

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE GRADUADOS

Maestría en Ingeniería Civil



Las Estructuras de los Centros Educativos (Colegios)  
en el Siglo XX en el Perú  
Diversos Proyectos de Reforzamiento y Ejemplos de Estructuración  
de Edificaciones de la Universidad Católica del Perú

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL

Presentada por

Ing. Juan Antonio Blanco Blasco

Lima - Perú

Mayo, 2005

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÒLICA DEL  
PERÙ

ESCUELA DE GRADUADOS

TESIS DE MAESTRÌA

JUAN ANTONIO BLANCO BLASCO  
MAYO 2005

LAS ESTRUCTURAS DE LOS CENTROS  
EDUCATIVOS (COLEGIOS)  
DEL SIGLO XX EN EL PERÚ,  
DIVERSOS PROYECTOS DE REFORZAMIENTO  
Y EJEMPLOS DE ESTRUCTURACIÓN DE  
EDIFICACIONES DE LA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ

## PRÓLOGO

*Desde que culminé mis estudios profesionales de ingeniería civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, me dediqué al área del diseño estructural. En 1972 ingresé a la oficina del ingeniero Ricardo Reyna Quezada, que en ese año se había asociado con el ingeniero Enrique Meini Sponza, ambos exalumnos de la PUCP y profesores de la Facultad de Ingeniería Civil.*

*Don Ricardo Reyna me transmitió sus conocimientos y secretos del arte del diseño estructural, pues si bien muchos creen que el diseño estructural es sinónimo de cálculo estructural, considero que hay muchas diferencias entre ser un calculista y ser un diseñador de estructuras. Poco a poco aprendí a estructurar, concebir una estructura, calcularla y diseñar sus elementos, para finalmente desarrollar un proyecto que luego se convierte en una edificación real, al servicio de la sociedad.*

*Posteriormente fui socio de los ingenieros antes mencionados y de los colegas Ricardo Icaza Andrade y Arnaldo Chávez Martín, conformando un grupo de ingenieros íntegramente dedicado al diseño estructural. En 1977 la sociedad se convirtió en Reyna Icaza Chávez Blanco Ings. S.R.L. y en 1986 se fue disolviendo pues don Ricardo Reyna ya vivía varios años fuera del país.*

*Desde 1986 hasta la fecha dirijo mi oficina de consultoría en proyectos de ingeniería, compartiendo mi tiempo con la enseñanza del concreto armado y la asesoría de tesis en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.*

*En 1991 publiqué mi primer libro, titulado “Estructuración y Diseño de Estructuras de Concreto Armado”, que fue el tomo II de la “Colección del Ingeniero Civil” que editó el Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú, libro que fuera reeditado hasta en tres oportunidades. En éste traté de transmitir mis experiencias en el área del diseño estructural de edificaciones, con el objeto de contribuir a la divulgación de conocimientos del diseño y de los criterios de*

*estructuración que deben primar en el Perú, nuestro país, que en gran parte de su extensión está expuesto a las acciones de los sismos.*

*A raíz de la invitación recibida de las autoridades de la PUCP y de su Escuela de Graduados, decidí hacer mi tesis de Maestría, varios años después de haber estudiado sus cursos, eligiendo como tema “Las estructuras de los centros educativos (colegios) del siglo XX en el Perú, diversos proyectos de reforzamiento y ejemplos de estructuración de edificaciones de la Universidad Católica del Perú”, en base a mis experiencias en el diseño y reforzamiento de estructuras destinadas a colegios.*

*Los sismos ocurridos en el siglo XX, en diversas ciudades del Perú, nos han enseñado los problemas existentes en las edificaciones destinadas a aulas de colegios, institutos superiores y universidades. Estas experiencias y sus explicaciones técnicas deben ser divulgadas entre los arquitectos e ingenieros civiles, así como entre los estudiantes de estas carreras universitarias, con el fin de contribuir a enriquecer sus conocimientos.*

*Es por estas razones que este trabajo se inicia con una breve historia del desarrollo de las edificaciones destinadas a colegios y centros de educación en general, para luego pasar a explicar las experiencias adquiridas en la evaluación de daños y en el reforzamiento de locales escolares afectados por los terremotos y culminar con criterios de estructuración de diversas edificaciones de la Universidad Católica que he proyectado.*

*Es mi deseo que los ejemplos de edificaciones reales que se muestran en este trabajo, sirvan para las decisiones que deban tomar colegas que se enfrentan al diseño de edificaciones similares.*

*Juan Antonio Blanco Blasco*

## INDICE

<i>Capítulo I</i> <i>Las estructuras de los colegios y universidades peruanas en el siglo XX</i> <i>Páginas</i>	<i>6 al 35</i>
<i>Capítulo II</i> <i>Proyectos de reforzamiento de colegios afectados por el terremoto del año 2001</i> <i>Páginas</i>	<i>36 al 91</i>
<i>Capítulo III</i> <i>Proyectos de reforzamiento preventivo de colegios</i> <i>Páginas</i>	<i>92 al 104</i>
<i>Capítulo IV</i> <i>Proyectos de estructuras de edificaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú</i> <i>Páginas</i>	<i>105 al 130</i>

## Capítulo 1

### Evolución de las Estructuras de Centros Educativos, Institutos Superiores y Universidades Peruanos en el Siglo XX

Las edificaciones destinadas a centros educativos, institutos y universidades, tienen generalmente una serie de pabellones independientes según los diferentes usos, típicos en ellos, como son: Pabellones de Aulas, Laboratorios, Sectores Administrativos, Auditorios, Pabellones Deportivos, etc.

Las primeras edificaciones de concreto armado del siglo XX en el Perú, (aproximadamente 1920), se estructuraban básicamente con pórticos de concreto en una dirección, muros de albañilería y losas de concreto, sean aligeradas o macizas.



*Fachada del Colegio  
Maria Auxiliadora -  
Lima*

*Fachada del Colegio  
Seminario Salesiano*



Si bien con la introducción de los pórticos, muchos muros podrían haber desaparecido, el estilo arquitectónico hacía que no se tuvieran ventanas largas y grandes, por lo cual se usaban muros de ladrillo de espesor 25cm. dispuestos en las fachadas y entre las aulas. Estos últimos permitían que las vigas se eliminen y en esos ejes trabajaban como muros portantes.



*Fachada del Colegio  
Sophianum – Lima*

*Fachada del Colegio  
Antonio Raimondi –  
Lima*



En la dirección larga de los pabellones se tenían ventanas intercaladas con muros y en la dirección transversal se ubicaban los muros dividiendo las aulas o entre éstas y los baños o, entre éstas y las escaleras.

Como los conocimientos sísmicos eran muy limitados no se diseñaba los muros de albañilería para efectos de fuerzas horizontales (cortantes y momentos en la dirección de los muros) y se consideraba un porcentaje de la carga de cada columna, como fuerza horizontal para sismo, pensando que solamente los pórticos de concreto (columnas y vigas) serían los encargados de recibir y soportar las cargas de gravedad y que además tomarían los esfuerzos debidos a los sismos.

Hoy reconocemos que muchos de estos colegios antiguos, han soportado bien los efectos de los sismos gracias al aporte de los muros de ladrillo, que le daban rigidez lateral a los edificios, sea por su existencia en las divisiones de las aulas, baños o escaleras (dirección corta o transversal) o por su presencia en las fachadas (dirección larga o longitudinal).



*Colegio La Salle - Arequipa*

*Edificación con gran cantidad de muros, que fueron los que resistieron los efectos sísmicos en los sismos ocurridos desde 1940 y que fueron seriamente afectados en el sismo del año 2001. Nótese que estos muros no eran de ladrillo sino de sillar.*

A inicios de la década de los 50 se inicia en el Perú un programa importante de construcción de grandes colegios del estado, denominados “**Grandes Unidades Escolares**”. Estas edificaciones generalmente contaban con pabellones de dos y tres pisos caracterizados por tener 3 ejes en su dirección longitudinal, gracias a que la arquitectura consideraba corredores bastante amplios (entre 3 y 4.5 m de ancho), lo que no permitía tener el pasaje en voladizo, como actualmente se suele usar.

En la dirección transversal se tenían muros de ladrillo de 25 cm de espesor entre las aulas y una serie de pórticos. En la dirección longitudinal, los dos ejes que formaban las aulas tenían pórticos con algunos paños cerrados con muros, teniéndose un tercer eje longitudinal con columnas y una viga hacia el patio interior.

Si bien en esa época no existía un reglamento de diseño sísmico, las columnas tenían dimensiones holgadas y se contaba con el aporte de los muros ubicados hacia las dos direcciones de la planta estructural.



*Gran Unidad Escolar Alfonso Ugarte Lima*



*Gran Unidad Escolar  
Bartolomé Herrera –  
Lima*



*Gran Unidad Escolar  
Juana Alarco de  
Dammert – Lima*

Estas unidades escolares, a pesar de su antigüedad y del hecho de no tener una gran densidad de muros de ladrillo ni placas de concreto armado, han tenido un comportamiento aceptable en la mayoría de los casos en los diversos sismos ocurridos hasta el momento. Ciertamente es que en algunos casos se tiene el efecto de columnas cortas y en otros casos los muros dispuestos en la dirección longitudinal son escasos, por lo que algunas ubicadas en ciudades donde se ha tenido sismos moderados, han debido ser reforzadas.

En estos colegios se tiene como defecto típico el hecho de que la junta de separación entre sus bloques es muy pequeña, puesto que en esos años no se tenía el concepto de una separación entre edificios que sea equivalente al desplazamiento lateral que ocurre durante un sismo, sino solamente el criterio de independizar las estructuras de distintos bloques, construyendo las columnas y vigas en forma independiente, pero prácticamente una al costado de otra.

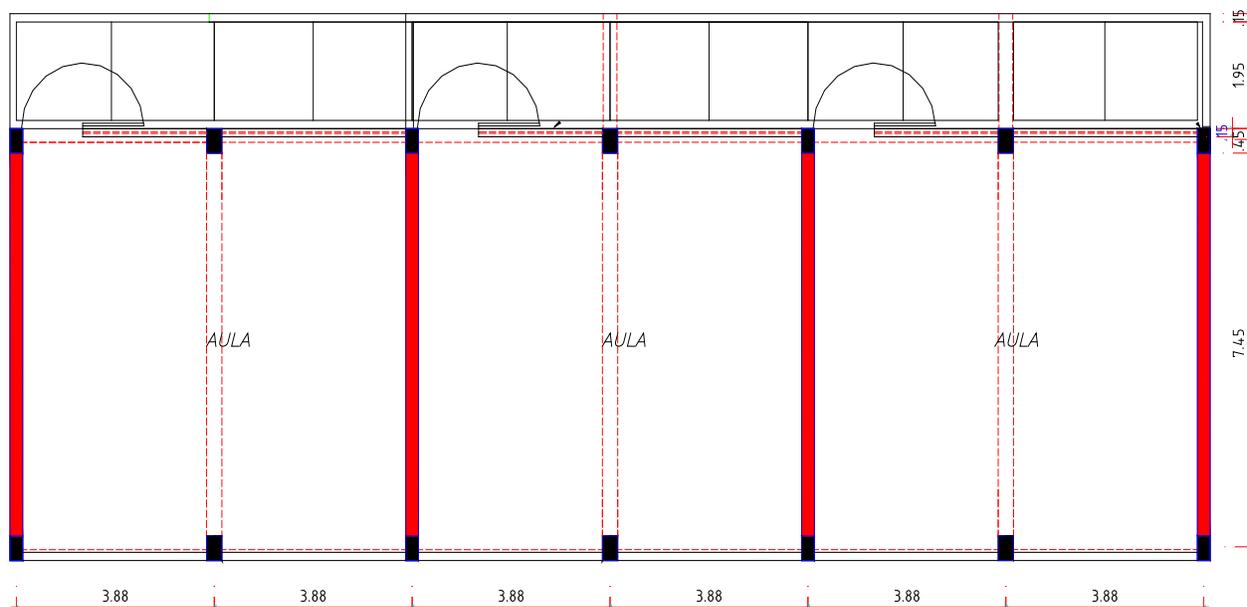
Conforme se va generalizando el uso del concreto armado, los estilos arquitectónicos van cambiando, buscando ventanas de mayor longitud y los muros de la dirección longitudinal tienden a desaparecer, introduciéndose las ventanas más grandes que llegan a ocupar el espacio total entre columnas.





En la dirección corta, se disponen los pórticos principales (que cargan las losas aligeradas), con sus columnas peraltadas y teniéndose generalmente en la dirección larga vigas chatas o vigas peraltadas “de amarre”.

La mayoría de estos pabellones cuenta con una fachada en la dirección larga con ventanas grandes y alfeizares bajos, mientras en la fachada posterior, donde se ubica el corredor de acceso a las aulas, se dispone de ventanas altas (alfeizares altos y ventanas de altura reducida ubicadas en la parte superior), con el objeto que los alumnos no se distraigan con el paso de las personas por el corredor. En otros casos, como el de la fotografía anterior, las ventanas altas se disponen en la fachada que da a la calle.



### PLANTA PRIMER PISO

*Planta Típica de un bloque de aulas donde las ventanas de mayor altura se disponen en la fachada que no tiene corredor, mientras las ventanas hacia el corredor son ventanas altas, lo que ocasiona las columnas cortas*

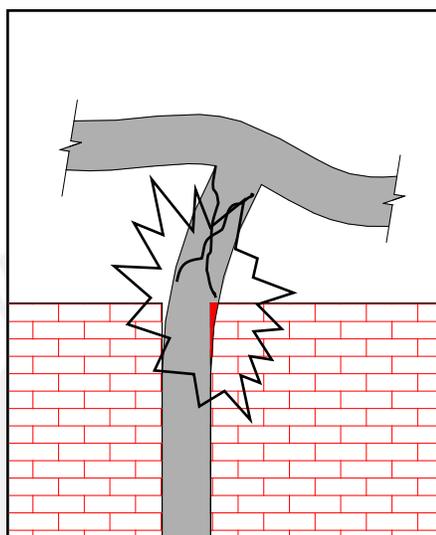


*Fachada Principal*



*Fachada Posterior*

En los sismos de Lima de 1966 y de Huaraz de 1970, se produjeron daños importantes en estructuras ubicadas en los departamentos de Lima, Ancash y La Libertad. En los colegios, se observó por primera vez en el Perú, el problema denominado **“De Columnas Cortas”**, que se genera por la interacción entre columnas de concreto armado y los tabiques de ladrillos que forman los alfeizares de las ventanas, dispuestas generalmente en la dirección longitudinal de los pabellones de aulas.



Muchos colegios del estado y particulares y varias universidades, fueron afectados por los sismos de 1966, 1970 y 1974. En esos años no se podía creer que los tabiques de ladrillo podían romper una columna de concreto, por lo que era normal no separar la tabiquería.

En los dos ejes longitudinales las columnas generalmente eran iguales en sección, refuerzo principal y transversal por lo que se pensaba, que tomarían iguales esfuerzos debido a las fuerzas laterales de sismo.

Sin embargo el eje que tiene las ventanas altas se convierte en un eje de mayor rigidez lateral debido a que los alfeizares impiden el movimiento de la columna, salvo en la zona libre (altura de la ventana), mientras en el otro eje se tiene mayor capacidad de movimiento o mayor flexibilidad, ya que los alfeizares son de menor altura.

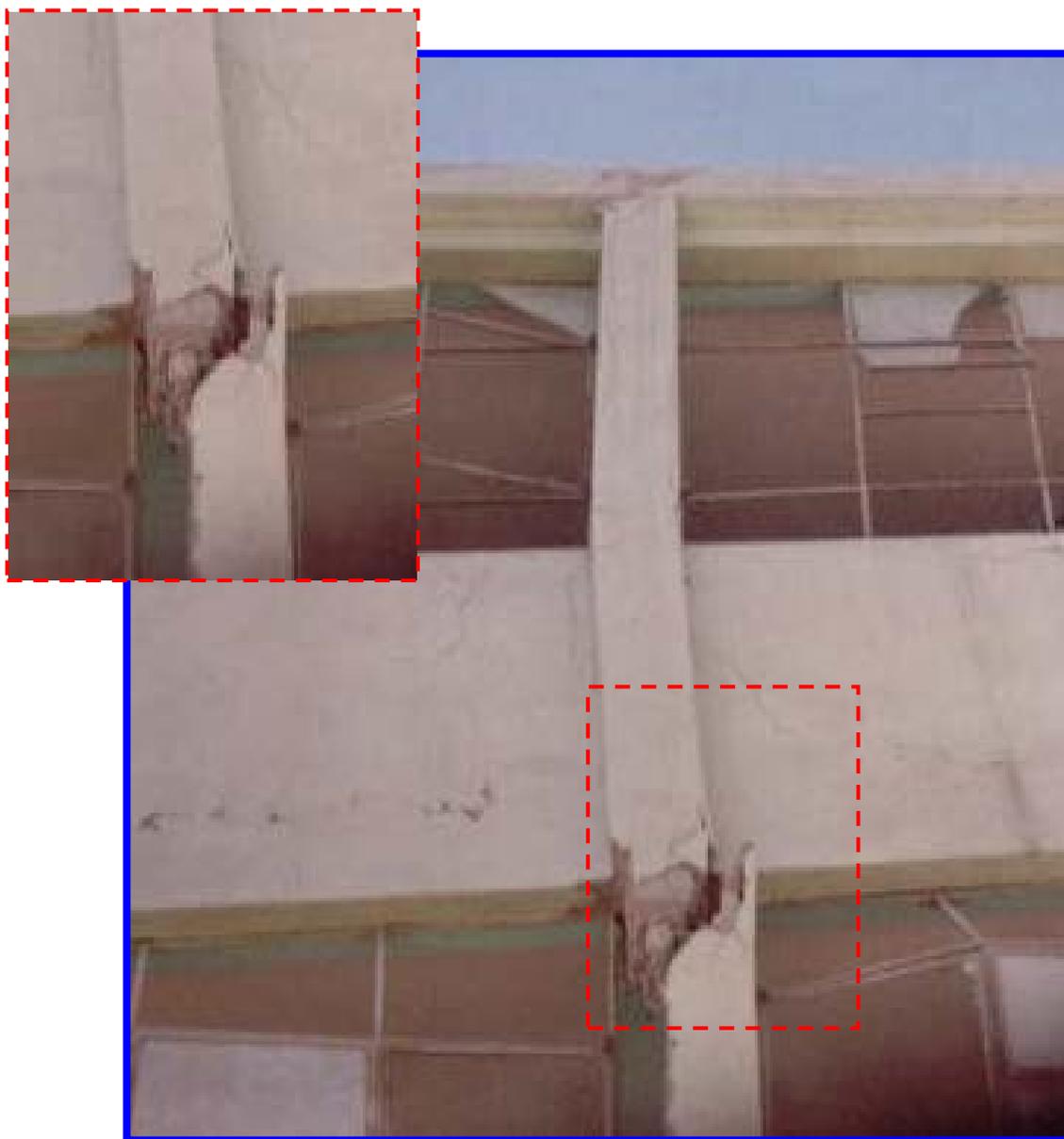


*Fotografía de un colegio de un piso, que luego del sismo del año 2001 mostró fallas por el efecto de columna corta, a pesar de tener entre el tabique y la columna una junta de separación y también una distribución de estribos con espaciamientos de 10 cm en la zona del la columna corta.*

*Mucha gente piensa que en edificaciones de un piso, este problema no es importante, mientras la realidad nos enseña lo contrario.*

*La junta existente era de muy poco espesor y se ocultó con un tarrajeo superficial.*

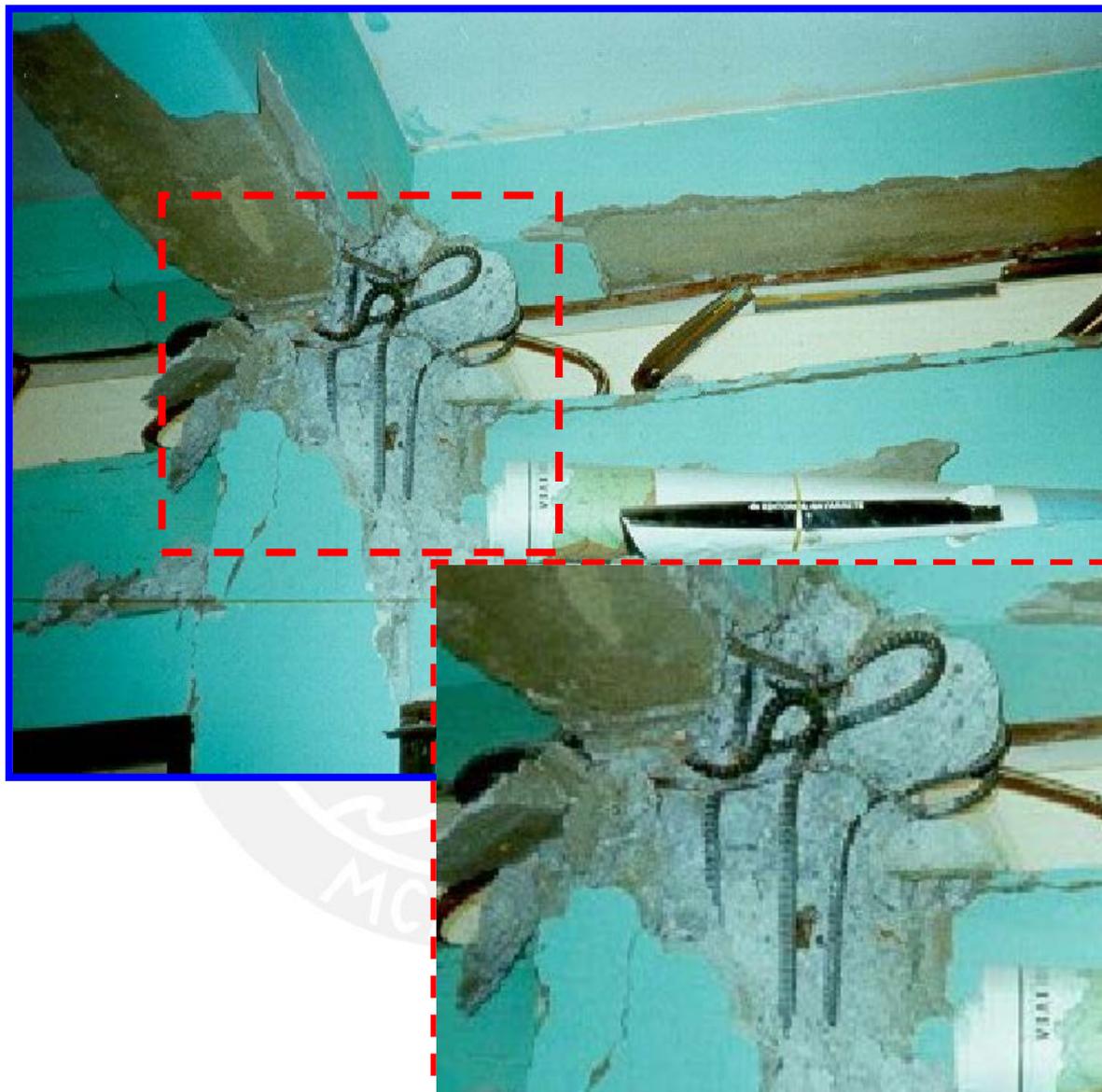
*Fotos del Colegio Ángela Barrios de Mendoza, ubicado en la ciudad de Moquegua, que resultó seriamente afectado en el sismo del año 2001. Uno de sus pabellones tuvo que ser demolido y el otro fue reforzado por nuestra oficina (ver capítulo de Reforzamiento de Colegios).*



*En la parte inferior de la foto y en el detalle izquierdo se aprecia la rotura de la columna del primer piso y en la parte superior se aprecia la deformación lateral de la columna, que ocurre solo en el espacio de la ventana, puesto que el parapeto de la misma impide la deformación lateral de la columna.*

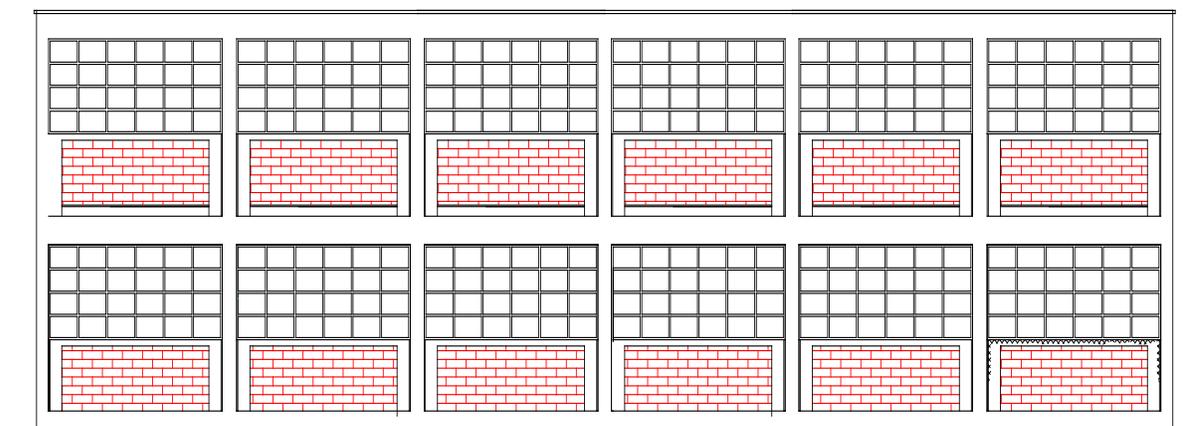
*En la fachada interior, las ventanas eran mas pequeñas (ventanas mas altas) y las columnas quedaron totalmente colapsadas, triturándose el concreto y observándose los fierros totalmente deformados.*

*La altura de la ventana, de aproximadamente 60 cm quedó transformada en 10 cm, por el colapso total de la columna.*

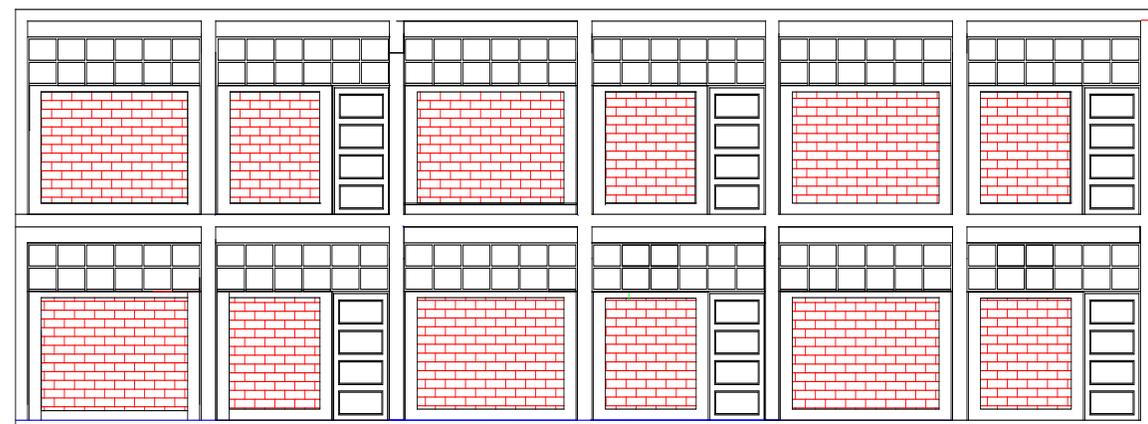


En las décadas de los '70 y '80, con mayor conocimiento del comportamiento sísmico de las edificaciones, algunos diseñadores comienzan a introducir columnas con peralte importante en la dirección longitudinal de estos pabellones, con el fin de ganar rigidez lateral y por consiguiente minimizar los desplazamientos laterales relativos entre piso y piso y de esta forma disminuir la importancia relativa del aporte de los tabiques o alfeizares de ladrillo.

