reducirán las futuras pérdidas humanas y de infraestructura. Este proyecto es solamente el primer paso para el mejoramiento de la seguridad de las construcciones escolares de la ciudad de Quito. El próximo paso puede ser dado por los padres de familia, profesores y líderes de la comunidad.

Otras Publicaciones de GeoHazards International:

Issues in Urban Earthquake Risk

The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project: An Overview

Uses of Earthquake Damage Scenarios

Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards International, *Proyecto de Seguridad Sísmica para las Construcciones Escolares de Quito, Ecuador: Invirtiendo en el Futuro de Quito.* (Stanford: GeoHazards International, 1995.)

Diseño: Jacqueline Jones Design, San Francisco

Fotografías: G. Hoefler, G. Echeverría, C. Villacís

© 1995 GeoHazards International. Reservados todos los derechos.

GeoHazards International

Stanford University

Stanford, CA 94305-2215, USA

Teléfono: (415) 723-3599

Fax: (415) 723-3624

E-mail: geohaz@pangea.stanford.edu