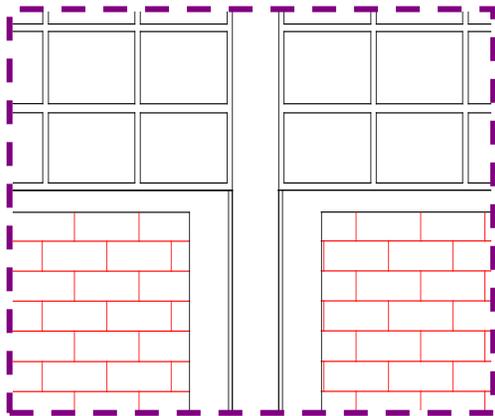
Otros consideraron que la mejor solución para evitar el efecto de columna corta era separar los tabiques o alfeizares de las columnas, mediante una junta que normalmente se especificaba con una o dos pulgadas de espesor, entendiendo que de esta manera desaparecía el efecto de columna corta y se lograba realmente tener los dos ejes longitudinales con igual rigidez o resistencia. Como los alfeizares quedaban libres en sus costados, tenían un comportamiento en voladizo, siendo peligrosos en el caso de una vibración perpendicular a su plano.



*Elevación típica de la fachada donde no hay corredor, observándose que los alfeizares han sido separados de las columnas con una junta rellena de tecnopor y se han incluido columnetas y soleras superiores como refuerzo de los alfeizares.*



*Elevación típica de la fachada donde sí hay corredor, observándose que los alfeizares han sido separados de las columnas con una junta rellena de tecnopor y se han incluido columnetas y soleras superiores como refuerzo de los alfeizares.*



*Se separa el alfeizar de las columnas de la estructura con la intención de evitar el choque entre ambos durante los movimientos sísmicos*

*En la realidad sí se produce el choque, porque el espacio de la junta es menor al desplazamiento lateral*



En estos años se inicia el detallado de la tabiquería en los planos de estructuras y se comienza a colocar columnetas y una viga collar superior ( solera ), con el objeto de tener al tabique o parapeto libre de la estructura principal, pero con arriostres para que pueda trabajar como un voladizo, en su plano perpendicular.

En la década de los '80 el gobierno peruano continua el programa de construcción de colegios y en la mayoría de ellos se sigue el criterio de separar los tabiques o alfeizares, considerando que esa era la solución correcta para eliminar el efecto de columna corta. Varios de estos colegios, fueron los que reemplazaron a los más afectados por los sismos de 1970 y 1974 y en ellos se pensó que gracias a la separación de los tabiques, ya no iba a ocurrir el efecto de columna corta.

En la década de los '90, el gobierno peruano inicia un importante plan de construcción de nuevos colegios, habiéndose creado una oficina especial, llamada INFES, que se encarga de dirigir y organizar los proyectos y construcción de estos nuevos colegios

Se trabaja en base a bloques de dos aulas por piso, tres aulas por piso y una serie de variantes para el caso de bibliotecas, laboratorios y bloques administrativos. La mayoría de los proyectos se desarrollan en dos pisos, pero también se tienen modelos con un solo piso y con tres pisos, adoptándose el criterio de separar los bloques de las escaleras y de los servicios higiénicos, de tal modo de poder adaptar los módulos típicos en distintas configuraciones según la forma y tamaño de los terrenos.

Nuestra oficina desarrolla proyectos típicos para la Sierra, que se caracterizaban por tener un primer piso de concreto y un segundo piso con cobertura de madera. Como en muchos pueblos de la sierra no es fácil conseguir ladrillos de arcilla, se desarrollan los proyectos con muros portantes de bloquetas de concreto vibrado, confinados por columnas de concreto. Nuestra oficina especifica que los alveolos de las bloquetas sean rellenos con concreto y se decide trabajar con albañilería confinada en lugar de armada, salvo el caso de los parapetos o tabiques, que sí se hacen con albañilería armada. Los muros que dividen las aulas se hacen portantes y en el centro de las aulas se disponen vigas peraltadas, de tal manera de tenerse una losa aligerada apoyada sobre los muros y sobre los ejes intermedios, con luces del orden de 3.3m. En la dirección longitudinal se especifican dos vigas peraltadas apoyadas en las columnas espaciadas cada 3.3m.



Estos proyectos fueron diseñados con la Norma Sísmica de 1977, que era permisiva con los desplazamientos laterales máximos y que a su vez usaba coeficientes para el cálculo de la fuerza sísmica lateral que hacían obtener deformaciones laterales menores a los reales. En la foto se observa la fachada principal de un colegio del modelo Sierra, donde existen una serie de tabiques que sin embargo no se usaron como muros estructurales sino que teóricamente están independizados; en el eje de la fachada posterior los tabiques no llegaban al techo y se tenían ventanas altas, por lo que se siguió el criterio de independizar la tabiquería de la dirección longitudinal.

Estos colegios del modelo sierra, han tenido un comportamiento aceptable durante los sismos de 1996 y 2001, aún cuando en algunos se han tenido daños debido a la relativa poca rigidez lateral en la dirección longitudinal.

Debe señalarse que los colegios que más sufrieron fueron los ubicados en ciudades de la costa, pues en esta región los efectos de los sismos ocurridos en los 90 fueron mayores y porque en pabellones similares, se tenía las dos losas de concreto armado, lo que significaba una mayor masa, en comparación con los del modelo sierra, que tenía el segundo techo con viguetas de madera. Además en la Costa se usaron otros modelos de colegios, con tres pisos, que tenían irregularidades en planta por la existencia de un octógono rígido ( aula especial ), unido al resto del área ( otras aulas rectangulares ), con pórticos relativamente flexibles.

Muchos de estos colegios construidos en la Costa y Sierra del Perú, entre los años 1993 y 1996, no tuvieron una construcción de calidad ni una adecuada supervisión, pues se trataba de centros educativos muchas veces ubicados en lugares alejados de la ciudades importantes.

Las experiencias obtenidas en los sismos de Nazca de 1996, y de Arequipa Moquegua y Tacna del 2001, nos enseñaron que las juntas de separación entre columnas y alfeizares de ventanas no funcionaron por dos razones fundamentales.

- El desplazamiento lateral durante el sismo fue mayor al espesor de la junta y por consiguiente se produjo la interacción tabique columna, con la concentración de esfuerzos en el “cuello” formado por la columna en la altura de la ventana alta.
- La junta que casi siempre se rellenaba con poliestireno expandido (tecnopor) y que generalmente se especificada con espesor de una o dos pulgadas, fue revestida con mortero dejándose hacia el exterior solamente una bruña superficial, por lo cual no llegó a trabajar como una junta libre. En algunos casos se comprobó que no se había colocado el tecnopor o que el espesor era menor al especificado.





En 1996 se produce el Sismo de Nazca y en esta ciudad se observan daños de consideración en tres colegios del estado de los proyectos del tipo Costa, de reciente construcción, lo que hizo reflexionar a la ingeniería peruana sobre las estructuras relativamente flexibles y sobre las deficiencias de la Norma Sismorresistente en la estimación de los desplazamientos laterales de las edificaciones.

De hecho estos colegios habían cumplido las exigencias de la Norma y esperaban desplazamientos relativos entre el primer techo y el nivel cero, del orden de 2 a 3cm, por lo que se dispuso una junta de separación entre las columnas y los parapetos o alfeizares de las ventanas de 2" (5cm).

En la dirección transversal, estos colegios de dos pisos no tuvieron daños, pues los muros de ladrillo que constituyen las divisiones de aulas y las fachadas laterales proporcionaron adecuada rigidez lateral en esta dirección.

En la dirección longitudinal sí se produjeron los daños por el choque entre columnas y alfeizares, lo que permitió comprobar que pese a haber sufrido un sismo moderado (no severo) éste fue suficiente para tener desplazamientos laterales mayores a 4cm. entre el primer y segundo piso.





*En algunos colegios se observó daños como los de esta foto, debido a la interacción de los tabiques con las columnas y a la interacción de las columnas con marcos de las ventanas. ventanas altas y de la carpintería de las mismas.*

En 1997, se publica una Nueva Norma Peruana de Diseño Sismorresistente, en la cual se hacen cambios importantes en la estimación de los desplazamientos laterales relativos entre piso y piso, ocasionados por las fuerzas laterales de sismo, obteniéndose valores mayores, del orden de dos a tres veces de los que se obtenían con la Norma Peruana del año 1977 (que fue la primera Norma oficial Peruana relativa a Diseño Sísmico).

Esta nueva Norma, además de modificar los factores **R** (reducción de la fuerza sísmica considerando comportamiento dúctil en la etapa plástica) con el objetivo de obtener en el análisis mayores desplazamientos laterales, se consideró a los Centros Educativos como estructuras de  categoría A, con un factor de amplificación mayor al antiguo.

Dentro de esta categoría A según la Norma, se incluyen a:

*“Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse después de que ocurra un sismo, como son los hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policías, subestaciones eléctricas, reservorios de agua, **Centros Educativos** y edificaciones que puedan servir de refugio luego de ocurrido un desastre”*

El cambio de Norma y de la evaluación de los desplazamientos laterales de entre piso, hizo que si una edificación se calculaba con los coeficientes de la Norma de 1997, se obtenían desplazamientos laterales del orden de **2.5 veces** los que se obtenían con la Norma anterior. Esto hizo que los diseñadores se vean obligados a crecer las columnas en la dirección longitudinal, pues de lo contrario no se cumplía con los límites de los desplazamientos máximos permitidos por la Norma.

Varios centros educativos estatales que fueron diseñados luego de la Norma de 1997, mantuvieron el modelo típico de bloques con tres o dos aulas por piso, pero gracias a las exigencias de la nueva Norma, requerían ahora columnas con un peralte importante en la dirección longitudinal. Estos nuevos modelos se proyectaron y construyeron en varios departamentos del Perú desde 1998.

El estado peruano encarga a diversos proyectistas, el diseño de estos nuevos modelos de colegios, para que éstos se adecuen a las exigencias de la nueva Norma. A nuestra oficina se le encarga nuevamente el modelo Sierra, que mostramos en las siguientes láminas.

Este modelo de colegios se caracteriza por tener ventanas de longitud más reducida, colocándose entre ellas placas de hasta 1.30 m, con lo cual se consigue una muy buena rigidez en la dirección longitudinal.

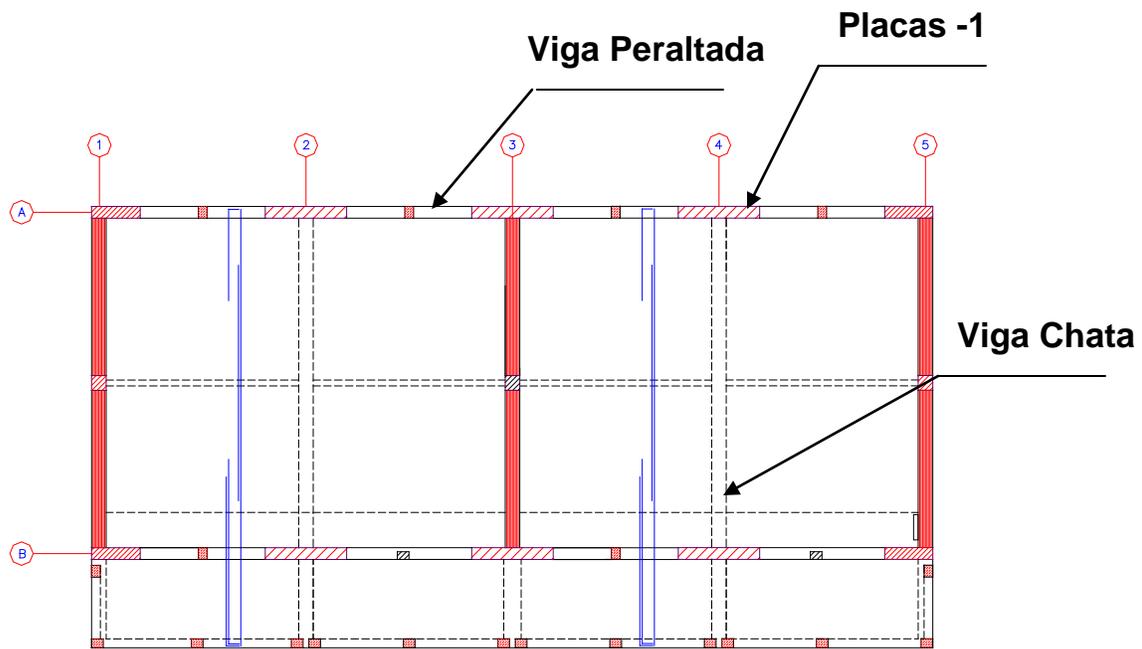
En la dirección transversal se sigue manteniendo el criterio de tenerse muros de albañilería de 25 cm de espesor con los confinamientos de concreto en sus extremos y con una columna adicional en el eje central.

Como una particularidad especial de este modelo, dado que el ancho de las aulas era de 5.80m, se decidió techar en la dirección transversal, de tal manera de tener una losa aligerada apoyada sobre los dos ejes longitudinales y que volaba formando el pasaje o corredor de ingreso a las aulas.

Como las aulas tenían un ancho neto de 5.80 m y los volados eran de 2.00 m, se consideró un aligerado de 25 cm de espesor, eliminándose las vigas peraltadas que normalmente se ubican en el centro de las aulas.

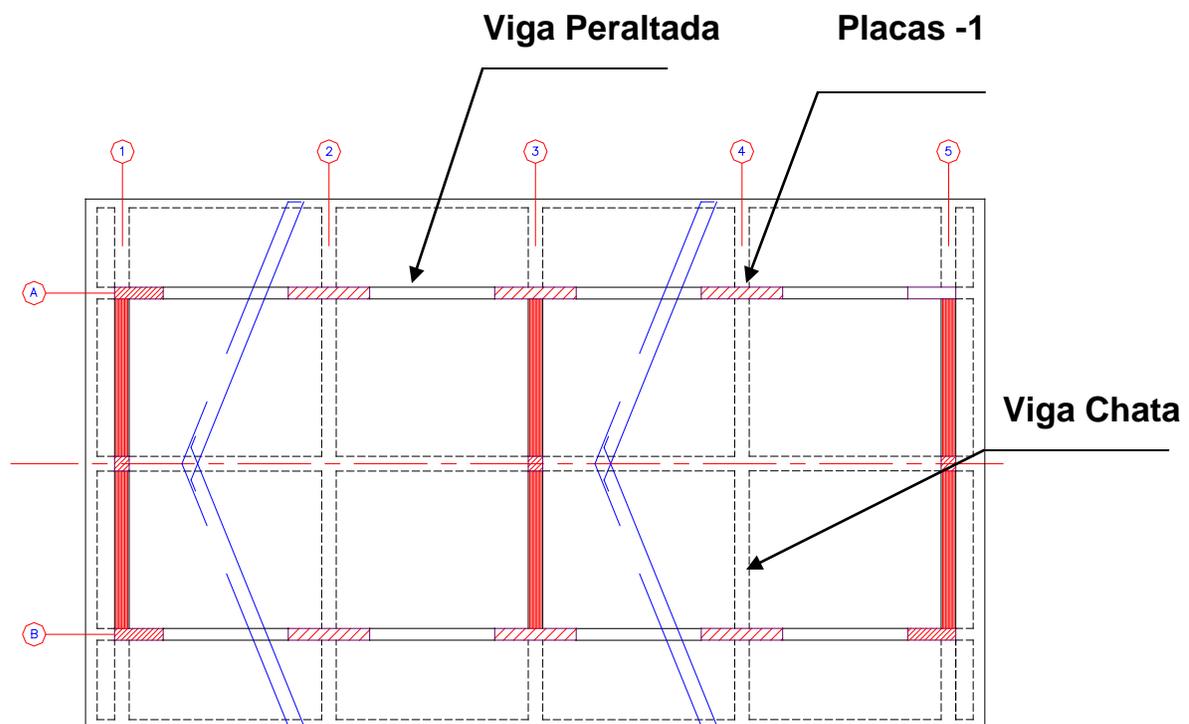
Esta característica permite que no se tengan columnas con peralte hacia el interior de las aulas sino solamente las placas de la dirección longitudinal, con un ancho de 20cm.

Dada la gran rigidez que se tiene en la dirección longitudinal, los tabiques que forman los parapetos o alfeizares de las ventanas no se han separado de la estructura principal, procediéndose por el contrario a unirlos mediante una solera superior de 10 cm de altura y alambres # 8 dispuestos cada dos hiladas.



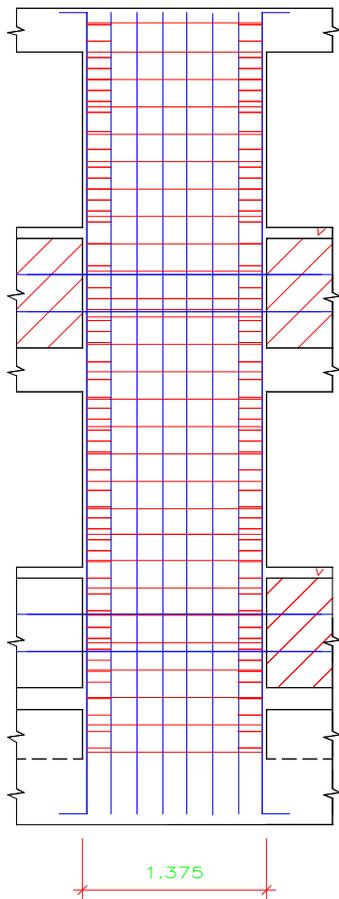
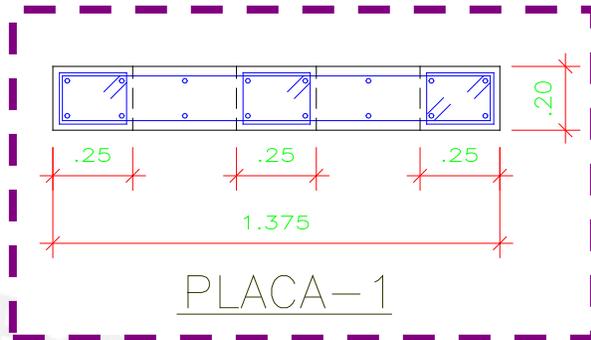
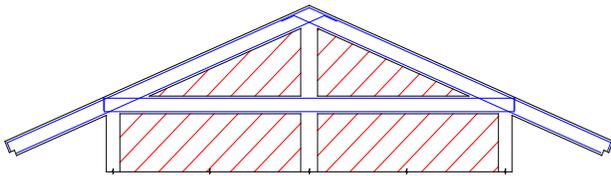
## ENCOFRADO 1° PISO

*En este Modelo se puede apreciar las placas en el eje largo de 1.375 m, las cuales le brindan muy buena rigidez a la estructura*

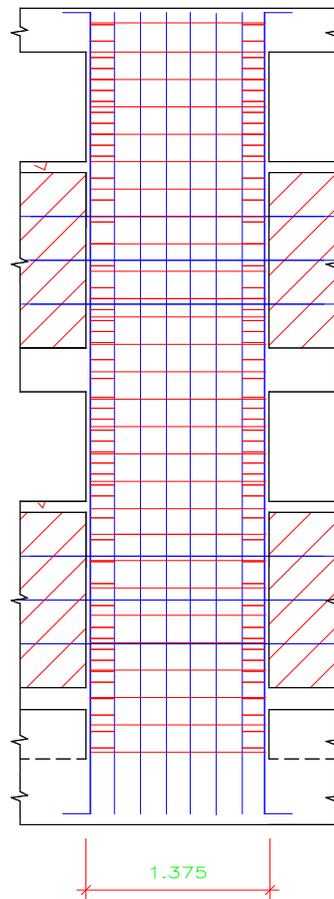


## ENCOFRADO 2° PISO

Techo de dos aguas



Fachada Principal  
(donde no hay corredor)



Fachada Principal  
(donde si hay corredor)

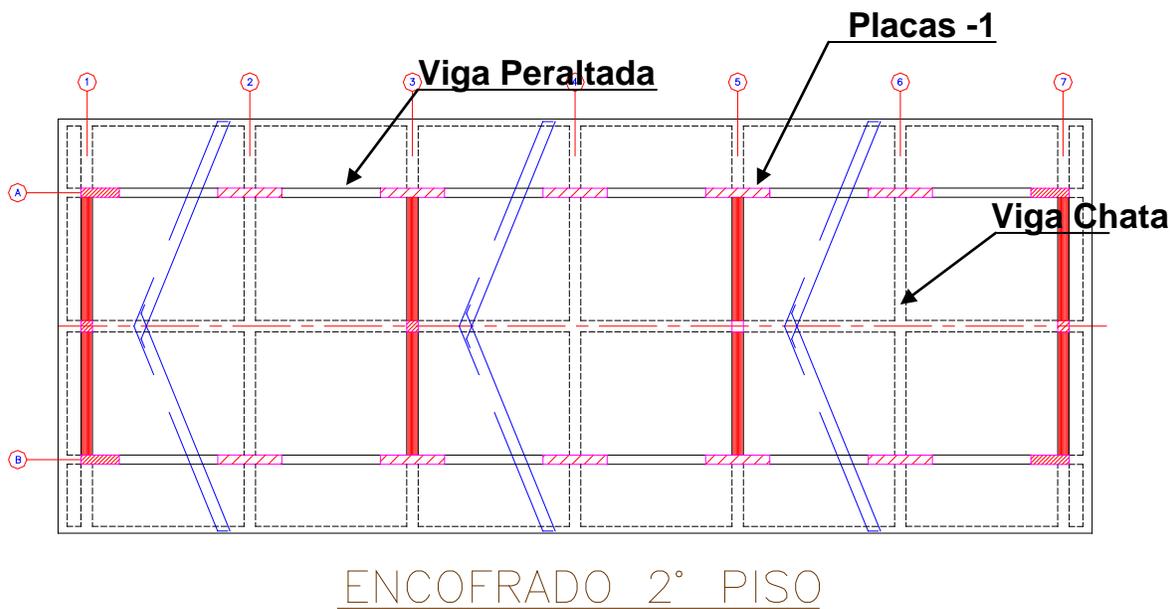
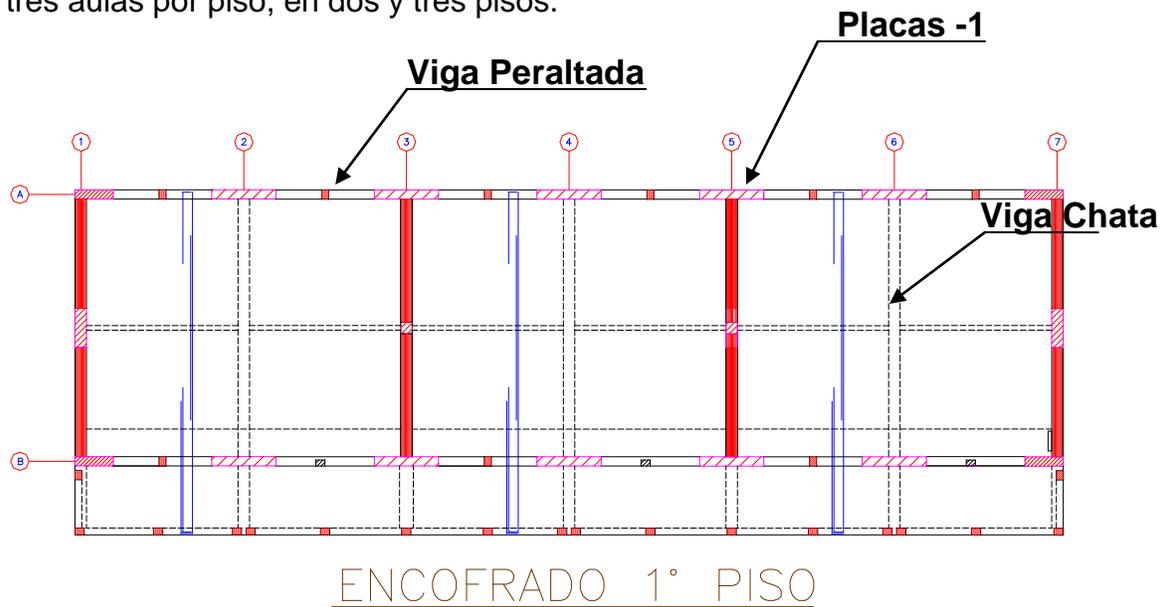
Placas -1



Colegio INFES - Puno

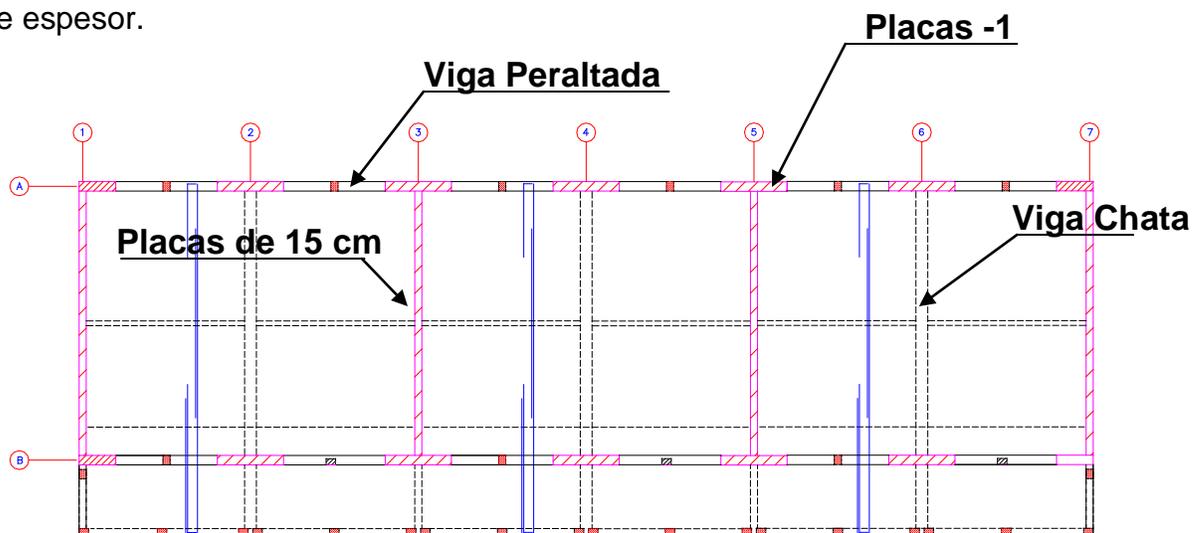


Estos colegios del modelo Sierra 1998 también consideraban pabellones con tres aulas por piso, en dos y tres pisos.

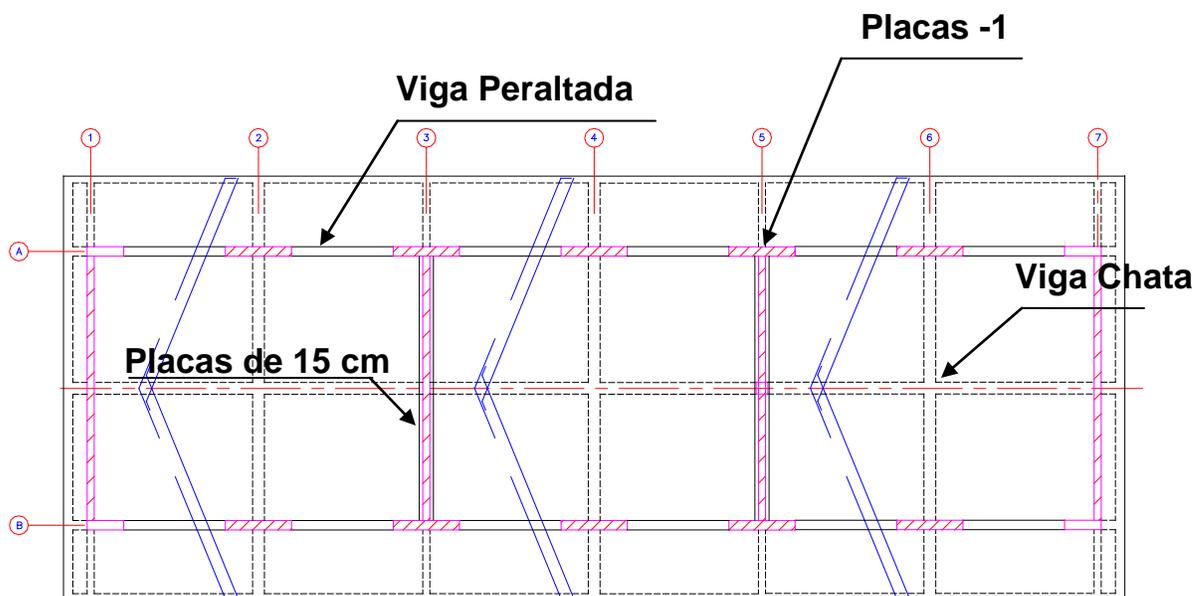


La estructura para el caso de dos pisos con tres salones se mantuvo constante, tal como se aprecia en las ilustraciones.

Pero en el caso de los pabellones de tres pisos se encontró que los muros de ladrillo de 25 cm de espesor, dispuestos en la dirección transversal, como elementos divisorios entre aulas, no eran suficientes para resistir los esfuerzos cortantes, por lo que se decidió considerar muros de concreto armado de 15 cm de espesor.



ENCOFRADO 1° Y 2° PISO



ENCOFRADO 3° PISO

Debe tenerse en cuenta que la mayoría de estos colegios se ubican en terrenos de baja capacidad portante, con periodos de vibración altos lo cual obliga a considerar en el análisis sísmico un factor de suelo de **S = 1.4**

Muchos de los colegios de la región Sierra del Perú están ubicados en provincias que pertenecen a la zona de alta sismicidad del Perú, a pesar de no pertenecer a la región de la Costa, por lo que se diseñaron con un factor **Z= 0.4**

Dado que para bloques de dos o tres pisos, con adecuada rigidez lateral en las dos direcciones se tienen periodos de vibración del edificio del orden de 0.1 a 0.2 segundos y que los suelos de cimentación tienen periodos variables de 0.3 a 0.9 segundos, el factor de amplificación de la aceleración del terreno siempre se consideró igual al valor máximo estipulado en la norma sísmica, teniéndose por tanto **C= 2.5**

El coeficiente de uso o importancia para el caso de colegios, según la Norma de 1997 es **U=1.5**

Con estos valores y aplicando la Norma de 1997 se obtenían los siguientes cortantes a nivel del primer piso:

El coeficiente de reducción sísmica en la dirección transversal, para el caso de colegios de dos pisos, según la Norma de 1997 es de **R=6** por ser los muros de albañilería los que toman mayoritariamente la fuerza sísmica. Para la dirección longitudinal se consideró un valor de **R=7.5**, por ser las placas de concreto las que resisten la fuerza sísmica.

Edificios de dos pisos

$$V = \frac{U \xi}{R}$$

En la dirección transversal (muros de ladrillo)

$$V = 1.5 \times 1.4 \times 2.5 \times 0.4 \times P / 6 = 0.35 P \text{ (35\% del Peso)}$$

En la dirección longitudinal (muros de concreto)

$$V = 1.5 \times 1.4 \times 2.5 \times 0.4 \times P / 7.5 = 0.28 P \text{ (28\% del Peso)}$$

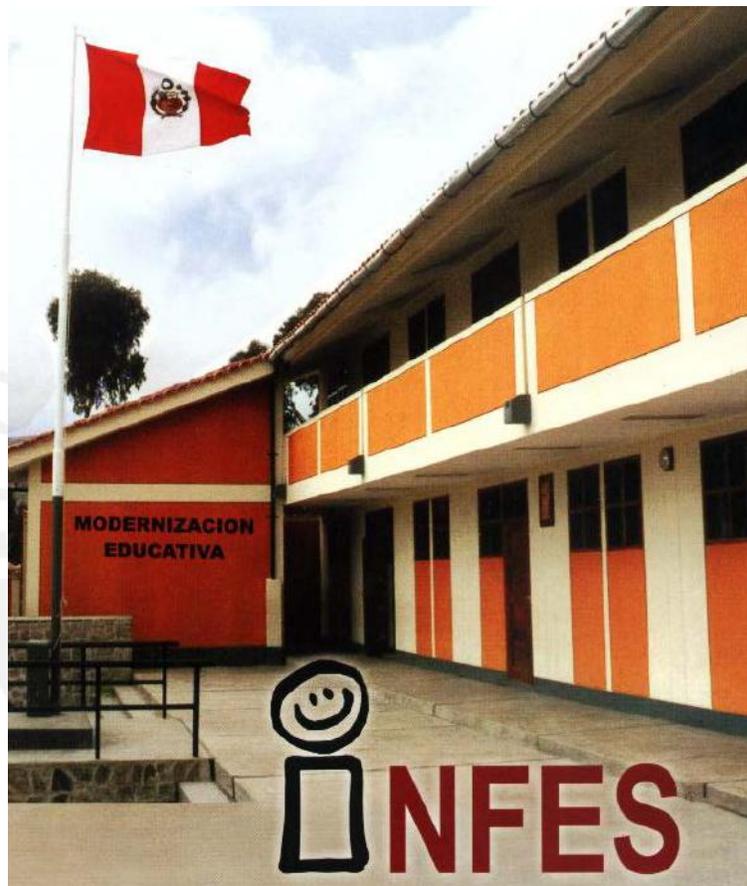
Edificios de tres pisos

$$V = \frac{U \xi}{R}$$

En la dirección longitudinal y transversal (muros de concreto)

$$V = 1.5 \times 1.4 \times 2.5 \times 0.4 \times P / 7.5 = 0.28 P \text{ (28\% del Peso)}$$

Para la zona de la costa del Perú también se hicieron nuevos proyectos, a cargo de otras oficinas de proyectos, habiéndose observado que luego del terremoto del año 2001, no habían sufrido ningún daño, lo cual fue una comprobación que las exigencias del control del desplazamiento lateral de la Norma Sísmica de 1997 fueron muy adecuadas.



En la foto se observa un colegio de dos pisos, del modelo Sierra antes descrito, que fuera proyectado por nuestra oficina. Nótese las placas de la dirección longitudinal (fachadas) y que no hay vigas que sobresalen hacia los volados, pues la losa aligerada está armada en la dirección transversal del pabellón y ella es la que vuela hacia el corredor.

En estos modelos nuevos (1998) el techo del segundo piso se hace en concreto y ya no en madera, como se hizo en los modelos de sierra de 1993, habiéndose mantenido el criterio de independizar los bloques de escaleras y baños, para que puedan ubicarse de acuerdo a los requerimientos del terreno que se dispone en cada colegio particular.

En la siguiente fotografía se aprecia un colegio del nuevo modelo Costa ( 1998), que no fue proyectado por nuestra oficina y que fue construido en la ciudad de Arequipa. Luego del sismo del año 2001 no sufrió ningún daño , lo cual comprueba que el hecho de rigidizar la dirección longitudinal es lo adecuado para que el efecto de columna corta quede controlado.



En el año 2003 se publica una nueva norma de diseño sismorresistente (N E 030-2003), la cual no tiene mayores variaciones , en relación a la norma de 1997, excepto que se obtienen fuerzas mayores por la consideración de reducir los coeficientes R , dividiéndolos entre 1.25. Sin embargo este cambio no afecta el diseño pues el concepto de la Norma Sísmica es que el sismo de diseño es de rotura o último ( no de servicio ) y por tanto en el momento de diseñar los elementos de concreto por el método de resistencia, ya no debe amplificarse las cargas por 1.25 , sino debe considerarse un factor de 1.

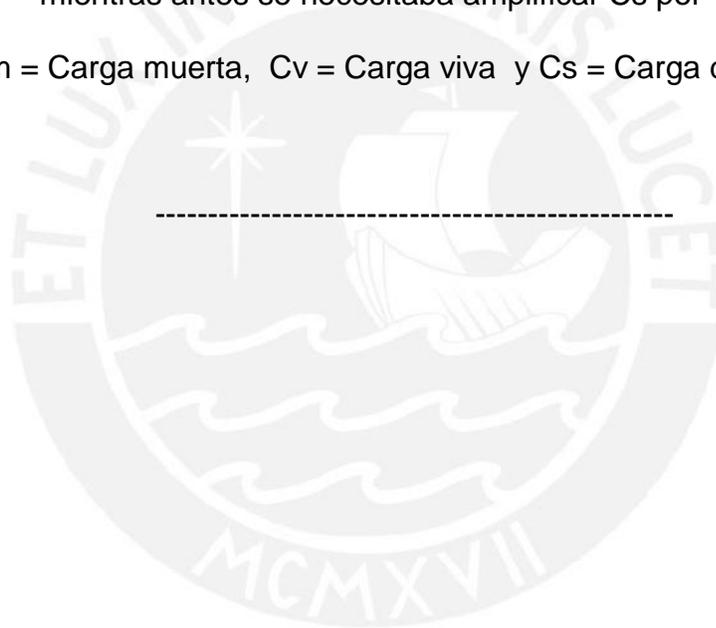
Esto significa que las combinaciones de carga para diseño con sismo serán :

$$1.25 C_m + 1.25 C_v + 1.0 C_s \quad \text{o} \quad 0.9 C_m - 1.0 C_s$$

$$\text{o} \quad 1.25 C_m + 1.25 C_v - 1.0 C_s \quad \text{o} \quad 0.9 C_m + 1.0 C_s$$

mientras antes se necesitaba amplificar  $C_s$  por 1.25.

( $C_m$  = Carga muerta,  $C_v$  = Carga viva y  $C_s$  = Carga de sismo )



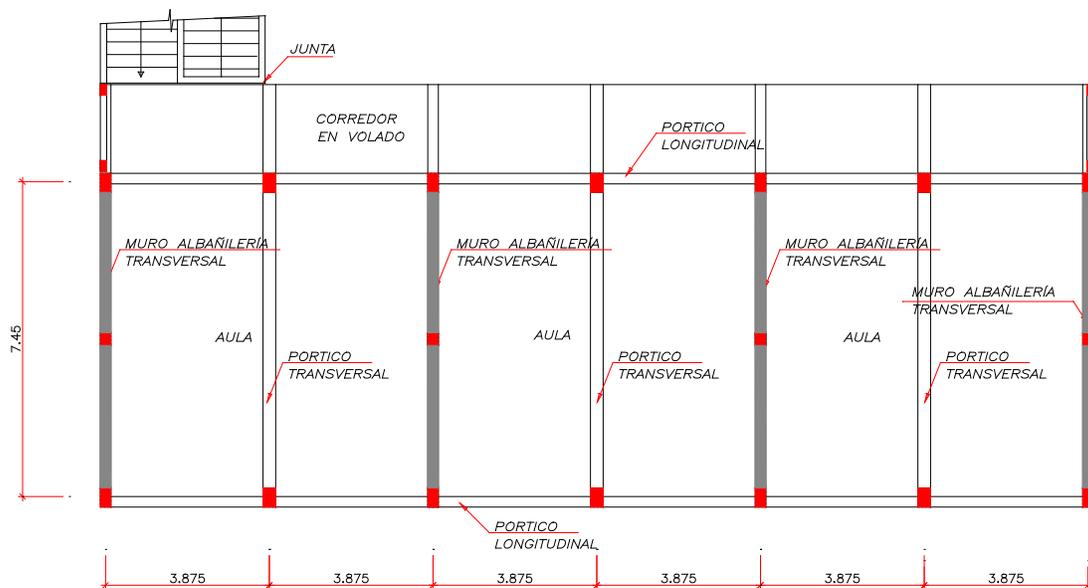
## Capítulo 2

### REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE CENTROS EDUCATIVOS AFECTADOS POR EL SISMO DEL AÑO 2001 EN EL SUR DEL PERÚ y EJEMPLOS DE REFORZAMIENTOS DE LOCALES DESTINADOS A COLEGIOS

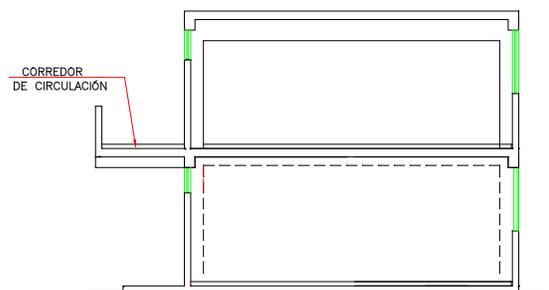
El 23 de junio del 2001 en el sur del Perú se produjo un movimiento sísmico, resultando afectados centros educativos de diversas antigüedades siendo las principales causas la falta de rigidez lateral y en la mayoría de los casos el problema ya conocido como “**Efecto de Columna Corta**”.

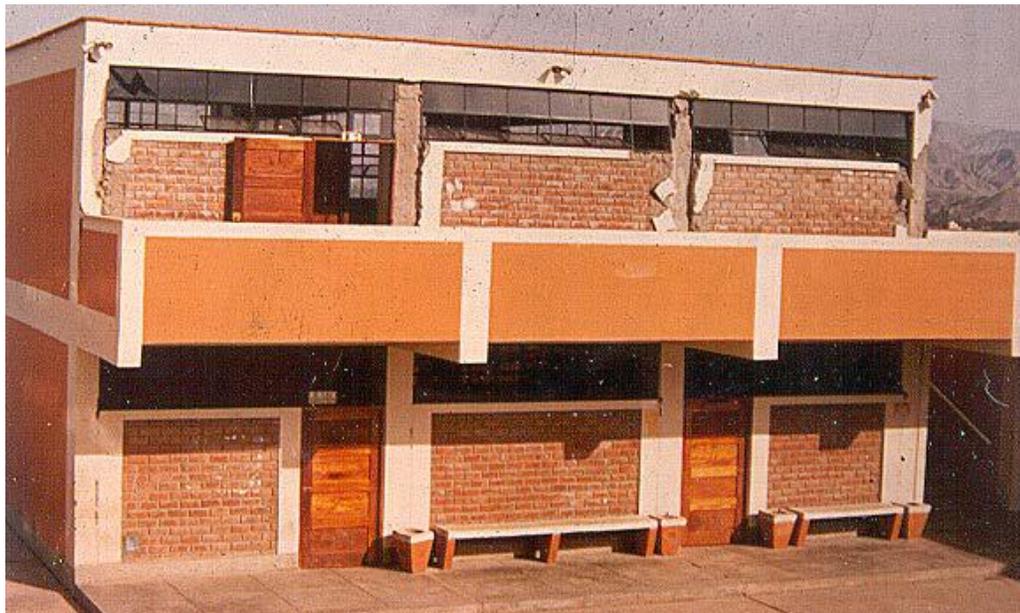


La mayoría de los centros educativos del Perú tiene dos pisos, con una estructura compuesta por dos pórticos en la dirección longitudinal (uno con ventanas altas y otro con ventanas bajas), mientras en la dirección transversal se tienen muros de albañilería confinada (que son las divisiones entre aulas) y pórticos con vigas peraltadas ubicados hacia el centro de las aulas. Tienen además un corredor que sale en volado de los pórticos y de los muros de la dirección transversal.



*Planta y un corte típico de un centro educativo donde se puede observar los pórticos longitudinales y transversales, así como los muros de albañilería y el corredor en voladizo.*





*Fachada principal de un colegio INFES, que fue afectado por el sismo de Nazca de 1996*



*Fotografía donde se aprecia un colegio formado por dos edificios independientes, con un corredor central, donde se tienen las ventanas altas que forman columnas cortas.*

Los colegios más antiguos no tienen los alfeizares o parapetos , separados de las columnas, pues nunca se pensó que era necesario hacerlo. Siempre se pensaba que las columnas de concreto eran las importantes y que no era cierto que un tabique de ladrillo pueda afectar su libre deformación lateral. La mayoría de los colegios construidos en las décadas de los 80 y 90, sí tienen sus tabiques o parapetos separados de la estructura, con una junta del orden de dos pulgadas, rellena de poliestireno expandido ( tecnopor ).

Los colegios del estado peruano construidos entre 1992 y 1997 (Proyectos organizados por INFES durante el gobierno de Fujimori ) sí tenían sus parapetos separados con juntas rellenas de tecnopor y para arriostre transversal de los tabiques de ladrillo, se tenían columnetas y vigas soleras en los tabiques de ladrillo.



La norma sísmica peruana del año 1997 , fue modificada luego de observarse daños en colegios y edificaciones de pocos pisos por efecto del Sismo de Nazca de 1996. La norma de 1997 limita las deformaciones laterales de entrepisos a 0.007 veces la altura , del piso y considera un factor de uso o importancia de 1.5 en el cálculo de fuerza sísmica para edificaciones escolares. Si comparamos esta norma con la de 1977 se obtienen fuerzas mayores, por el hecho de haberse aumentado el factor de uso o Importancia (U) para el cálculo de la fuerza sísmica y se obtienen desplazamientos laterales mucho mayores por haberse efectuado un cambio de coeficientes que hace que las deformaciones obtenidas en el análisis sean ahora multiplicadas por coeficientes (R) mayores a los anteriores.

Para terrenos blandos o de baja capacidad portante ( periodo de vibración alto ) se exige además un factor de suelo de 1.4, obteniéndose una fuerza sísmica equivalente al 21% del peso para la dirección donde hay pórticos de concreto (generalmente la dirección longitudinal) y equivalente al 35% del peso para la dirección donde están los muros de ladrillo divisorios de las aulas (generalmente la dirección transversal ).

Analizando la dirección transversal se encuentra que los muros de albañilería proporcionan adecuada rigidez y resistencia mientras en la dirección longitudinal se tiene poca rigidez lateral.

Los módulos INFES antes indicados, fueron calculados con los coeficientes de la norma sísmica de 1977 y en base a éstos se obtenían desplazamientos laterales en el primer entrepiso del orden de 3.5 cm. mientras que con la norma del año 1997 o la vigente (2003) se obtienen desplazamientos del orden de 10 cm.

Comparando la Norma Sísmica del año 1977 con la del año 1997 se obtiene los siguientes resultados:

p

Año 1977

$$H = U S C Z P / R_d$$

Donde  $U = 1.3$  (Factor de uso o importancia para colegios )

$S = 1.4$  (Factor de amplificación para suelos blandos, tipo III)

$C = 0.4$  (Espectro de respuesta de aceleración para edificios con periodos cortos)

$Z = 1.0$  (Factor de zona, para Costa y parte de la Sierra)

$R_d = 2.5$  (Factor de reducción de la fuerza, para la dirección donde los muros de ladrillo toman el cortante sísmico: Dirección transversal)

$R_d = 4$  (Factor de reducción de la fuerza, para la dirección donde los pórticos de concreto toman el cortante sísmico: Dirección longitudinal)

Esta expresión nos indica que el cortante sísmico a nivel del primer piso es de 0.29P , para la dirección transversal y de 0.18P para la dirección longitudinal.

Año 1997

$$V = U S C Z P / R$$

Donde  $U = 1.5$  (Factor de uso o importancia para colegios)

$S = 1.4$  (Factor de amplificación para suelos blandos, tipo III)

$C = 2.5$  (Factor de amplificación de la aceleración, para edificios de periodos cortos)

$Z = 0.4$  (Factor de zona, para la Costa y parte de la Sierra)

$R_d = 6$  (Factor de reducción de la fuerza, para la dirección donde los muros de ladrillo toman el cortante sísmico: Dirección transversal)

$R_d = 10$  (Factor de reducción de la fuerza, para la dirección donde los pórticos de concreto toman el cortante sísmico: Dirección longitudinal)

Esta expresión nos indica que el cortante sísmico a nivel del primer piso es de  $0.35P$ , para la dirección transversal y de  $0.21P$  para la dirección longitudinal.

La Norma de 1997 incrementa la fuerza sísmica aproximadamente 20%, pero lo más importante es que para evaluar los desplazamientos laterales, los resultados del análisis deben multiplicarse por  $0.75R_d$  o por  $0.75R$ , y como los coeficientes  $R$  son 2.5 veces mayores que los coeficientes  $R_d$ , se obtienen desplazamientos laterales 2.5 mayores. Si además el valor de la fuerza aumentó en aproximadamente 20%, los desplazamientos laterales que se obtienen con la Nueva Norma son del orden de 3 veces los que se obtenían con la Norma de 1977.

En estructuras que no sean colegios, el valor de la fuerza prácticamente no cambia, comparando la norma de 1977 con la de 1997, pues lo que ha producido el aumento fundamentalmente ha sido el cambio de coeficiente de Uso o Importancia, de 1.3 a 1.5. Sin embargo, para todo tipo de edificación, los desplazamientos que se obtienen con la Norma nueva, han aumentado por lo menos en 250%, (se obtienen desplazamientos 2.5 veces más grandes).

Actualmente se tiene como Norma Sísmica vigente, la del año 2003, la cual no varía sustancialmente los resultados que se obtienen con la Norma de 1997.

Esta realidad hizo que se tengan daños en varios colegios de reciente construcción y en muchos otros más antiguos, a pesar que el sismo del año 2001 no fue un sismo severo, sino moderado.

## ESTUDIOS DE DAÑOS OCURRIDOS EN CINCO COLEGIOS INFES, LUEGO DEL SISMO DEL AÑO 2001, EN AREQUIPA Y EN MOQUEGUA

En las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna, el estado peruano había construido a través de su organismo INFES, entre 1992 y 1997 aproximadamente 150 colegios, de los cuales 5 habían resultado seriamente afectados, a pesar de no haberse tenido colapso en ninguno de ellos.

Estos se ubicaban en las ciudades de Oconna , Chucarapi y Arequipa, en el

departamento de Arequipa y en los barrios de San Antonio y el centro de la ciudad de Moquegua, dentro del departamento de Moquegua.



*Daños serios en colegios de INFES*

El INFES decide la contratación de nuestra oficina de proyectos para hacer una investigación en estos cinco colegios, luego de la cual debería proponerse un

sistema de reforzamiento que sirva de modelo piloto para el reforzamiento de colegios similares.

El trabajo consideraba efectuar un levantamiento de los daños ,verificar los refuerzos de acero de las vigas y columnas, verificar las dimensiones de las zapatas y la profundidad de cimentación y obtener testigos de concreto de las columnas y vigas, de modo tal de conocer las características reales de las edificaciones.



Luego se efectuaría el trabajo en oficina de contrastar las observaciones de campo con los planos de los proyectos y se realizarían los análisis y diseños en concreto armado y albañilería , con la Norma Sísmica Peruana de 1977 y de 1997. Finalmente el trabajo

consideraba el hacer un planteamiento para el reforzamiento de estos colegios, con la idea de considerar a estos proyectos como pilotos, para los reforzamientos que luego habría que hacer en colegios de iguales características ubicados en la Costa del Perú.

Se viajó a las ciudades antes indicadas y se trabajó en un levantamiento de los daños de la estructura, su tabiquería, vidrios, ventanas y puertas, habiéndose procedido a filmar y tomar fotografías, con el objetivo de luego poder preparar el expediente técnico de las reparaciones.



*Daños serios en puertas, ventanas y tabiquería*



*Daños en la tabiquería  
Del colegio UPIS  
Paisajista en la ciudad  
de Arequipa. El colegio  
era de tres pisos con  
pórticos de concreto  
armado y algunos  
muros de albañilería en  
la dirección transversal.  
En la dirección  
longitudinal los tabiques  
sufrieron serios daños.*



*Típica falla de columna  
corta en los colegios de  
Chucarapi, Ocoña y  
San Antonio, en los  
departamentos de  
Arequipa y Moquegua.*

Se realizaron piques en las vigas principales y secundarias, en las columnas y en las cimentaciones, con el objetivo de verificar si las armaduras de refuerzo indicadas en los proyectos se habían colocado en la obra y con el fin de determinar las profundidades de cimentación así como sus dimensiones.



Se analizaron luego los pabellones típicos, con el fin de estudiar si los diseños cumplían las exigencias de las Normas vigentes al momento del desarrollo del proyecto.

Con el apoyo del Laboratorio de Materiales y Estructuras de La Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, se realizaron perforaciones con broca diamantina para extraer testigos de concreto en vigas y columnas, con el fin de determinar las resistencias del concreto en ensayos de compresión.



*Toma de testigos de  
concreto*

Una vez concluida la fase de investigación en campo y de análisis en oficina, se procedió con el estudio de opciones de reforzamiento.

En los cinco colegios investigados, la mayoría de los resultados de la calidad de concreto fueron buenos, teniéndose algunas deficiencias pero menores. En este tipo de estructuras no es influyente el tener concretos de resistencia en compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, como los que generalmente se especifican, o de 175 kg/cm<sup>2</sup> o similares, pues no se tienen columnas con cargas elevadas y las luces de las losas o vigas son relativamente pequeñas, todo lo cual hace que en los diseños se tengan cuantías alejadas de las máximas, predominando el punto de fluencia del acero, sobre la resistencia en compresión del concreto.

El problema que sí fue común era que las juntas de poliestireno expandido, que separan los tabiques o alfeizares, de las columnas, eran de espesor menor al especificado y que además habían sido tarrajeadas para conformar una bruña de aproximadamente 1cm de ancho y 1cm de profundidad, con lo cual se pierde el efecto de junta libre que se desea en el diseño.



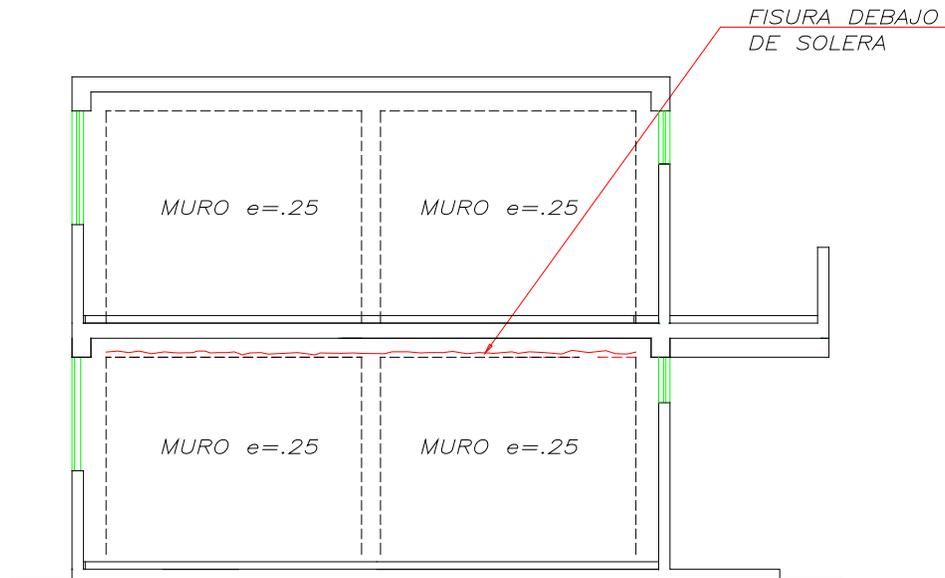
Debe tomarse en cuenta que si se especifica una junta rellena con tecnopor de 2 pulgadas, en el momento del vaciado de la columna del tabique de ladrillo sobre el tecnopor (previamente colocado sobre el costado de la columna de la estructura), siempre hay un cierto encogimiento del espesor del tecnopor, lo que disminuye el ancho efectivo de la junta. Si además se decide ocultar el tecnopor, relleno con mortero y haciendo una bruña superficial, la junta pierde efectividad.

*Junta de rellena de tecnopor que perdió efectividad debido a bruña*

Luego de los análisis realizados en los módulos de dos pisos de los colegios visitados, se llegó a la conclusión que el problema era la falta de rigidez lateral en la dirección longitudinal y que si se aplica la Norma sísmica de 1997, los desplazamientos relativos entre el primer piso y el segundo piso son del orden de 10cm.

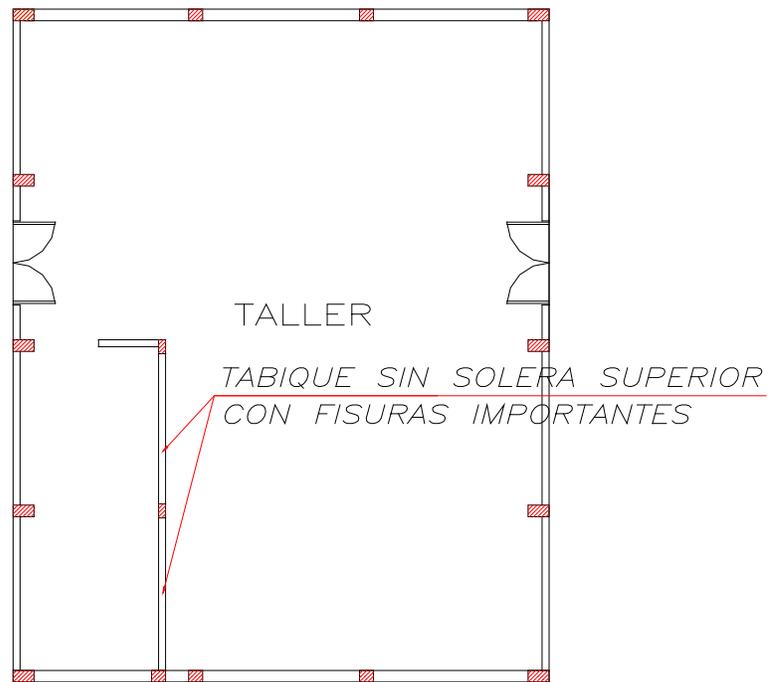
Cabe mencionar que un fenómeno que se produjo en varios bloques de estos colegios fue la aparición de una fisura superior en la dirección longitudinal de la albañilería, casi en la junta con la solera.

La causa aparente de este problema fue el haber construido el muro, luego de haber vaciado la viga, en lugar de considerarlo como muro portante, que fue la concepción del proyecto.

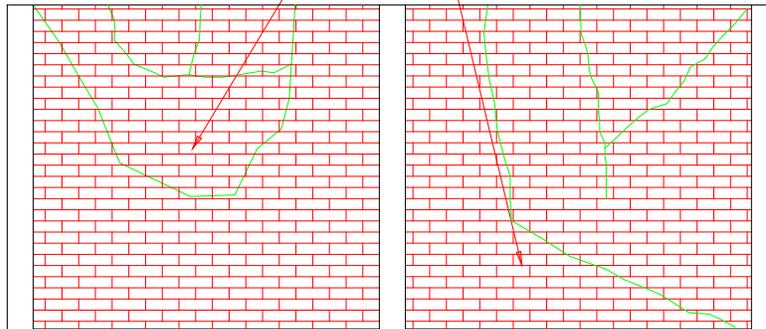


Otro fenómeno interesante que se observó fue el daño que sufrió un tabique ubicado dentro del Taller del Colegio Chucarapi. Este era una estructura de un piso, con muros y columnas perimetrales que soportaban armaduras metálicas reticulares con planchas ligeras como cobertura. Este tabique no tenía una viga solera en que le proporcione un arriostramiento adecuado cuando el sismo llegaba en la dirección perpendicular a su plano y como no había una losa como techo, se comportaba como un muro de cerco, libre en su parte superior. Al no tener solera superior ( viga collar superior) y al tener sus columnas de confinamiento muy separadas, trabajó como una losa en dos direcciones, con soporte en tres lados, uno en el cimiento y los dos laterales en sus columnas, produciéndose fisuras diagonales , que nos indican que la parte superior y central de cada paño quiso desprenderse del resto, lo cual coincide con los esfuerzos máximos de tracción que se producen en una losa sometida a flexión perpendicular a su plano.

Cuando un muro de cerco, tiene columnas y una viga collar superior, trabaja como losa en dos direcciones con apoyos en sus cuatro bordes, mientras en el caso del tabique señalado la losa solo tiene tres bordes apoyados, incrementándose los esfuerzos de tracción por flexión.



*Vista exterior del Taller del Colegio Chucarapi, desde el eje ubicado en la zona inferior de la planta adjunta. Nótese que por efecto del sismo, varias planchas de la cobertura se desprendieron.*



*Tabique que no contaba con una viga solera que tuvo que ser demolido debido a los daños sufridos por no poder soportar las cargas perpendiculares a su plano dada su falta de arriostre*

## PROYECTO DE REFORZAMIENTO PARA LOS CINCO COLEGIOS

Es evidente que la solución de reforzamiento debería corregir el problema de estas estructuras, que es la falta de rigidez en la dirección longitudinal, lo que produce movimientos laterales importantes durante el sismo, por lo cual la meta debía ser proporcionar rigidez lateral en la dirección donde faltaba.

Se analizaron las siguientes opciones:

- Cerrar paños en cada eje longitudinal con ladrillo o con concreto armado.
- Enfundar columnas y conformar placas que no cierren totalmente los paños existentes.

La solución más económica consiste en eliminar ventanas en algunos paños con el objetivo de tener muros que sí lleguen a la losa de los techos, de tal manera de eliminar el efecto de columna corta y a la vez proporcionar rigidez lateral, pues el muro trabajará frente a la acción de fuerzas laterales

Para cuantificar esta opción de reforzamiento se hicieron los modelos de los diferentes módulos. En este libro analizaremos el caso de un pabellón típico de tres aulas en cada piso, en bloques de dos pisos ( total 6 aulas ), del modelo denominado Costa o "780". El nombre o denominación "780", deriva del hecho de tener aulas de 7.8m de lado, que es uno de los módulos mas comunes en colegios construidos a lo largo de muchos pueblos y ciudades de la Costa del Perú.

Los pórticos se ubican espaciados a 3.875m a ejes, y el ancho en la dirección transversal es de 7.80m. , teniéndose una losa aligerada de 17 o 20cm de espesor, armada en la dirección longitudinal del pabellón, columnas de 25x40cm y vigas de 25x55cm.

El corredor de ingreso a las aulas, es un volado que se sustenta en la prolongación de las vigas de la dirección transversal con una losa aligerada igual a la de las aulas.

La masa total del pabellón de tres aulas por piso es del orden de 365 toneladas. La fuerza cortante sísmica será del orden del 35% del peso de la edificación, si se considera que los muros de ladrillo son los elementos que resistirán el sismo y debe tenerse en cuenta que el peso a considerar será el 100% de la carga muerta más el 50% de la carga viva.

Recordemos que los coeficientes de la Norma Peruana Sismorresistente de 1997 indicaban:

$$V = Z U C S P / R$$

Donde  $Z = 0.4$  ( Para la Zona de mayor sismicidad del Perú )

$U = 1.5$  ( Factor de uso o importancia para edificaciones esenciales como colegios u hospitales, entre otros.)

$C = 2.5$  ( Factor de amplificación de la aceleración del terreno al tenerse un período pequeño , del orden de 0.1 a 0.2 segundos, mientras el periodo del suelo generalmente era del orden de 0.6 a 0.9 segundos.)

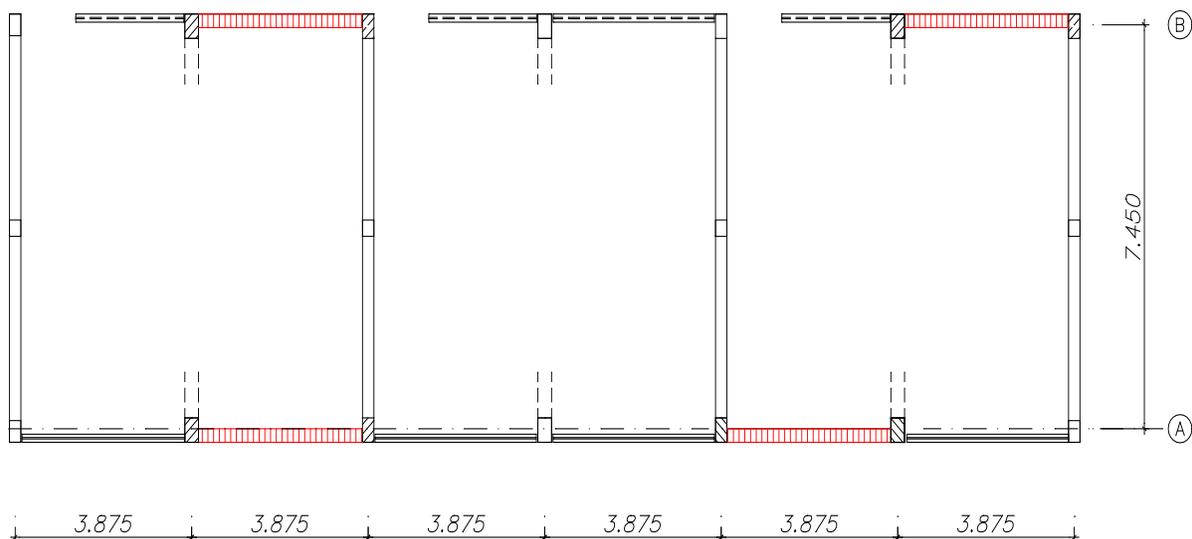
$S = 1.4$  ( Factor de amplificación debido a la baja capacidad del terreno de cimentación, que los ubica como suelos tipo 3, dentro de los tipos definidos en la Norma )

$R = 6$  (Factor de reducción de la fuerza sísmica elástica, en base a la ductilidad del material predominante. En este caso si se incorporaban muros de ladrillo, ellos tomarían gran porcentaje de la fuerza sísmica, por lo que habría que usar el factor R de albañilería confinada o armada.)

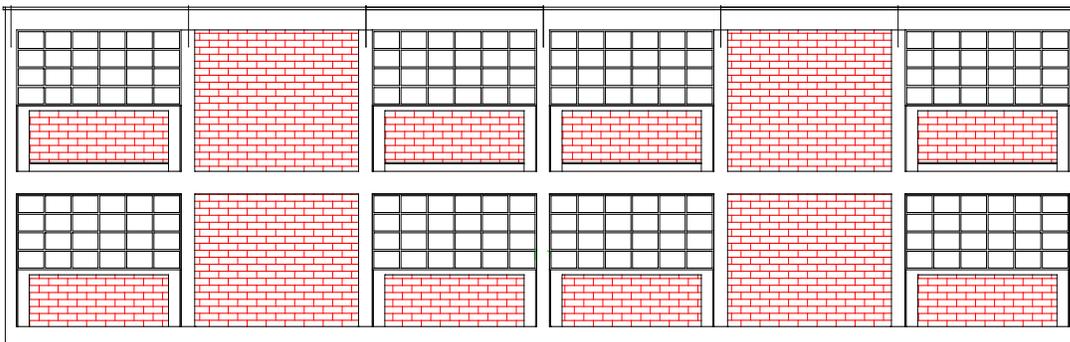
En base a estos coeficientes se obtiene una fuerza cortante de 0.35 veces el peso.(0.35 de 365 ton = 128 ton )

Considerando que en una primera opción se estudia el caso de cerrar dos paños de muro en cada fachada, los cuatro muros que se construirían tomarán prácticamente todo el cortante. Así se obtiene que cada uno de ellos recibiría una fuerza cortante del orden de 32 ton.

Dividiendo esta fuerza entre el área de cada muro, el esfuerzo cortante en cada muro es del orden de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , lo que resulta excesivo según nuestra norma albañilería vigente.



*Planta del módulo típico de 6 aulas en dos pisos, incluyendo como refuerzo cuatro muros de ladrillo*



ELEVACION EXTERIOR INCLUYENDO  
MUROS DE ALBAÑILERIA  
CERRANDO 2 PAÑOS COMPLETOS

Como esta solución excedía los valores resistentes reglamentarios, no podía plantearse como una solución legal, aún cuando es una alternativa práctica para los centros educativos, aún cuando no satisfaga los requisitos reglamentarios.

Debemos pensar que para sismos moderados, estos muros probablemente sí resistan el cortante y logren controlar la deformación lateral, evitando el problema de columna corta. En caso de sismos severos, es probable que los muros se agrieten en forma importante, pero no se tendrá daños importantes.

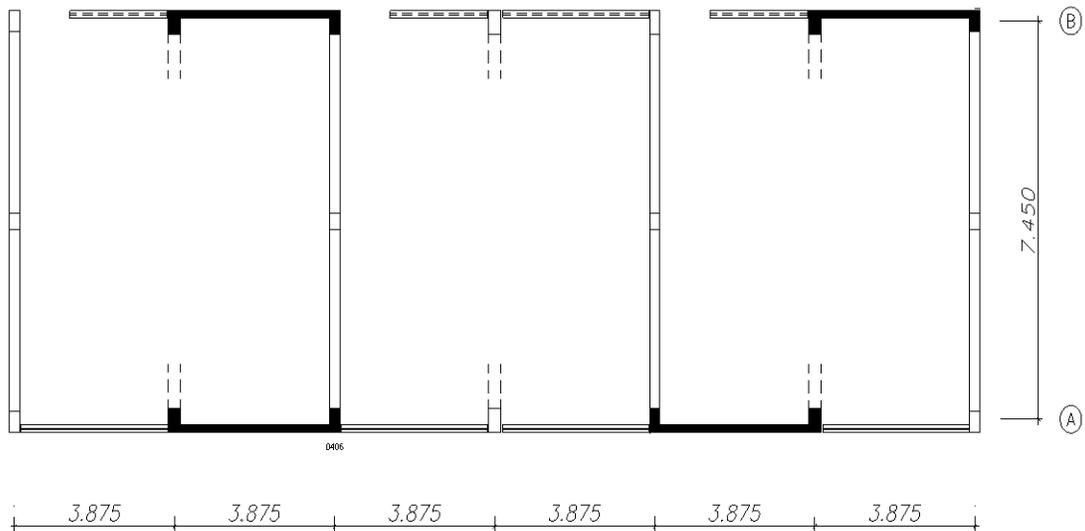
Podemos indicar que el Ingeniero Angel San Bartolomé realizó una serie de investigaciones en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, incorporando mochetas de ladrillo, a los costados de las columnas cortas ( de aproximadamente 50cm de longitud ), habiendo conseguido resultados satisfactorios en la búsqueda de evitar la falla en la columna corta.

Como quiera que se buscaba una solución que cumpla con la reglamentación vigente, se estudiaron otras soluciones, como la de incluir muros de concreto armado, en lugar de los muros de albañilería , con lo cual teníamos mas resistencia y un factor de reducción de la fuerza mayor, puesto que el concreto armado tiene mayores posibilidades de generar ductilidad. En efecto , la Norma Sismorresistente Peruana consideraba en 1997 un factor R de 7.5 para muros de concreto, mientras para los muros de albañilería confinada o armada se tenía un R= 6.

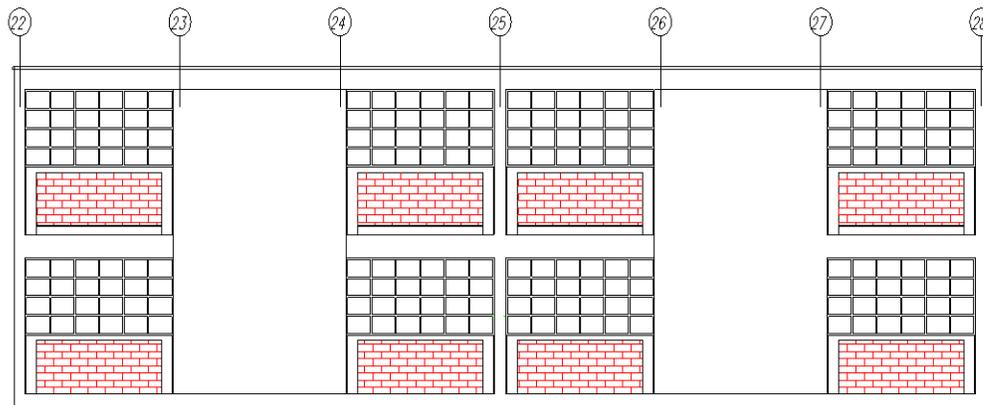
Por lo tanto, en esta opción el valor de la fuerza cortante sísmica, a nivel del primer piso, es de:

$$V = ZUCSP/R = 0.4 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.4 \times P / 7.5 = 0.28P = 28\% \text{ del Peso (en lugar del } 35\% \text{ obtenido para el caso de muros de albañilería )}$$

Manteniendo el mismo peso total y ahora considerando cuatro muros de concreto armado como refuerzo, se obtiene que cada muro de concreto (placa) tomará 25 ton de fuerza cortante, resultando un esfuerzo del orden de  $4.5 \text{ kg/cm}^2$  lo cual resulta aceptable para el caso de concreto armado.

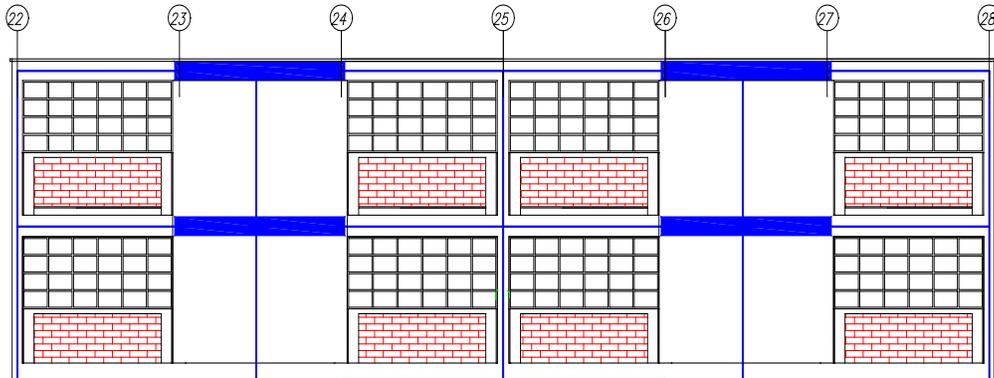


OPCION DE REFORZAMIENTO CON DOS PLACAS  
DE CONCRETO DE 15 cm. DE ESPESOR EN CADA EJE



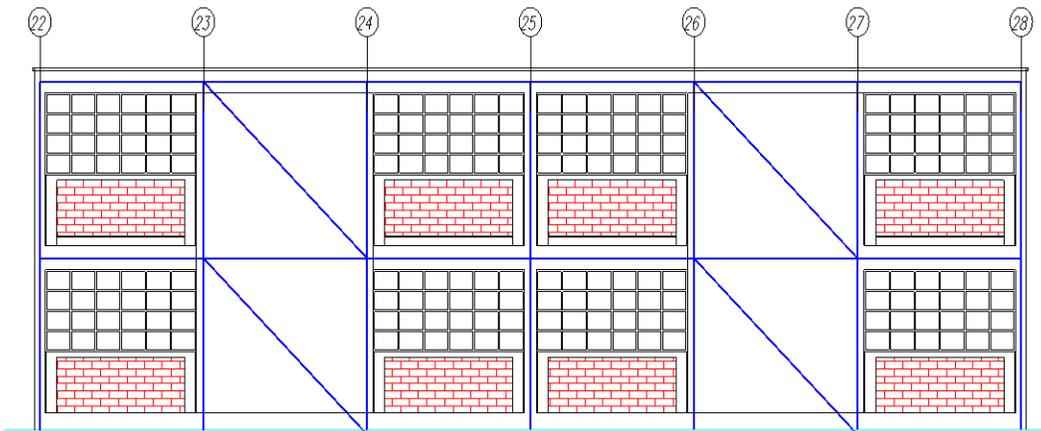
ELEVACION EXTERIOR INCLUYENDO PLACAS  
DE CONCRETO ARMADO  
CERRANDO 2 PAÑOS COMPLETOS

El modelo para realizar el análisis sísmico puede hacerse considerando la idealización de ejes de columnas, vigas y muros, incorporando brazos rígidos en los muros, como generalmente se considera en cualquier análisis de placas, o considerando a los muros de concreto incorporados a la estructura existente, como un sistema de diagonales unidas a las columnas existentes.



ELEVACION DEL MODELO DE BARRAS  
PARA EL ANALISIS SISMICO, CONSIDERANDO LOS  
MUROS MODELADOS COMO COLUMNAS Y BRAZOS RIGIDOS

El momento que se obtiene en la base de estos muros o placas, es del orden de 95 toneladas-metro con el modelo tipo placa mientras con el modelo que considera diagonales se obtienen axiales en la diagonal del orden de 30 toneladas y axiales en las columnas de borde del orden de 30 y 10 toneladas



ELEVACION DEL MODELO DE BARRAS  
PARA EL ANALISIS SISMICO, CONSIDERANDO LOS  
MUROS MODELADOS COMO DIAGONALES

Si a nivel de la cimentación, consideramos las dos columnas con el muro interior y componemos las fuerzas y tomamos momentos, encontramos valores muy similares a los obtenidos con el modelo tipo columna con brazos rígidos, pues la compresión y tracción en las columnas, más la compresión en la diagonal, producen un momento en la base equivalente al que se obtiene en el mismo nivel en el modelo de la columna con brazos rígidos (tipo Placa).

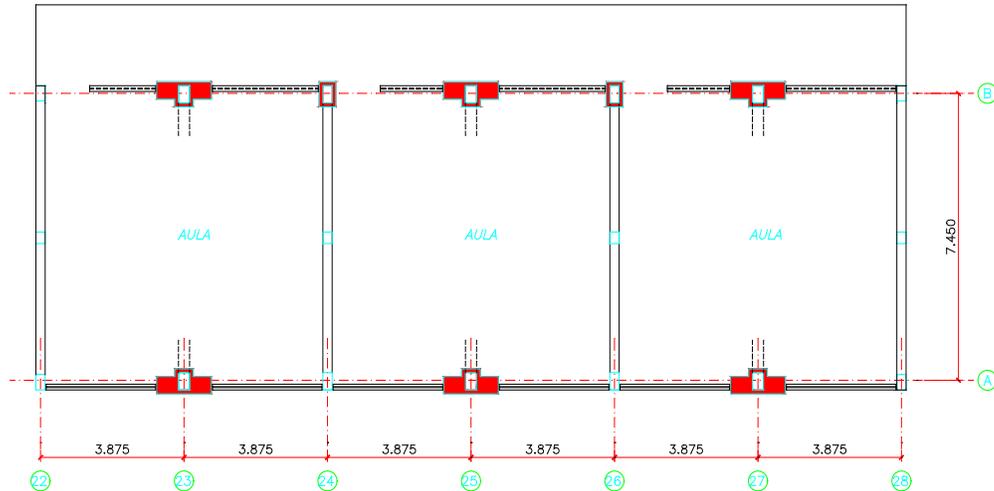
Los resultados obtenidos fueron buenos y de hecho el incorporar muros constituye una solución de reforzamiento adecuado. Sin embargo el cerrar totalmente la ventana de un aula, o incluso cerrar dos ventanas de un aula, afecta la visibilidad del salón de clases, por lo que en las coordinaciones realizadas con INFES, durante el desarrollo del proyecto, se recomendó no especificarla.

Se analizó colocar muros (placas) más pequeñas, que no cerraran todo el paño y que además consiguieran envolver a las columnas existentes, que en varios casos tenían daños importantes

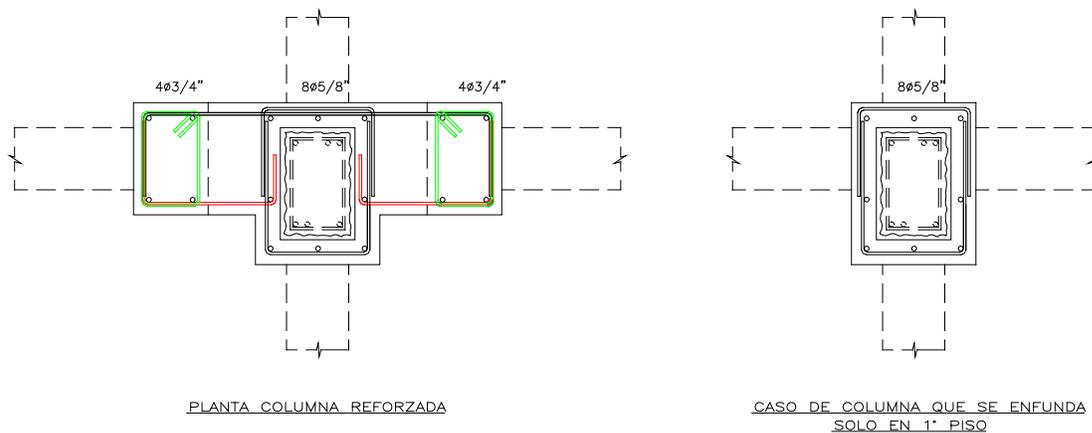
Se hizo el análisis sísmico y se verificó que con placas de 1.50 metros de largo se controlaban bien los desplazamientos laterales y que las vigas existentes resistían con su refuerzo de acero, los nuevos esfuerzos que se generan en las zonas de unión con las nuevas placas de concreto armado.

Las placas que se consideraron como refuerzo tenían un ancho de 45 centímetros, para sobresalir 10 centímetros hacia fuera y 10 centímetros hacia del ancho de la viga existente, bordeando con una funda de 10 centímetros de

espesor a la columna existente. Esta consideración se adoptó pensando en que los fierros verticales de la placa pasaran por el costado de las vigas longitudinales, no siendo necesario demoler las vigas, sino solamente picar 10cm del aligerado de los techos.



A continuación se muestra la forma en que se reforzaron las columnas existentes, unas transformándose con placas y otras reforzándose solamente.



Las placas colocadas toman prácticamente el 100% del cortante y requieren de una cimentación importante pues el momento en la base es grande en comparación con la carga vertical actuante

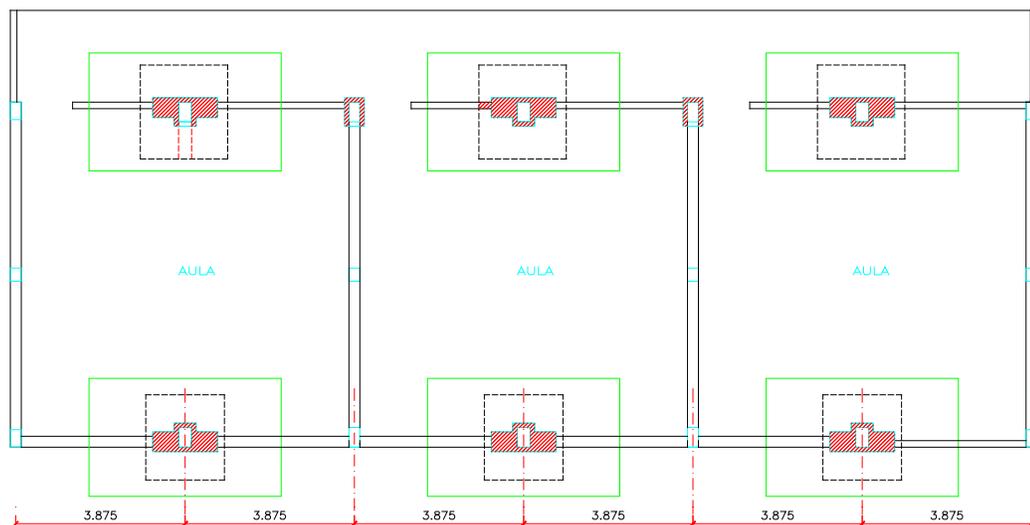
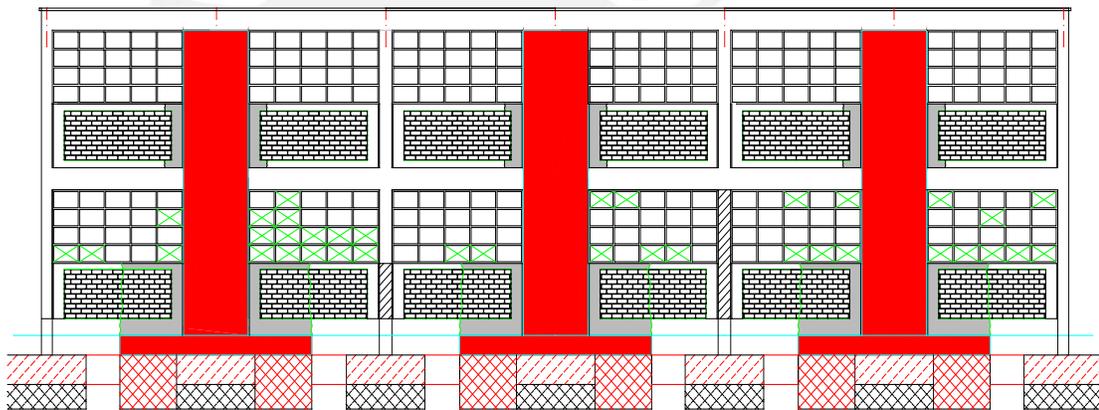
Como las columnas existentes tenían zapatas aisladas y ahora se requiere de zapatas mucho más grandes, se consideró una excavación alrededor de la

zapata existente hasta alcanzar la nueva área en planta requerida, con una profundidad igual a la cimentación existente.

Evidentemente esta nueva área requerida era mucho mayor a la de la zapata existente debido a los grandes momentos sísmicos que las placas soportan. Para este caso se construyeron zapatas de 4.40 x 2.70 m<sup>2</sup>.

En tres de los colegios intervenidos, se encontró que además de la zapata existente, se tenía por debajo una sub-zapata ( también llamada en nuestro medio falsa zapata) y que había una separación entre el nivel del piso y la parte superior de la zapata existente, del orden de 60cm.

En base a estas características, se optó por considerar una zapata nueva superficial ( en el espacio entre el piso y la parte superior de la zapata existente) y la construcción de una falsa zapata en todo el contorno a la zapata existente, con igual profundidad que la zapata y falsa zapata existentes, de modo tal de no demoler la zapata existente ni su falsa zapata.



*Planta de la Cimentación donde se aprecia el tamaño de las zapatas debido a que soporten los montos de sismo provenientes de las placas que soportan*

Evidentemente algunos tabiques o parapetos del primer piso deben demolerse por el hecho de tener que construirse estas zapatas, lo cual a su vez implica la construcción de nuevas columnetas y soleras para el arriostre lateral de los nuevos tabiques o parapetos de ladrillo, tal como se aprecia en la siguiente elevación



Adicionalmente a los trabajos de refuerzo explicados, para poder conformar el expediente técnico de los trabajos de reparación y reforzamiento, se especificaron resanes de tarrajeos, columnetas de parapetos, limpieza de juntas entre parapetos y columnas existentes, desmontaje y montaje de ventanas y puertas, rotura de pisos, roturas de ladrillos del aligerado, reposición de ventanas y vidrios rotos, reposición de pisos, reposición de puertas, reposición de zócalos, veredas, resanes en los muros de la dirección transversal en la zona de contacto con la viga superior o solera y una nueva pintura para todo el colegio, etc.

El costo de la reparación y refuerzo, incluyendo todos los trabajos adicionales para tener un colegio como nuevo, el impuesto general a las ventas, los gastos generales y la utilidad del contratista, ha sido de aproximadamente 15,000 a 18,000 soles por aula, lo que representó aproximadamente 78 dólares por área neta de aula y aproximadamente 65 dólares por área techada total.

En base a este proyecto piloto fueron reparados los colegios de Ocoña , Chucarapi, San Antonio y Morante, mostrando a continuación algunas fotografías de los colegios reforzados.



*Colegio San Antonio ya reparado*



*Colegio Manuel C. La Torre ya reparado*

## CASO ESPECIAL DEL COLEGIO UPIS PAISAJISTA

El Centro educativo ubicado en la ciudad de Arequipa,(UPIS Paisajista) que también pertenecía a este grupo de cinco colegios contratados para evaluación y reparación como modelos piloto, era de otras características, pues incluía un módulo de tres pisos, que también fue un prototipo de los modelos de colegios para la región Costa, dentro del programa Infes 1992-1997.

Este colegio se ubica en el barrio denominado UPIS Paisajista, dada la proximidad a la avenida denominada "paisajista". Dos colegios similares a este también fueron afectados en el Sismo de Nazca de 1996, dado que el sistema estructural estaba basado en pórticos de concreto armado con muros de albañilería ubicados solo en la dirección transversal, teniéndose una serie de tabiques o parapetos con ventanas escalonadas, que sufrieron daños importantes con el movimiento lateral ocasionado por el sismo.

Adicionalmente, este modelo de pabellón de aulas, tenía como característica particular, la existencia de un apéndice en forma de octógono, que tenía mayor rigidez lateral que el resto de la estructura, por lo cual se tuvieron problemas en la losa de conexión entre las diferentes áreas de la planta.

En el caso específico del colegio Upis Paisajista, ya se habían tenido daños en un sismo anterior y el colegio ya había sido reforzado, incorporando algunos muros de concreto armado, pero en un trabajo que no había sido bien concebido ni detallado.

El trabajo de investigación en obra fue más complicado, pues había que determinar las características de los trabajos de reforzamiento y reparación anteriormente realizados.

Se comprobó que los refuerzos usados no eran los más adecuados y que los sistemas de anclaje de los fierros tampoco.

Evaluando este colegio con los parámetros de la Norma de 1997, para fines de reforzamiento, se encontraba que no solo faltaba rigidez lateral en la dirección longitudinal ( pórticos ) sino que además era necesario reforzar los muros de albañilería de la dirección transversal, pues se tenían tres pisos y problemas con excentricidades en planta, dada la presencia de la zona de aulas octogonales.

Es así como se decidió incluir muros de concreto armado en las dos direcciones de la planta estructural . En el caso de un muro de la dirección transversal, se decidió no demoler el muro de albañilería existente, sino construirlo adyacente al existente.



*Diversas fotografías del daño ocurrido en la tabiquería del colegio UPIS Paisajista, en el edificio de tres pisos conformado solamente por pórticos en la dirección longitudinal*



## OTROS PROYECTOS DE REFORZAMIENTO DE COLEGIOS

Dentro de los casos analizados en centros educativos antiguos, incluimos con mayor detalle en este capítulo, los casos de los colegios La Salle de Arequipa y Ángela Barrios de Moquegua.

### COLEGIO LA SALLE DE AREQUIPA

El Colegio de los Hermanos de La Salle en la ciudad de Arequipa, fue seriamente afectado durante el sismo del año 2001 y fue analizado por nuestra oficina luego de haber sido contratados por sus directivos, con el fin de evaluar sus características estructurales, los daños ocurridos y las posibilidades de un reforzamiento.

El colegio La Salle era una edificación de dos y tres pisos, dividido en cinco bloques adyacentes construidos en la década de los años 30. Los bloques o pabellones estaban constituidos por pórticos de concreto armado espaciados aproximadamente 2.75 metros, con columnas de 30x30cm de sección y vigas principales de 30cm de ancho por 65cm de peralte, con luces de 6.8m . En la dirección longitudinal no se tenían vigas sino un conjunto de muros de piedra sillar , típica de Arequipa, que se disponían en paños intercalados con las columnas y ventanas, teniéndose esta disposición casi típica hacia la fachada principal y hacia la fachada posterior.

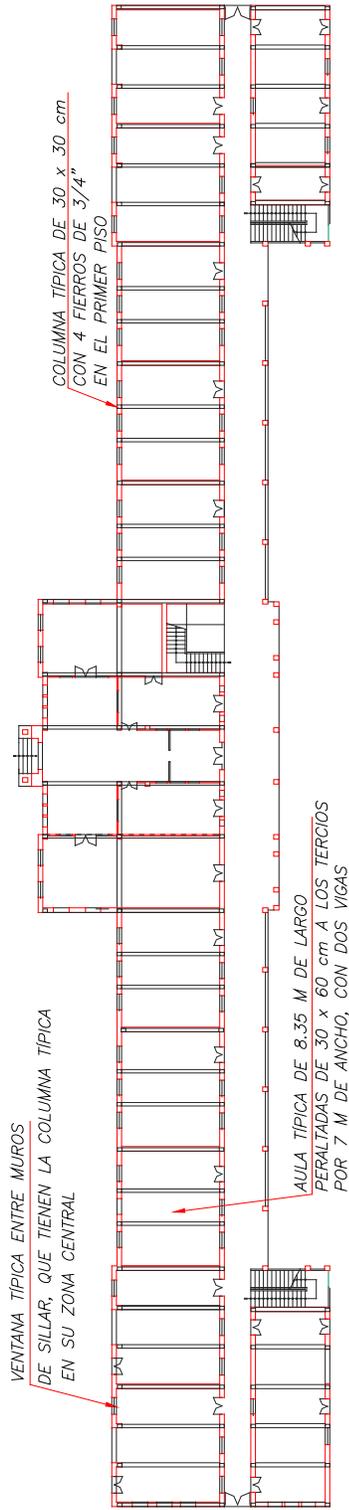
En la dirección transversal, en las divisiones de las aulas o ambientes , se tenían muros de sillar, en lugar de los pórticos principales, con columnas extremas y vigas tipo soleras o vigas collar.

Dada la antigüedad del colegio, ya había sufrido los embates de varios sismos de importancia ocurridos en Arequipa. Había sido reparado en base a mallas delgadas de fierro usadas como revestimiento a los muros de sillar, en las zonas donde se habían detectado grietas de tipo diagonal.

Dentro de los trabajos de investigación en campo, se hicieron piques en columnas y vigas principales, con el fin de evaluar sus posibles capacidades resistentes. En las columnas del primer piso se encontró cuatro fierros de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, sin corrugación, que suponemos tenían un punto de fluencia del orden de 2500 a 2800 kg/cm<sup>2</sup>, que era el fierro importado en los años 30 ,40 y 50.

En algunas vigas principales, no se encontró varillas de refuerzo en la zona inferior, sino solamente un perfil metálico, tipo riel de ferrocarril.

Las vigas no tenían estribos, salvo algunos ubicados en la zona cercana a las columnas. Igualmente no había varillas de acero en la parte superior de las vigas, salvo algunos bastones en las proximidades con las columnas.



PLANTA DEL PRIMER PISO DEL COLEGIO LA SALLE DE AREQUIPA, DONDE SE APRECIA EL BLOQUE CENTRAL DE ADMINISTRACIÓN Y DOS BLOQUES DE AULAS HACIA LOS EXTREMOS



De los análisis realizados, era evidente que los edificios tenían muy poca rigidez lateral y que los muros de sillar habían desempeñado una función muy importante proporcionando rigidez lateral y resistencia frente a movimientos sísmicos.

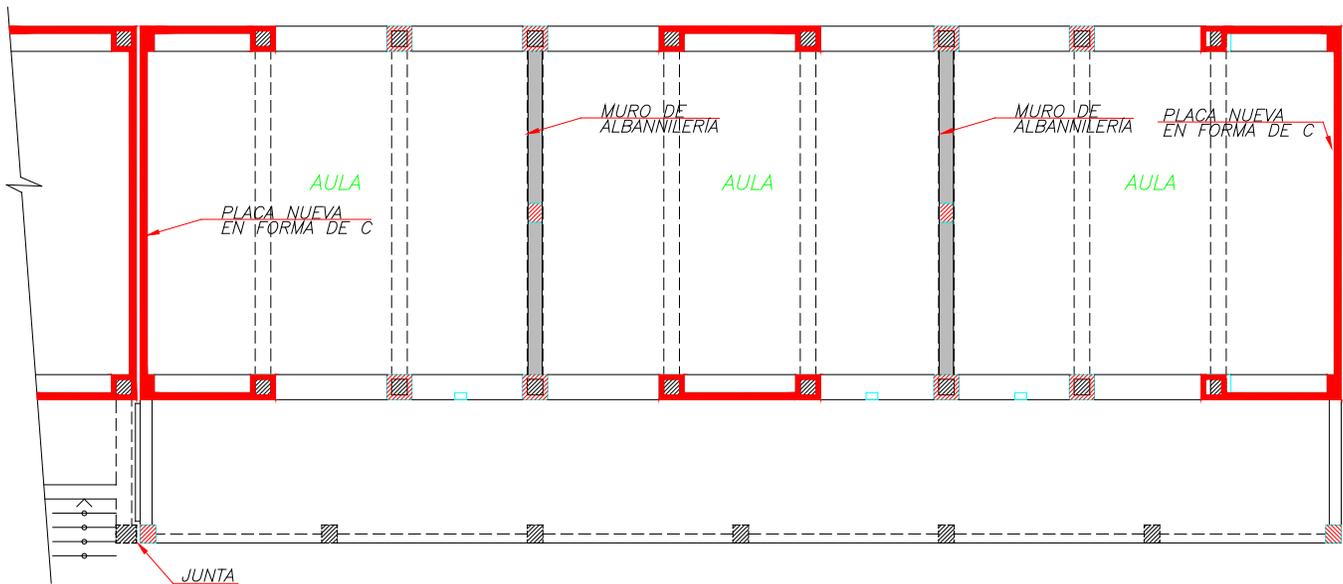
El sillar es una piedra blanda, que se corta de una manera relativamente fácil, no teniendo características estructurales importantes. A pesar de esto es una piedra muy usada para hacer muros y la mayoría de las casas, iglesias y en general edificaciones antiguas de la ciudad de Arequipa están construidas con muros de sillar de espesores variables, entre 30 y 60cm.

Por efecto de las fuerzas cortantes del sismo del año 2001, una gran cantidad de los muros de la dirección longitudinal ( fachadas ) y de la dirección transversal ( divisiones de aulas ) habían fallado a nivel del primer piso, teniéndose grietas de espesores importantes, por lo que el colegio dejó de operar luego del sismo.

En los análisis realizados se llegó a la conclusión que era necesario reforzar las columnas, dada su poca sección y refuerzo, era necesario eliminar los muros de sillar, introduciendo muros de concreto armado en las dos direcciones y que permanecerían sin mayor refuerzo las losas de los entrepisos y las vigas principales.

Si las vigas principales se reforzaban, con el fin de estribarlas y colocar fierro continuo, el proyecto de reforzamiento se volvía impracticable, por lo que se decidió en primera instancia no reforzarlas, introduciendo muros de concreto que serían los encargados de tomar las acciones sísmicas, de tal manera que las vigas principales tengan un trabajo, básicamente por cargas verticales o de gravedad.

En base a estas consideraciones se procedió a analizar varias opciones, llegándose a la conclusión que lo mejor era colocar muros en los ejes extremos de cada bloque ( dirección transversal ) , unidos con muros dispuestos en la dirección longitudinal ( muros de forma de C ), de tal manera de concentrar los trabajos en algunos paños de cada pabellón. Así adicionalmente se conseguía separar los bloques adyacentes, construyendo nuevos muros convenientemente separados, pues se había observado que las juntas entre bloques existentes, no se habían hecho dejando una separación, sino simplemente construyendo un bloque ( columna, muro o viga ) adyacente al otro.



*Planta de un Bloque donde se muestran las Placas en forma de C en los extremos, se observa la separación con el bloque adyacente*

El problema principal de la incorporación de muros en una edificación existente, es que las fuerzas de sismo se concentran casi en su totalidad en ellos, ocasionando grandes momentos de vuelco en la base, por lo que se requiere de zapatas de dimensiones importantes, que para poder construirse, a su vez ocasionan nuevas demoliciones en otros elementos.

Una vez resuelta la concepción del reforzamiento y el diseño de sus elementos, se procedió a cuantificar los costos de la obra. Dada la antigüedad del colegio, se requería cambiar todas las redes de electricidad, las instalaciones de agua y desague y demoler parte del tercer piso de la zona central, pues allí se tenía ubicada la capilla del colegio, con columnas intermedias que no subían, lo que ocasionaban vigas de luces demasiado importantes, para estar apoyadas en columnas débiles.

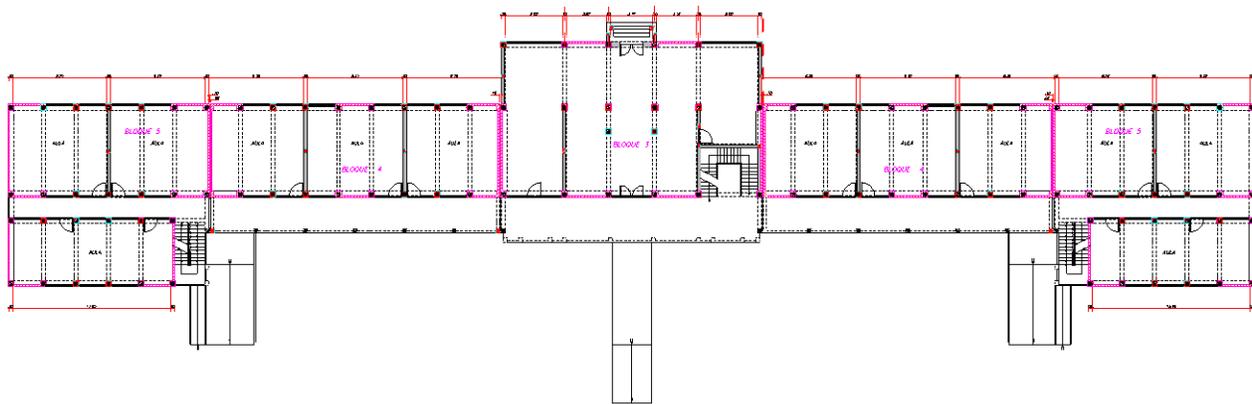
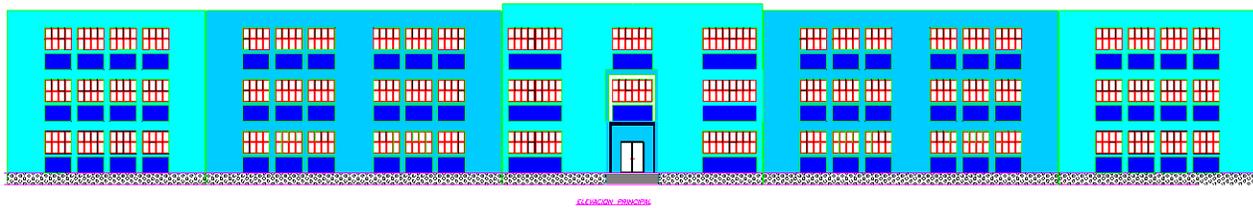
Efectuados los cálculos de los costos de obra, se llegó a la conclusión que eran demasiado altos, por lo que las autoridades de la Congregación Religiosa de los Hermanos de La Salle, con nuestro asesoramiento, decidieron concebir un nuevo proyecto y por tanto ordenar la demolición de la edificación existente. La diferencia entre construir un nuevo colegio y reparar y reforzar este, era del orden del 30%, por lo que estaba plenamente justificada la decisión adoptada.



*Daños en los muros de sillar del primer piso del colegio con la típica falla por cortante*



*Daños en los muros de sillar*



## PLANTA Y ELEVACIÓN DEL PROYECTO DEL REFORZAMIENTO DEL COLEGIO

Se aprecia en la elevación las placas colocadas hacia los extremos en los módulos laterales extremos, en el caso del módulo central se aprecia las dos placas colocadas hacia el centro y en el caso de los módulo intermedios se aprecian tres placas hacia la fachada.

Estas placas continuaban en el sentido perpendicular de la elevación, formando placas en forma de C, tal como se aprecia en la planta

## COLEGIO ÁNGELA BARRIOS DE MENDOZA

El Colegio Ángela Barrios de Mendoza es una institución inicialmente privada y hoy estatal de trayectoria destacada en la ciudad de Moquegua. Su local está en la zona del centro de la ciudad y comprendía tres bloques, dos de ellos de aulas y uno de administración y salón de conferencias o auditorio.

La zona más antigua ( años 50 ) tenía la tipología típica de los colegios: pabellón rectangular con pórticos y muros en la dirección transversal y con tabiques o parapetos formando los ejes longitudinales, uno con ventana altas y otro con ventanas bajas, más un corredor en voladizo.

Uno de los dos bloques de aulas, el ubicado hacia la esquina del terreno, fue seriamente afectado por el sismo del 2001, teniéndose el colapso de las columnas cortas de la fachada interior, la consiguiente inclinación de los techos al haberse perdido aproximadamente 60cm de altura de estas columnas, serios daños en las columnas de la fachada principal ( hacia la calle ) y daños importantes en los muros y tabiques de ladrillo, por lo que se decidió demolerlo.





*Fallas severas en pórticos y muros del pabellón 1, que dada la gravedad de los daños fue demolido*



Para evaluar las posibilidades de reparación y reforzamiento de los otros dos pabellones, fuimos contratados por INFES, habiéndose realizado trabajos de investigación en campo y en oficina.

En estos se siguió el mismo criterio anteriormente descrito para los colegios piloto de INFES, habiendo sido reforzados satisfactoriamente.

Indicamos a continuación planos y fotos de estos trabajos.



*Fachada posterior del pabellón de aulas reforzado*



*Fachada principal del pabellón de aulas reforzado*



*Columnas enfundadas en el pabellón de administración y auditorio del colegio Ángela Barrios*



*Fachada principal del pabellón de administración y auditorio del colegio Ángela Barrios con las placas de reforzamiento*

## COLEGIOS CORIRE, LA LIBERTAD, ALFRED BINET Y LIBERTADOR CASTILLA

Se incluyen en este capítulo ejemplos de cuatro colegios antiguos que fueron afectados por el sismo del año 2001, todos ubicados en el departamento de Arequipa.

Estos colegios habían sido construidos cuando no existía el INFES y en muchos casos se advertía una construcción de poca calidad, por motivo de haber sido construidos con el apoyo de las asociaciones de padres de familia.

Todos ellos mostraban los típicos defectos de falta de rigidez en la dirección longitudinal, efecto de columna corta, separación inadecuada entre distintos bloques y superposiciones de ampliaciones .

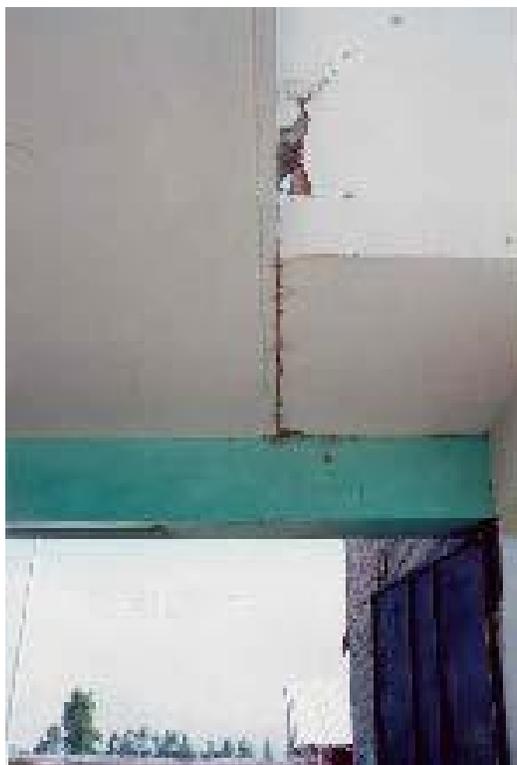
### COLEGIO CORIRE



Fachada interior del módulo 3 donde se observa la falta de vigas peraltadas en la dirección longitudinal



*Fachada posterior de modulo 3 donde se aprecia el levantamiento del muro del segundo nivel con otro plomo con respecto al del primer nivel. Apparently the school originally had one floor and was later expanded, considering the construction of a second floor with new columns that were built towards the exterior of the existing wall of the first floor.*



*Junta existente en la losa del techo mas no en la viga que la sostiene*



*Afeizar de bloquetas de cemento adosadas a columna que produjeron el efecto de columna corta*



*Baranda de escalera colapsada. Albañilería no arriostrada*



*Cambio de nivel de losa de techo de un mismo módulo y típica columna corta.*



*Fisura vertical en viga de pórtico transversal, causada por la construcción de la columna exterior y de la viga del corredor, que originalmente fue un voladizo. Se construyó la viga del corredor, picando superficialmente la columna original del colegio y apoyando así la nueva viga, con el objeto de “calzar” el voladizo del corredor.*

Luego del análisis de la mala construcción de este colegio, de los problemas encontrados en una cimentación demasiado superficial y de tamaño insuficiente, se llegó a la conclusión que realizar un proyecto de reforzamiento era muy complejo, considerándose mejor recomendar la demolición y construcción de nuevos módulos, en base a los modelos sistémicos de Infes, para la Costa.

## COLEGIO LA LIBERTAD

Es un colegio constituido por tres módulos principales, uno ubicado hacia la fachada de la calle principal, con un piso, otro subdividido en dos etapas de construcción, con dos pisos y construcciones menores en la zona del patio interior.

El módulo de un piso, tenía los típicos defectos de los pabellones de aulas, con falta de rigidez lateral en la dirección longitudinal y existencia de columnas cortas. Sin embargo como solamente tenía un piso, los daños causados por el Sismo no fueron grandes.

Se decidió reforzarlo, cerrando algunos paños de ventanas que daban hacia la fachada exterior y hacia el patio interior, con muros de ladrillo de 24cm de espesor ( cabeza ). Con el fin de que la unión entre estos nuevos muros y las columnas existentes sea buena, se decidió construir columnetas jivas de 25x25cm, adyacentes a las existentes, de tal manera de que el muro nuevo se integre a estas columnetas mediante las hielras endentadas del ladrillo y que éstas se unan a las columnas existentes mediante conectores anclados luego de hacer perforaciones en las columnas existentes.

En el módulo de un piso, se observó que había fisuras de importancia entre los muros que dividían las aulas y la viga solera superior. Esta falla ya observada en otros colegios, pareciera que se debe a haber construido primero la viga con sus columnas y luego rellenar el espacio del pórtico con el muro de ladrillo, como si fuera un tabique y no un muro portante. Para solucionar este problema se decidió hacer perforaciones por arriba del techo ( de la viga ) y eliminar tres o cuatro ladrillos de la parte superior del muro, de tal manera de poder hacer vaciados de concreto que se introduzcan desde arriba hacia el muro de ladrillo, que se encofraba por las dos caras en los espacios generados por haber eliminado las unidades de ladrillo. La idea era tener conectores entre la viga superior (techo) y el muro de ladrillo, cada metro de distancia, para mejorar la unión muro-losa de techo.

El hecho de cerrar algunos paños de muro de la dirección longitudinal, obligó a considerar la eliminación de ladrillos de techo en algunas hileras de la losa

aligerada, para generar huecos en el techo, rellenos con bloques de vidrio, que permiten el ingreso de luz, que se pierde al cerrar las ventanas originales.

En los módulos de dos pisos se tenían los defectos típicos, por lo que se decidió hacer el reforzamiento incorporando placas de concreto envolviendo las columnas existentes, tal como se hizo en los primeros colegios ya indicados al inicio de este capítulo.

Mostramos a continuación fotografías y planos de este colegio y de su reparación.



*Vista de la fachada interior del módulo 1. Falta de vigas peraltadas en la dirección longitudinal*



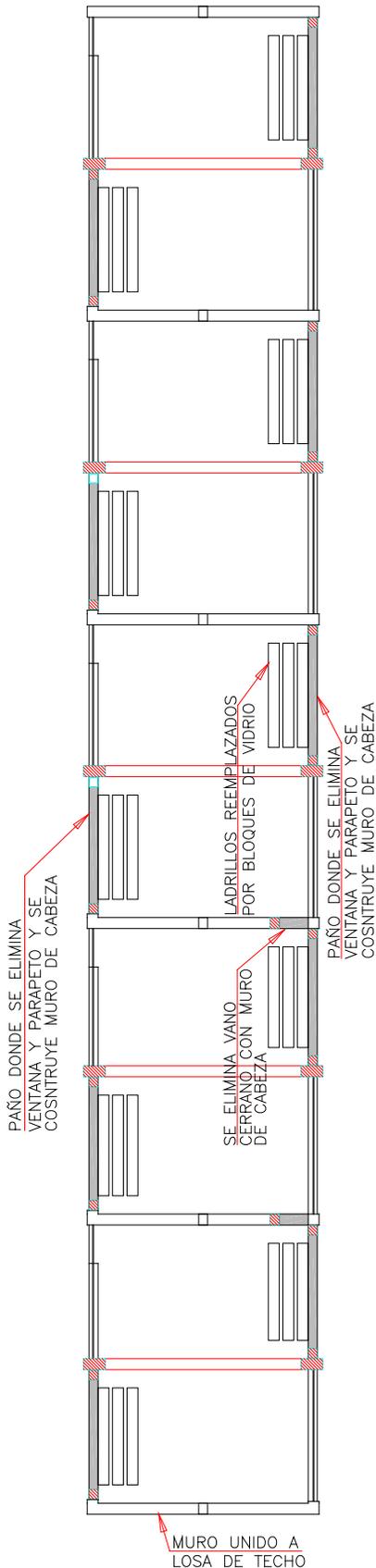
*Junta inexistente entre  
módulo 2 y núcleo de  
escaleras*



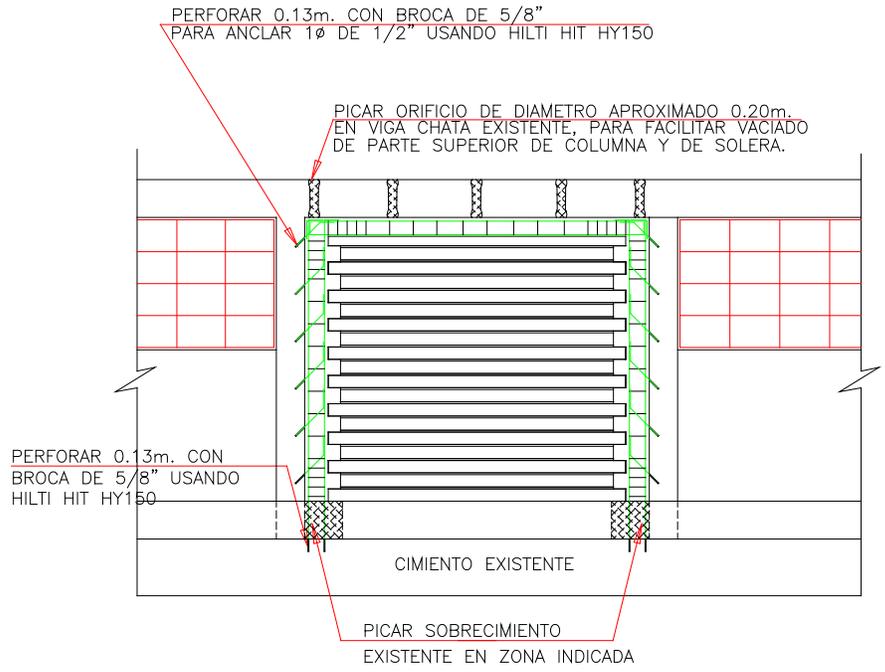
*Viga nueva construida para calzar el techo, pero donde se comprobó  
que su refuerzo no penetraba anclando en la columna existente .  
Nótese las manchas de humedad en el techo por la inexistencia de  
ladrillo pastelero.*



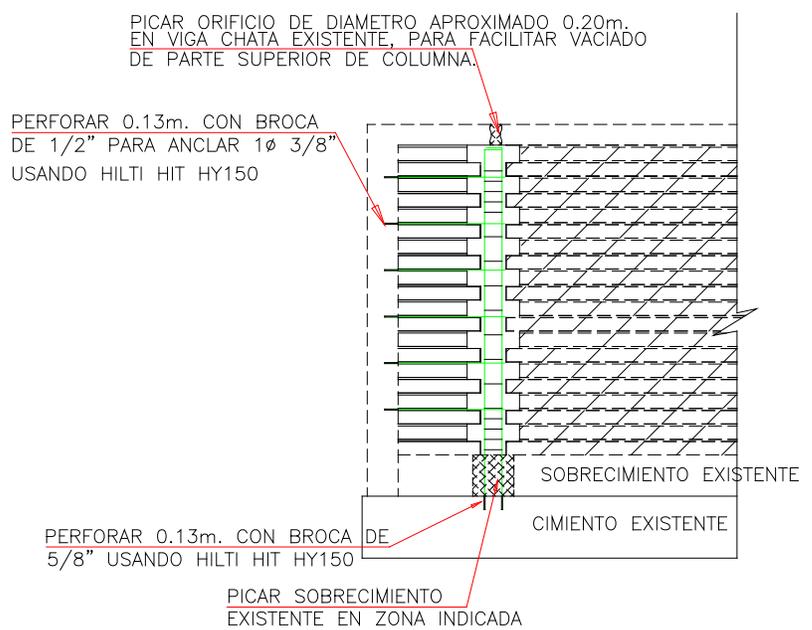
*Cambio en el nivel de los techos de losa en un mismo módulo y típica columna corta.*



PLANTA DEL MODULO DE 1 PISO DEL COLEGIO LA LIBERTAD DE AREQUIPA DONDE SE INDICAN LOS REFORZAMIENTOS EFECTUADOS



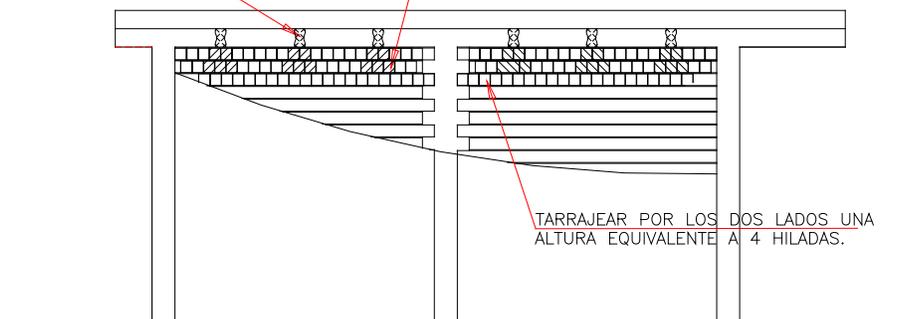
Detalle en elevación de eliminación de ventana y parapeto, y relleno con muro de albañilería en la dirección longitudinal. Obsérvese el picado en la viga para el vaciado del concreto y asegurar el comportamiento de un muro de albañilería confinada



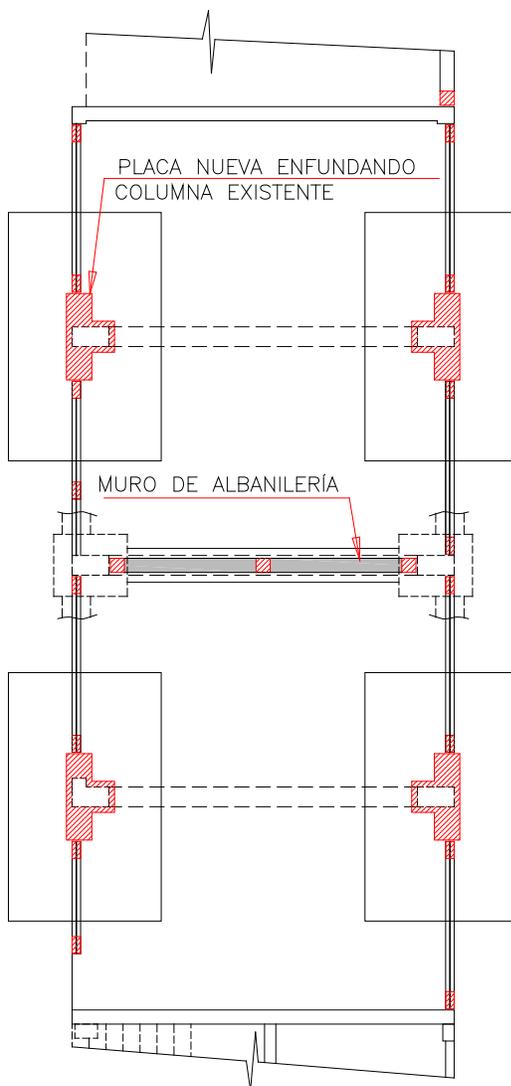
Detalle en elevación de la eliminación de los vanos en los muros transversales y su relleno con albañilería

PICAR ORIFICIO DE DIAMETRO APROXIMADO 0,20m. EN VIGA CHATA EXISTENTE, PARA FACILITAR VACIADO DE PARTE SUPERIOR DE MURO, CUYAS ULTIMAS 2 HILADAS SE REEMPLAZAN PARCIALMENTE.

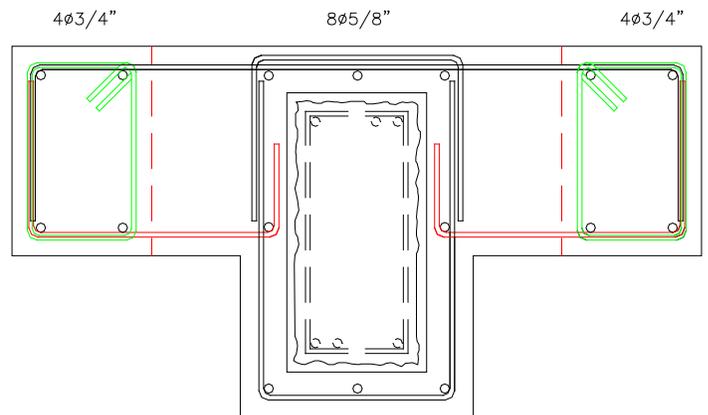
PICAR UNIDADES DE LADRILLO UBICADAS EN LAS ULTIMAS 2 HILADAS, REEMPLAZANDOLAS POR CONCRETO VACIADO DESDE LA PARTE SUPERIOR DEL TECHO. USAR ADITIVO EXPANSIVO EN LA MEZCLA.



Detalle en elevación de reforzamiento de los muros transversales. Se pica la viga del techo y se pican ladrillos para vaciar concreto y formar una llave de corte



Planta de un sector del módulo de dos pisos donde se aprecia las placas que enfundan las columnas existentes proporcionando la rigidez en la dirección longitudinal requerida



Detalle en planta de las placas de refuerzo del módulo de dos pisos

## COLEGIO ALFRED BINET

El colegio está ubicado en el distrito José Bustamante y Ribero en el departamento de Arequipa. Está constituido por cuatro módulos de aulas, dos de los cuales tienen dos pisos y los otros dos un piso. Estos módulos contaban con ventanas altas en sus fachadas en la dirección longitudinal como era el caso típico de estos colegios. Cabe agregar que el segundo piso de los módulos de dos pisos tenía una cobertura metálica, por lo que de acuerdo a los requerimientos de Infes, se decidió demoler totalmente los segundos pisos para construirlos de concreto conjuntamente con el reforzamiento general.

Para brindar la rigidez necesaria en la dirección longitudinal se utilizó el modelo típico usado anteriormente enfundando las columnas existentes para transformarlas en placas. En los módulos de un piso no fue necesario realizar ningún reforzamiento estructural, por cuanto se verificó que sí se tenía adecuada rigidez.

Lo que si se realizó en los techos de todos los módulos, fue la colocación de ladrillo pastelero sobre torta de barro, con ligeras pendientes y nuevas gárgolas para el desfogue del agua de lluvia. Esto se hizo debido a que en todos los casos se observó daños por la humedad proveniente de las aguas de lluvia.



Cobertura metálica con vigas de madera en los segundos pisos



Fisura severa en encuentro columna con alfeizer



Junta entre columnas de módulos, que sin embargo no existe losa.



Fisura horizontal en la junta entre viga y columna



Columna dañada severamente por efecto de columna corta



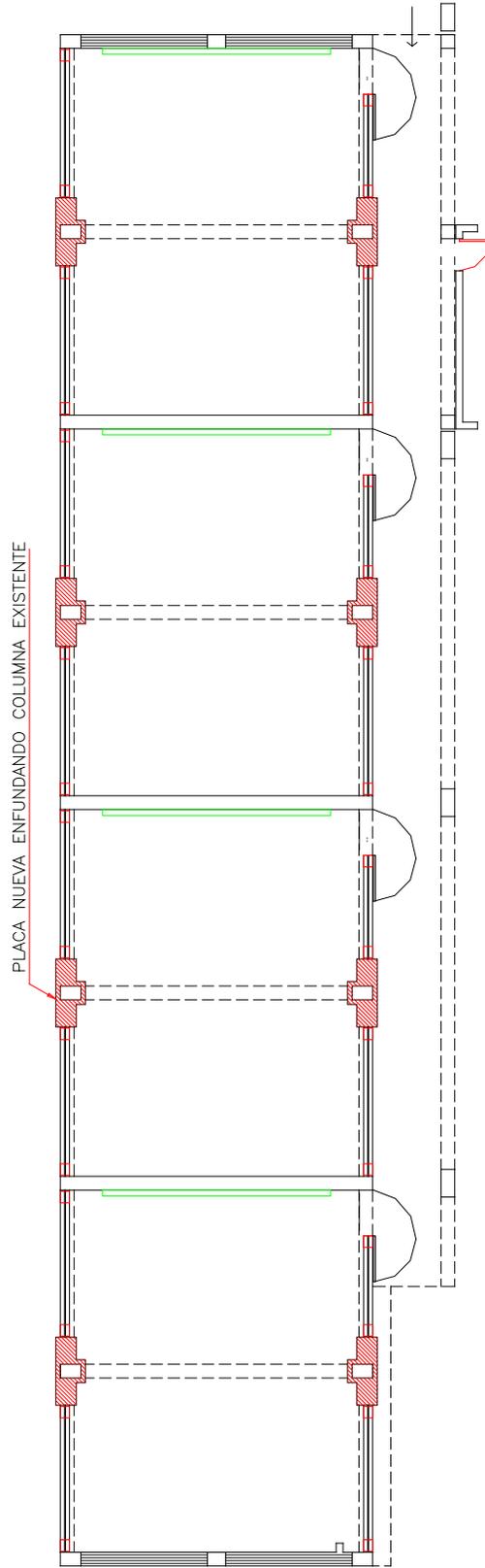
Daños en cielo raso ocasionado por la humedad





Daños severos en columnas debido al efecto de columna corta





PLANTA DEL PRIMER PISO DE UNO DE LOS MÓDULOS DE DOS PISOS DONDE SE MUESTRA EL TÍPICO REFUERZO MEDIANTE EL ENFUNDAMIENTO DE COLUMNAS EXISTENTES MEDIANTE PLACAS

## COLEGIO LIBERTADOR CASTILLA

El Colegio Libertador Castilla se encuentra ubicado en el distrito de Aplao en la provincia de Castilla en el departamento de Arequipa. Consta de 3 módulos de aulas y un núcleo de escaleras.

El módulo 1 ya había sido reparado por CTAR. El módulo 2 y el núcleo de escaleras debido a los daños serios en sus estructuras y a defectos serios en su concepción estructural fue demolido y en su lugar se construyó un nuevo módulo sistémico INFES de 4 aulas / 4 aulas, tipo 780 Costa, con un módulo de escaleras hacia cada costado.

El módulo 3 debido a que era de un solo piso y un techo ligero no sufrió daños importantes por lo que no requirió un reforzamiento estructural.

A continuación se muestran daños y defectos estructurales observados.



*Alfeizer completamente adosado a columnas. Columna corta*



*Fisura horizontal en la unión entre albañilería y solera*



*Vigas peraltadas en una sola dirección. Falta de rigidez en la dirección longitudinal*



*Mocheta de albañilería con fisura diagonal*



*Daño severo en columna debido al efecto de columna corta*

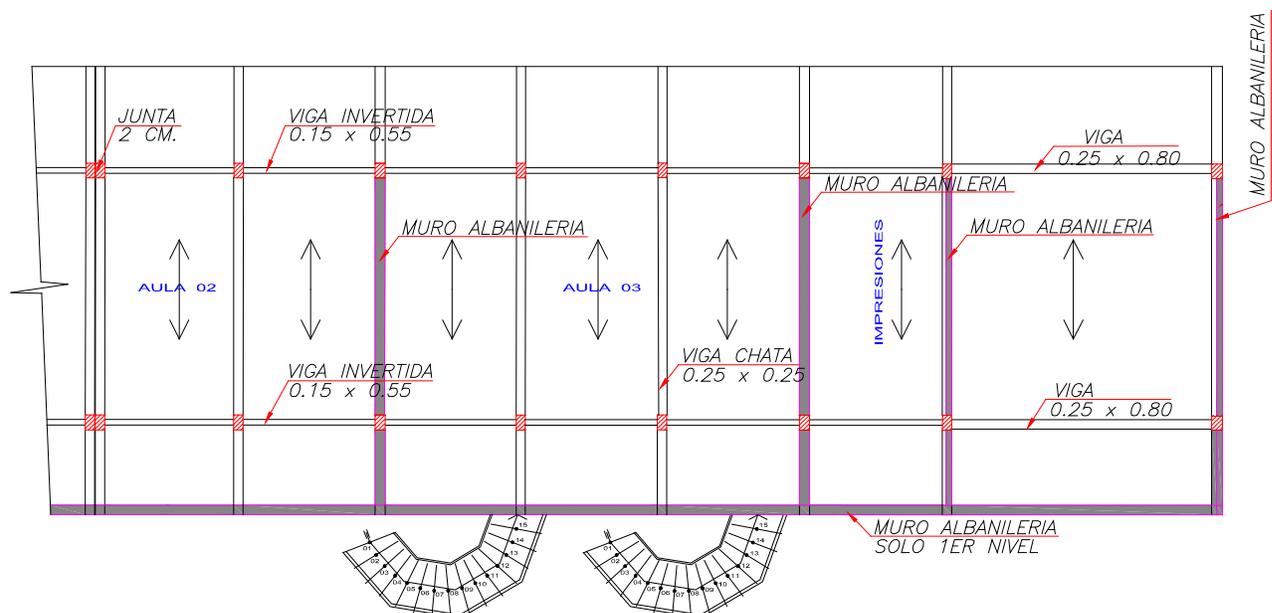
## Capítulo 3

### REFORZAMIENTO DEL PABELLÓN DE PRIMARIA COLEGIO DE LA SALLE EN LIMA

El Pabellón de primaria del Colegio La Salle en Lima es un gran rectángulo de 57.30 m x 12, 10 m de 3 pisos con una altura de entrepiso de 3.30 m. Este pabellón estaba formado por dos bloques similares independientes separados por una junta de 2 cm. La estructura de dicho pabellón estaba constituida en la dirección longitudinal por 2 pórticos con columnas de 0,25 m x 0,40 m y por vigas invertidas de 0.15 m x 0.55 m ó por vigas de 0.40 m x 0.40 m (en el caso de las zonas donde se ubican las puertas de ingreso a las aulas) ya que hacia una fachada se tiene el corredor en voladizo y hacia la otra fachada otro voladizo que no se usa como corredor sino como protección de los efectos solares.

En la dirección transversal se contaba con simples vigas chatas de 0.20x0.25m. que unen las columnas antes indicadas, las que están espaciadas 3.80m. aproximadamente, teniéndose la ayuda de los muros que dividen las aulas, pero que no son coincidentes en los tres pisos, con excepción de los extremos laterales.

La losa de los entrepisos y del techo es una losa aligerada de espesor 25cm. la cual está armada en la dirección transversal.



*Planta de primer piso del bloque derecho del pabellón a reforzarse donde se puede observar los pórticos existentes así como los muros de albañilería*

Evidentemente la estructura es muy flexible en las dos direcciones, a pesar de no haber sufrido daños en los sismos de 1970 y 1974. La dirección del colegio deseaba usar los voladizos que son parasoles (fachada posterior) como depósitos de las maletas y mochilas de los alumnos, a pesar que para acceder a esa zona debe atravesarse la viga invertida y deseaba que se haga un análisis de la seguridad del edificio, luego del cual se haría una remodelación de los salones del primer piso, para convertirlos en talleres y salas de usos múltiples.

Luego del análisis efectuado se comprobó que la competencia del edificio era muy limitada, por lo que se decidió hacer un proyecto de reforzamiento integral, el cual consideró la inclusión de nuevos elementos, con el objeto de aumentar la rigidez lateral de las dos direcciones de la planta, tratando de que los refuerzos sean colocados en los ejes de las fachadas anterior y posterior, con el fin de no alterar en lo posible el interior de las aulas.

En la dirección longitudinal se optó por colocar columnas de 0.30 x 0.90 m en los tramos interiores y columnas de 0.30 x 0.70 en los extremos, unidos con vigas de 0.30 x 0.50 m que calzaban las losas aligeradas que originalmente eran volados. Estas columnas fueron colocadas en todos los ejes en el caso del primer y segundo piso y en el tercer nivel se optó por colocar columnas intercaladamente, con el fin de disminuir los costos del reforzamiento.

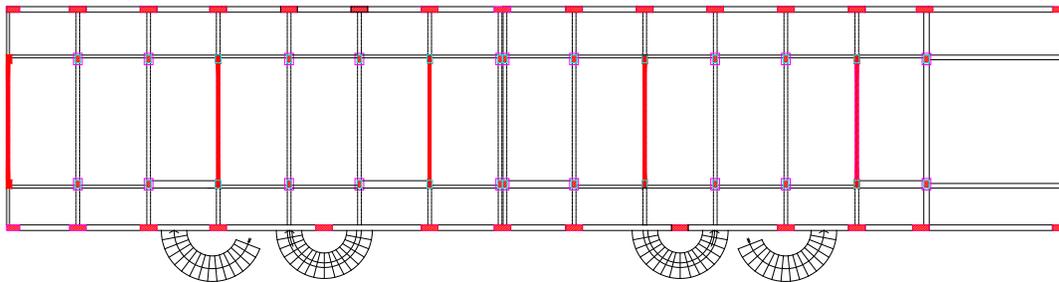
En la dirección transversal inicialmente se consideró la opción de construir 3 placas de concreto en cada uno de los bloques, de aproximadamente 7.20 m de longitud, que a la vez constituirían los separadores de aulas. Luego de hacer el análisis sísmico respectivo se observó que debido a que estas placas no estaban colocadas simétricamente se producía una torsión importante en uno de los bloques, lo que incrementaba considerablemente los esfuerzos en una de las placas.

Con el fin de corregir esta situación se decidió unir los dos bloques con lo que los problemas de torsión se eliminaban, dado que se conseguía cierta simetría y las 6 placas que se disponían en los ejes que dividen las aulas trabajaban uniformemente. Esta solución además permitía que las zapatas de las placas fueran de dimensiones aceptables, pues en la primera opción de dos bloques independientes, se tenían momentos de volteo muy importantes en las placas más esforzadas.

Con estas consideraciones se procedió a la elaboración del proyecto completo donde además se consideraba el reforzamiento de las columnas ya existentes, enfundándose éstas en el primer piso, transformándolas a una sección de 0.45 x 0.60.

En las investigaciones realizadas en la obra se detectó que los voladizos solamente tenían fierro superior, por lo que se decidió incorporar vigas chatas en los espacios de los ladrillos de la losa aligerada, de tal manera de poder tener refuerzo inferior, ya que con la inclusión de los nuevos pórticos, estos volados trabajarían como losas apoyadas para el caso de la aplicación del piso terminado nuevo y de la sobrecarga. Además esta incorporación de vigas chatas, cada dos viguetas, mejoraba el comportamiento de la losa como diafragma rígido en su plano, cosa que es importante por el hecho que los dos pórticos nuevos son los que tomarán los esfuerzos de sismo, dada su rigidez relativa, en relación a los dos pórticos longitudinales existente.

La junta entre los dos bloques se eliminó picando las viguetas extremas de los bloques, transformándolas en una nueva viga chata, uniendo sus fierros con estribos y adicionalmente se enfundaron las columnas, de tal manera que se transformen en una sola



*Pabellón completo donde se aprecia la distribución de las 6 placas nuevas, así como las columnas nuevas y las columnas reforzadas (todo en rojo)*

En la planta se observa que en el tramo de la derecha, las luces son mayores que en el resto de ejes, debido a que en el primer piso se tiene un espacio de aproximadamente 6.5m, que sirve de paso para los automóviles y buses que circulan por el interior del colegio.

Nótese que las escaleras son exteriores a la planta y que dos de ellas solamente suben al segundo piso, mientras las otras dos sí suben hasta el tercer piso.

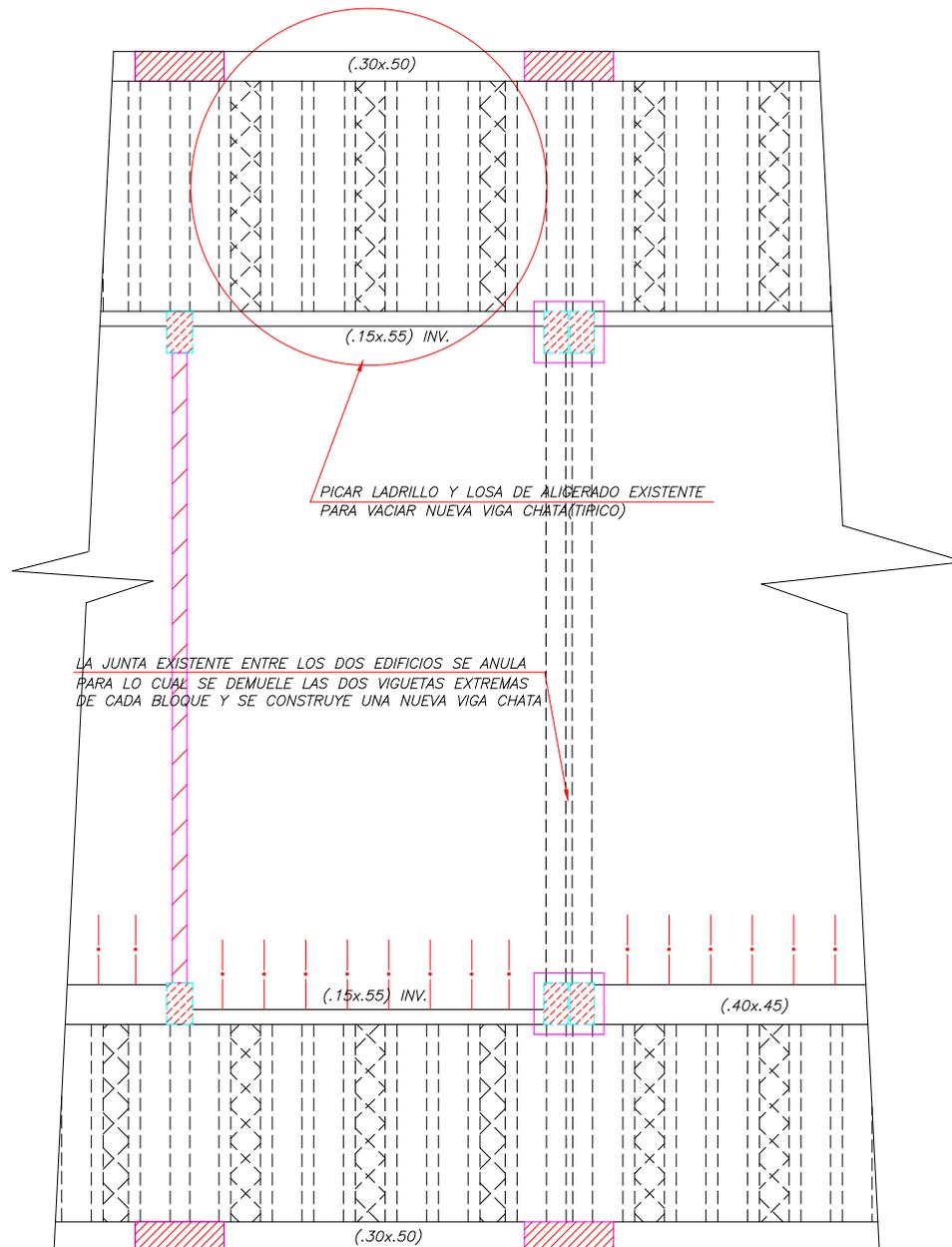
Otra de las consideraciones adoptadas es que en cada piso se tendrán cinco aulas, de iguales dimensiones, de tal modo que haya coincidencia en los muros que las dividen.



*Fachada frontal del pabellón a reforzarse . Se observa al lado derecho el paso de buses y automóviles*



*Escaleras exteriores a la planta. Solo una sube al tercer nivel del pabellón*



*Detalle de refuerzo de zona de volados, se pican los ladrillos de las viguetas y se rellenan de concreto, así como la eliminación de la junta transformando los 2 bloques del pabellón en uno solo*



*Vista del techo del primer piso, donde se observa la inexistencia de vigas peraltadas y el voladizo existente hacia la fachada posterior. Además se observa los huecos hechos para la colocación de nuevas vigas chatas y la construcción de las nuevas columnas de refuerzo..*

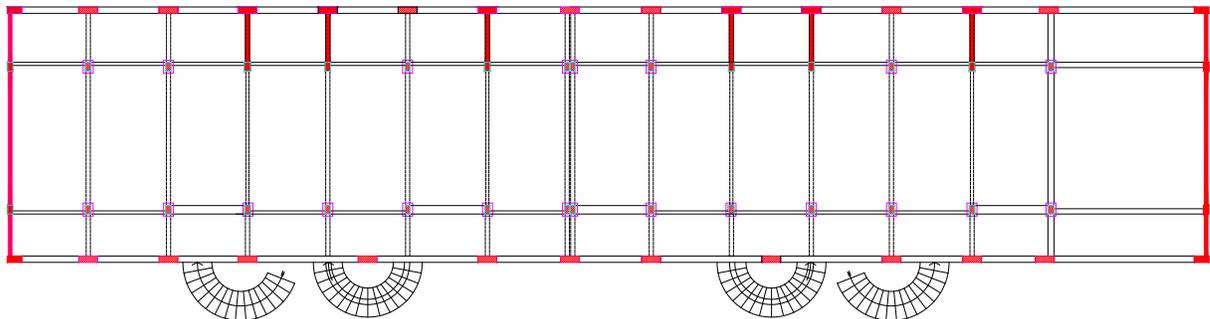


Detalle de refuerzo donde se pican los ladrillos de las viguetas de los volados y se rellenan de concreto así como la eliminación de la junta entre bloque transformándose el pabellón en un solo bloque

Como se decidió que los trabajos eran urgentes y que no se debería esperar el fin de clases, se estudió otra solución que permita realizar trabajos de reforzamiento y paralelamente continuar con el dictado de clases en el segundo y tercer piso. Se consideró entonces la colocación de 6 placas cortas en forma de T en los mismos ejes donde se consideraron las placas originales, pero ubicadas solamente en el espacio del volado posterior, donde actualmente se tiene el volado que sirve de parasol, de tal modo de no afectar a las aulas propiamente dichas. Sin embargo se comprobó que adicionalmente a estas placas de menor longitud, eran necesarias al menos las dos extremas, en el espacio donde sí se tienen aulas, ya que los momentos de volteo en la base en las placas cortas, eran excesivos en relación a la carga axial de ellas.

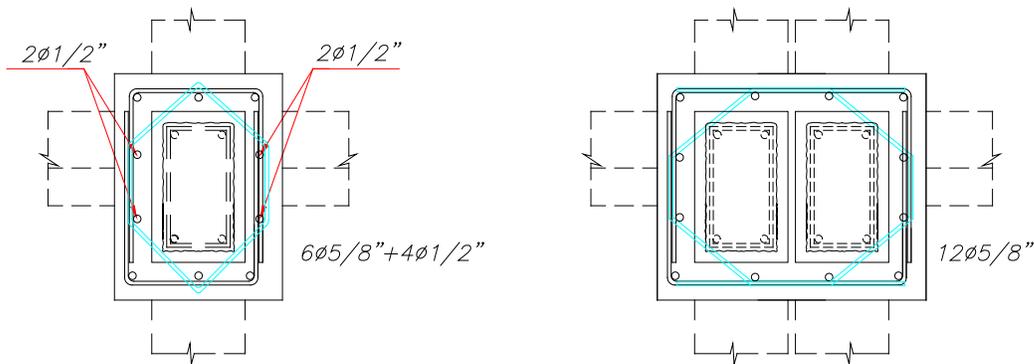
Las placas de los extremos se consideraron de longitud de todo el ancho del pabellón (12.10 m) en el primer piso y se redujeron en 2.30 m en los pisos superiores debido al corredor de circulación que no podía ser interrumpido.

Finalmente se decidió agregar 2 placas adicionales en forma de T, ya no en la división de las aulas, sino en nuevos ejes, con el fin de disminuir los momentos en la base y tener zapatas mas pequeñas, conociendo que éstas no afectaban el funcionamiento de las aulas sino de la zona de las mochilas y maletas de los alumnos.



*Planta del pabellón donde se muestran las 2 placas largas en los extremos así como las 6 placas en forma de T en los tramos interiores (en rojo).*

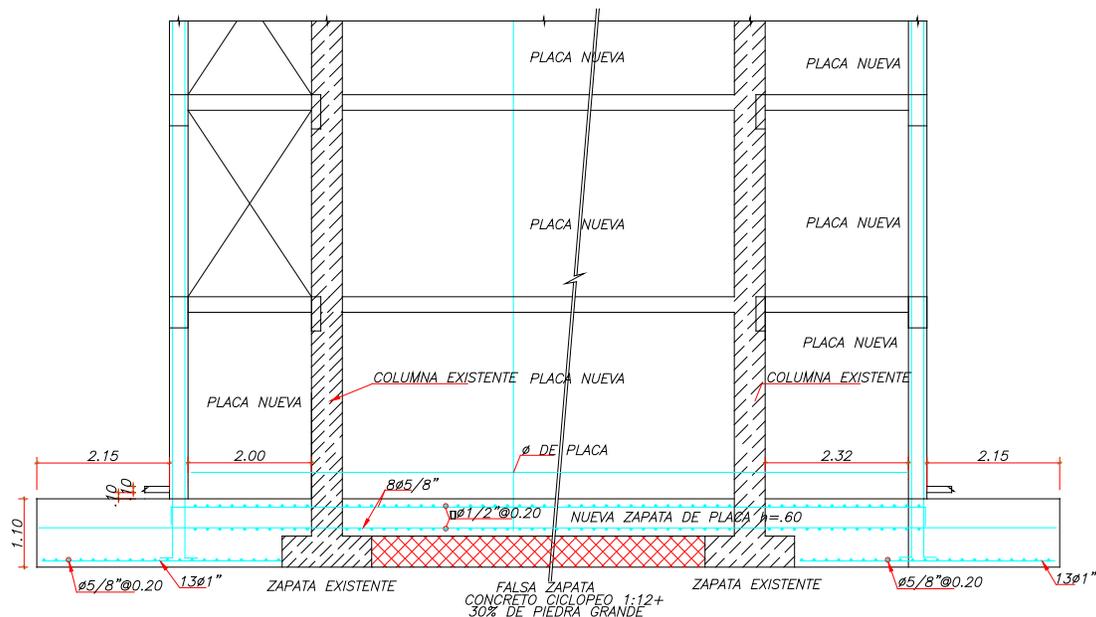
Esta nueva solución fue la definitiva y permite asegurar un buen comportamiento de la estructura, pues dada su longitud era necesario tener varias placas cortas distribuidas en el interior de la planta, de tal manera de no confiar solamente en las placas largas ubicadas hacia los extremos.



*Detalle de refuerzo de las columnas existentes mediante la construcción de una funda que envuelve a la columna existente. Además se muestra el caso de las columnas que formaban la junta entre los dos bloques y que ahora se integran en una sola columna.*

Para las cimentaciones de las placas nuevas, evidentemente se requería de dimensiones en planta mucho mayores que las zapatas existentes, por lo que éstas se usaron como falsas zapatas, colocándose las nuevas, por encima de ellas.

En otros casos se tenía una nueva falsa zapata alrededor de las zapatas existentes y luego encima de ambas se colocaba la nueva zapata.



*Elevación de la placa extrema izquierda, se puede apreciar de los dos volados de 2.15 m hacia los extremos con un peralte de 1.10. Por otro lado se observa como las zapatas existentes viejas sirvieron como falsas zapata para la nueva*

## COLEGIO MARÍA REINA

### Ubicación:

El local de este Centro Educativo se ubica entre las avenidas Santa Cruz, Pardo y Aliaga y Conquistadores, en el distrito de San Isidro.

### Comprende tres zonas:

- Zona de Secundaria
- Zona de Primaria
- Zona del Gimnasio y Bibliotecas
- Coliseo

La parte antigua del colegio colinda con la Capilla y los salones de la parroquia, teniendo ésta su Iglesia principal con frente al Óvalo "Gutiérrez", que es el límite entre los distritos de San Isidro y Miraflores. Las partes más modernas, que hoy son independientes al local parroquial, tienen como frente principal la Av. Pardo y Aliaga y como frentes laterales las avenidas Conquistadores y Santa Cruz.

El primer pabellón del colegio fue construido en la década de los cincuenta, en base a muros de albañilería y pórticos de concreto armado. Su arquitectura muestra ventanas pequeñas, muros y arcos y tiene corredores interiores con aulas hacia los dos lados, lo que le permite tener una adecuada densidad de muros en las dos direcciones.



A la fecha el colegio ha ido creciendo con pabellones de arquitectura más moderna, ventanas mas grandes que fueron estructurados en base a pórticos de concreto.

En el año 2003 nuestra oficina fue contratada por la Asociación de Padres de Familia, con el objeto de hacer una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los pabellones de aulas y estudiar la posibilidad de efectuar alguna ampliación en tercer piso.

Luego del estudio realizado se consideró que era necesario reforzar uno de los pabellones de aulas de secundaria, dado que estaba construido en base a pórticos de concreto armado prefabricados, con muy poca rigidez lateral en la dirección longitudinal o paralela a las fachadas.



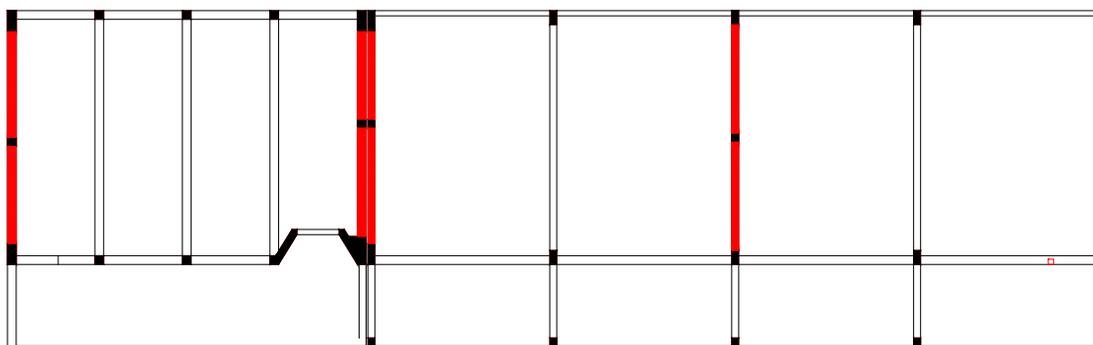
Junta elementos prefabricados



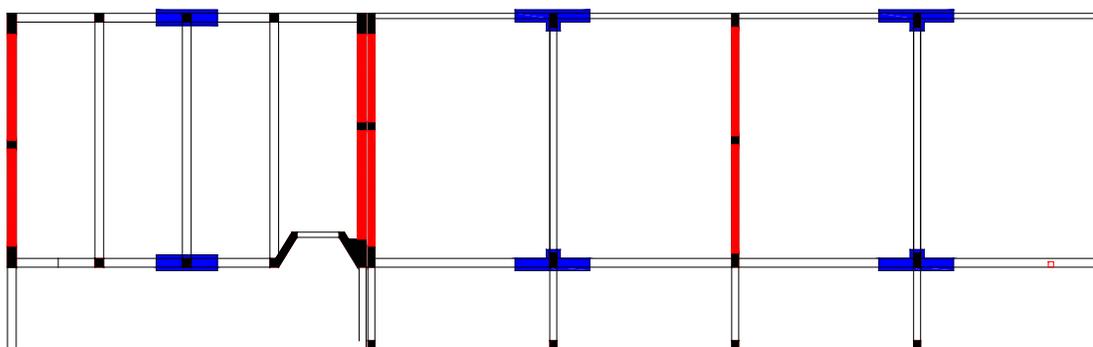
*Fachada posterior del pabellón*

En la siguiente planta se observa la planta de los dos bloques donde se decidió efectuar un reforzamiento. El del lado derecho estaba compuesto por columnas y vigas de ancho 20cm, peraltadas con 50cm en el caso de las columnas y con 60cm en el caso de las vigas principales, teniéndose además muros en los linderos laterales y en la división de las aulas. En la dirección transversal a los pórticos principales, no se tenía ninguna viga peraltada y las columnas solamente tenían un espesor de 20cm, no teniéndose ningún muro que llegue al techo, sino solamente parapetos o alfeizares de las ventanas.

Se decidió efectuar un reforzamiento que aumente considerablemente la rigidez lateral en la dirección longitudinal, colocando una envoltura o funda a las columnas con unas aletas hacia los costados, de manera tal que se forme una columna en forma de T. Como estos nuevos elementos iban a tomar prácticamente todo el cortante sísmico, con su respectivo momento, fue necesario agrandar la cimentación, lo cual fue aprovechado para considerar que ésta tenga capacidad, al igual que las nuevas placas, para soportar un futuro tercer piso

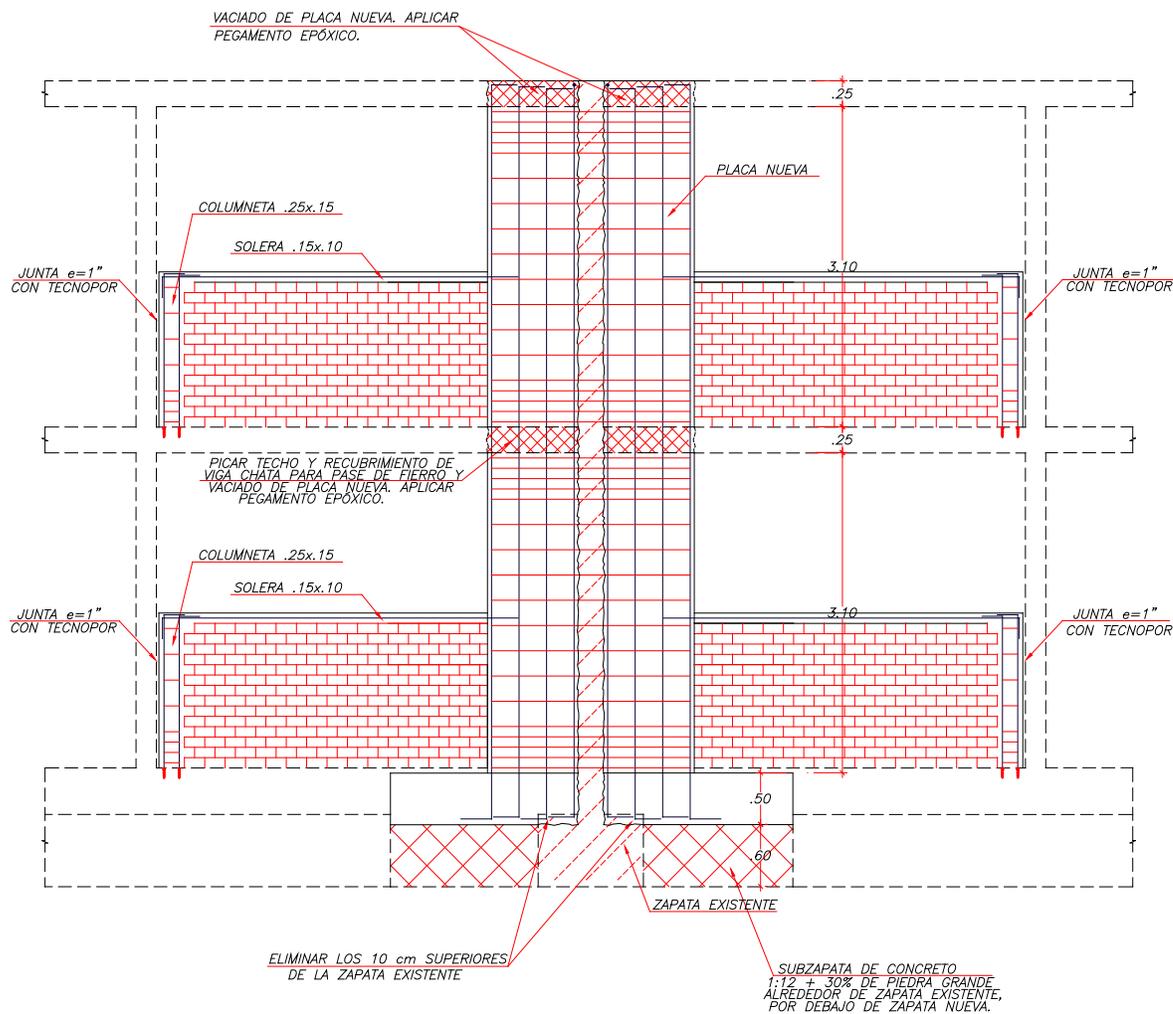


## Estructuración Inicial del Pabellón



## Estructuración Final del Pabellón

*Cambio en la estructuración del pabellón en base al enfundamiento de las columnas existente por nuevas placas en forma de T*



*Elevación de la placa típica de reforzamiento que envuelve la columna exist. Se aprecia además la nueva cimentación considerablemente mayor a la existente que fue usada como parte de la sub-zapta para zapata nueva*

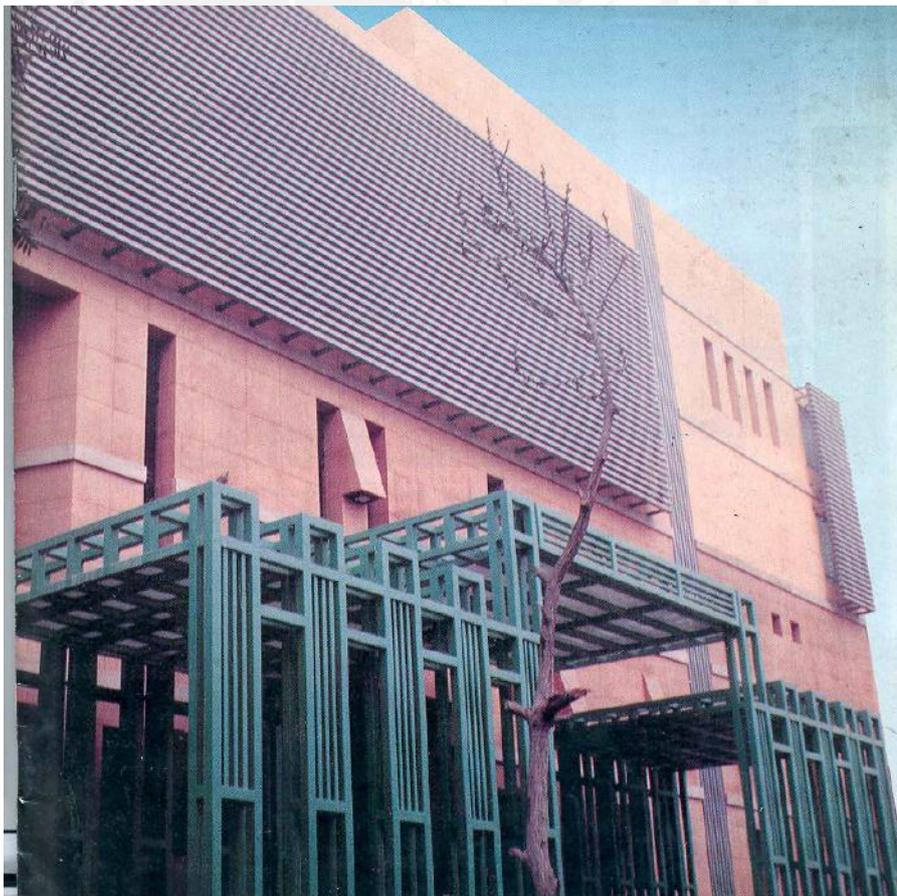
## Capítulo 4

### PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

En el Campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú, nuestra oficina ha desarrollado varios proyectos importantes desde el punto de vista arquitectónico y estructural, como son los pabellones de la nueva Facultad de Arquitectura, la Facultad de Humanidades, el Departamento de Ciencias y Matemáticas, el Coliseo Polideportivo, el pabellón de la nueva Librería ,el local de la Asociación de Egresados y Graduados, el nuevo Comedor Central, el pabellón de oficinas de Admisión, los pabellones de la nueva Facultad de Artes, el nuevo pabellón de Televisión de la Facultad de Ciencias y Artes de la Comunicación, entre otros.

Adicionalmente, en sociedad con el Ing. Gianfranco Ottazzi Pasino se realizó el proyecto del Centro Cultural de la Universidad, ubicado en el distrito de San Isidro.

Mostramos en los siguientes capítulos, tres de estos proyectos, con el fin de explicar características particulares de sus estructuras.



## Facultad de Humanidades de la Pontificia Universidad Católica del Perú

Dentro de los nuevos pabellones de aulas ubicados en el Campus de la Universidad Católica, en el frente que da a la Av. Riva Agüero, se han construido en los años 2001 al 2005 varios bloques de hasta cuatro pisos destinados principalmente a salones del área de letras y humanidades.

Estos proyectos arquitectónicos han sido desarrollados por el arquitecto Fernando Lino, el que ha tenido a su cargo el diseño de varios otros pabellones de la Universidad. Nuestra oficina realizó los proyectos de estructuras por lo que mostramos en este capítulo sus principales características estructurales.

El planteamiento arquitectónico consideró dos edificios de aulas, uno al costado del otro, con un jardín interior y dos edificios donde se ubican las escaleras, los servicios y una zona administrativa, que completaban un área de forma rectangular o cuadrada con el jardín hacia el centro. Se coordinó con las necesidades de la universidad, para que en una primera etapa se construyera los bloques centrales y lateral derecho, de tal manera que luego se continuara con el pabellón de aulas de la zona izquierda.

En la siguiente fotografía se puede observar la primera etapa concluida, observándose que los corredores de los bloques centrales, volaban hacia la izquierda, para luego empalmar con la junta que lo divide con el edificio de aulas del sector izquierdo, que se construyó después.



*Fotografía de la primera etapa construida donde se observa el bloque de escaleras, puentes y oficinas. También se observa ya en un segundo plano, el pabellón de aulas derecho. Se indican las columnas circulares descritas posteriormente, así como los corredores en voladizo*



El planteamiento estructural fue dividir la estructura en cuatro pabellones independientes, uno de aulas hacia el lado derecho, otro de aulas hacia el

lado izquierdo, uno de escaleras y puentes hacia la zona posterior y otro de escaleras, puentes y sector administrativo hacia delante.

En cada edificio se consideraron pórticos con vigas peraltadas en las dos direcciones y placas o muros de concreto armado, también en las dos direcciones de la planta.

En los pabellones de aulas, las vigas principales estaban en la dirección X-X, con las columnas peraltadas en la misma dirección, de tal manera que las columnas recibían adecuadamente a las vigas principales. Hacia la fachada posterior y la fachada anterior se tenían dos muros de concreto armado en toda la extensión, constituyéndose en los ejes rígidos.

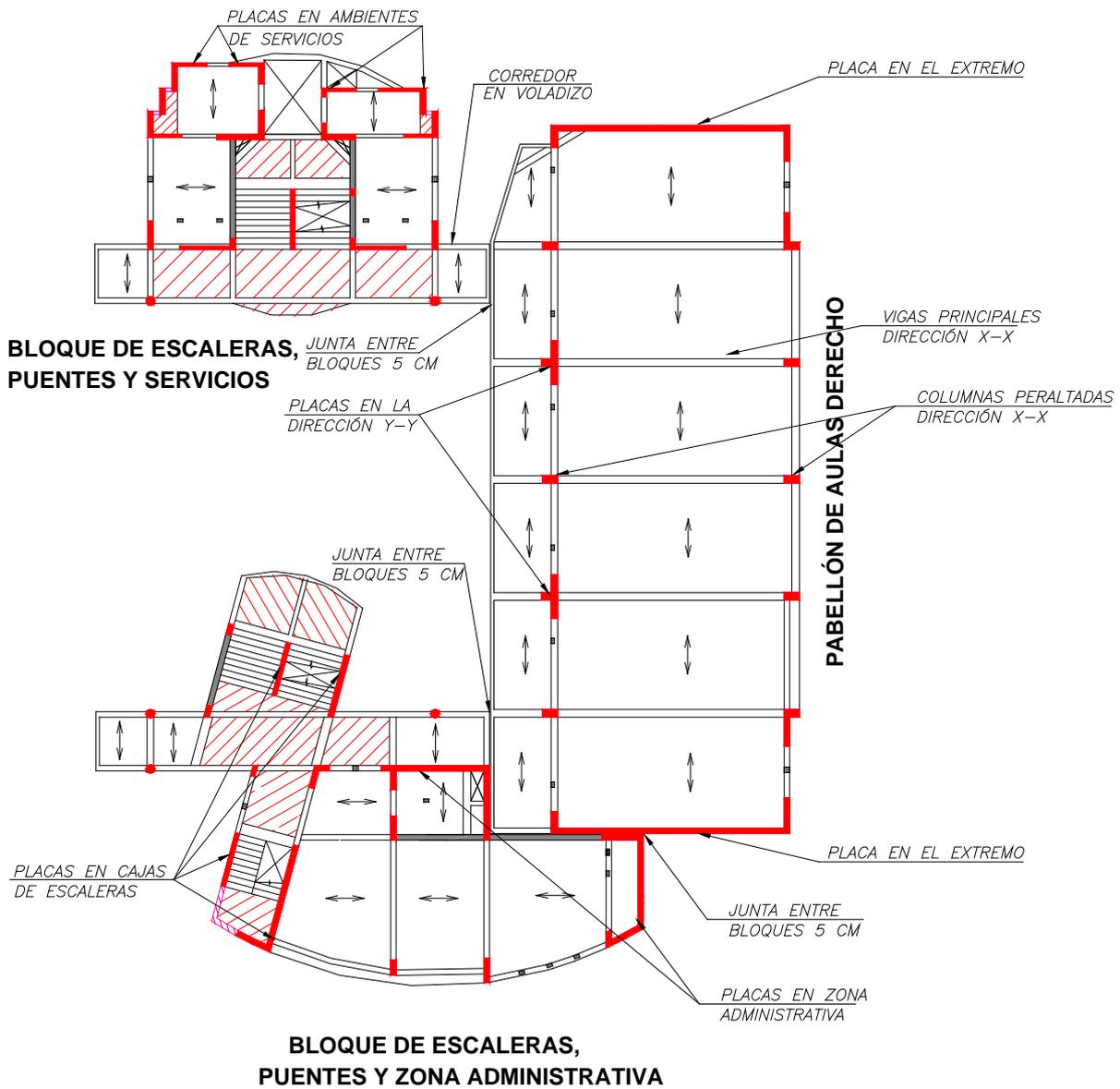
En la dirección longitudinal, los dos ejes que forman las aulas, tenían placas de dimensiones 3m aprox. de tal forma de tener también en esta dirección placas que proporcionan adecuada rigidez lateral.

En el bloque posterior, que tenía una escalera, los puentes de acceso a los pabellones de aulas y los servicios higiénicos, las placas se ubicaron en la caja de la escalera y en los ambientes de los baños, dejando libre de muros a los puentes. En éstos solamente se tenían columnas circulares de 40cm de diámetro, con vigas en volado hacia la zona de contacto con los edificios de aulas.

El bloque anterior, tenía una escalera, los puentes de acceso a las aulas y el bloque administrativo, habiéndose colocado las placas en los ambientes de la zona administrativa y la caja de la escalera, de tal manera de tener simetría con el bloque posterior en la zona de los puentes o pasajes hacia las aulas.

Al tenerse una separación entre ejes de los pórticos principales de 5m, se usó un aligerado convencional de 20cm. La distancia entre columnas (ancho de aulas) era de 7m, por lo que se dimensionaron las vigas con 30cm de ancho y 70cm de altura, teniéndose las columnas en 30x70cm.

En edificios de pocos pisos, debe recordarse que el dimensionamiento de las columnas no se hace en función de la carga, ya que esta es relativamente baja, sino en función de la luz de la viga principal, puesto que al tenerse columnas exteriores, los momentos de las vigas pasan hacia las columnas. En el caso de los últimos techos, los momentos de las vigas pasan íntegramente hacia las columnas y por tanto la columna se comporta como una viga, pues tiene muy poca carga vertical y un momento importante debido a las cargas de gravedad.



## Pabellón de Talleres de la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica del Perú

La Facultad de Arquitectura se crea en el año 2001 y se construye sus primeras edificaciones en el año 2002 y 2003. Dentro de estas se tienen los pabellones de aulas y talleres, que son edificios de tres pisos, ubicados dentro del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en el llamado Fundo Pando, ubicado en el distrito de San Miguel, entre las Avenidas Universitaria y Riva Agüero.

El proyecto de arquitectura fue desarrollado por el Arquitecto Freddy Cooper y contó con la participación de los arquitectos Reynaldo Ledgard y Pedro Belaunde, quienes conforman el equipo directriz de esta nueva Facultad.

La Facultad de Arquitectura de la PUCP contempla la construcción de 3 edificios de 3 pisos destinados a talleres y aulas, conectados entre sí por un corredor tipo puente, pabellones para administración y servicios, aulas de computación y un auditorio al aire libre.

Actualmente ( año 2005 ) se han construido los dos primeros edificios de tres pisos para Talleres, tal como se aprecia en la siguiente vista.



El planteamiento arquitectónico consideraba edificios con talleres bastante grandes, que tuvieran forma cuadrada y de lados aproximados de 17x17m, sin columnas intermedias, de tal manera que en ellos puedan funcionar dos o tres talleres simultáneos, con el fin que los alumnos de diferentes niveles interactúen entre sí. Comparando con las aulas convencionales que se usan en colegios o universidades, un área de 16.5x16.5m o 17x17m resulta ser aproximadamente equivalente a cuatro o cinco aulas convencionales.

El planteamiento estructural para el caso de paños tan grandes puede considerar vigas de 16 o 17m de luz espaciadas cada cierta distancia, apoyadas sobre la viga perimetral, para recibir una losa aligerada de luces normales,

armada sobre ellas. Otra opción, válida para paños cuadrados es considerar vigas cruzadas ubicadas hacia el centro del paño y losas de la mitad de la luz del paño. (En este caso se tendrían paños de 8.0x8.0m), apoyados en las vigas perimetrales y en estas vigas cruzadas hacia el centro.

Cualquiera de las opciones anteriores tendría como desventaja el tener vigas del orden de 16m de luz, que por consiguiente tendrían un peralte importante, variable de 1.3 a 1.5 m, que además producirían cargas concentradas importantes sobre las vigas perimetrales, puesto que se deseaba tener apoyos tipo columnas o placas solamente en los extremos..

En paños grandes y de forma cuadrada, es conveniente usar losas nervadas en dos direcciones, también conocidas como losas encasetonadas o tipo "waffle".

En el caso de estos edificios se estudió diferentes tamaños de casetones, habiéndose ya definido en arquitectura que las distancias a ejes exteriores serían 16.85x16.85m, con elementos perimetrales de 40cm de ancho. Esto se hizo con el fin de encontrar una solución económica, conjugando el espesor de la losa de los casetones con las dimensiones de las viguetas.

Si se colocaban viguetas cada 1m (aprox.), se podría tener una losa superior de 5cm y se tenían 16 viguetas en cada dirección. Si se colocaban viguetas cada 2m (aprox.), se podría tener una losa superior de 7cm y se tendrían 8 viguetas en cada dirección. Comparando los refuerzos de acero y la cantidad de concreto de las dos soluciones se encontró que era mejor tener las viguetas a mayor espaciamiento, lo que además permitía un encofrado más económico.

Se hicieron verificaciones para las deflexiones y se encontró que las viguetas deberían tener 70cm de peralte, incluyendo los 7cm de la losa, con un ancho variable entre 20 y 25cm.

Una vez definida la estructura de la losa de luz libre de 15.85x15.85m, se procedió a encontrar las dimensiones adecuadas para las columnas ubicadas en las esquinas. Mas que columnas, lo que se necesitaba eran cuatro grandes muros, pues ellos serían los únicos elementos que además de recibir la carga vertical de los tres pisos, tendrían que proporcionar la rigidez lateral y la resistencia por cortante y flexocompresión originados por las fuerzas horizontales de sismo.

Si los muros no eran muy largos, se tenía una luz grande para las vigas perimetrales, lo que originaría un peralte demasiado diferente en relación al peralte de las viguetas de la losa nervada. Luego de hacer varios análisis de sismo, con diferentes dimensiones de los muros esquineros y con diferentes peraltes de las vigas perimetrales y luego de coordinar con la arquitectura de las elevaciones deseadas, se encontró que lo mejor era tener vigas de 40cm de ancho por 100cm de altura con luces libres de 10.45m, lo que permitía tener

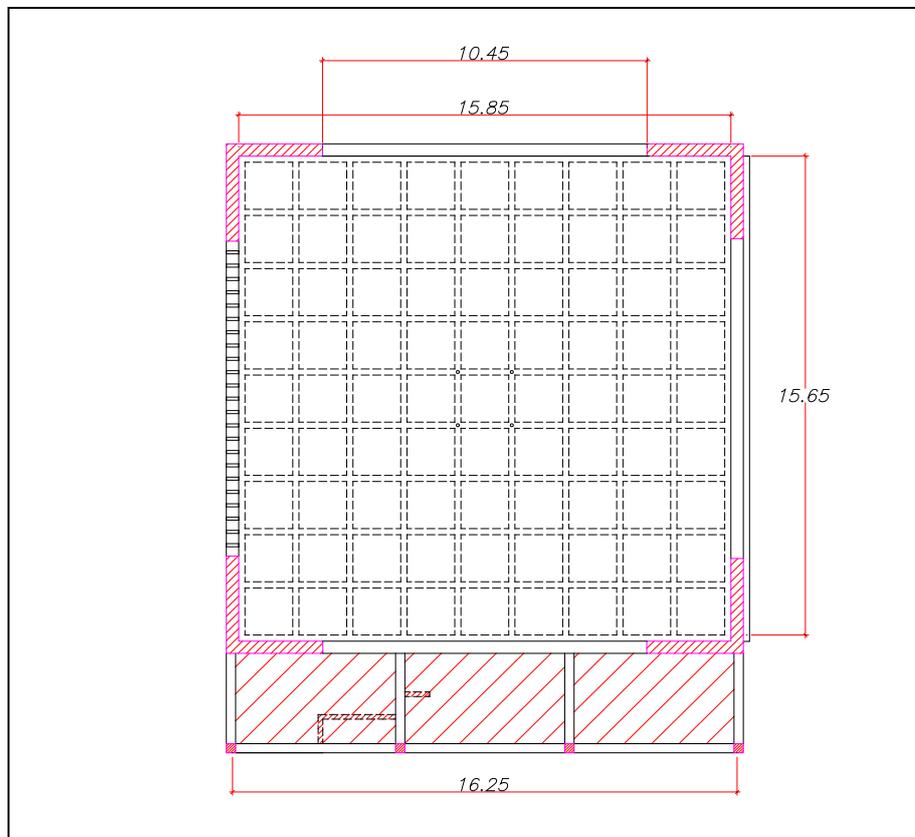
hacia las esquinas muros en forma de L de aproximadamente 3m en cada dirección.

De esta manera solo se tendría 30cm de diferencia entre el peralte de las viguetas nervadas y la viga perimetral, lo cual producía un efecto de dintel perimetral adecuado desde el punto de vista arquitectónico y estructural.



Este tipo de losa es ideal para luces importantes pues tienen nervaduras o viguetas con una losa superior delgada, lo que representa un peso relativamente bajo, teniendo como inconveniente el uso de un encofrado mas caro.

n la figura se puede apreciar la Planta Típica del Pabellón de Talleres



Para este caso en especial se diseñaron casetones con las siguientes características:

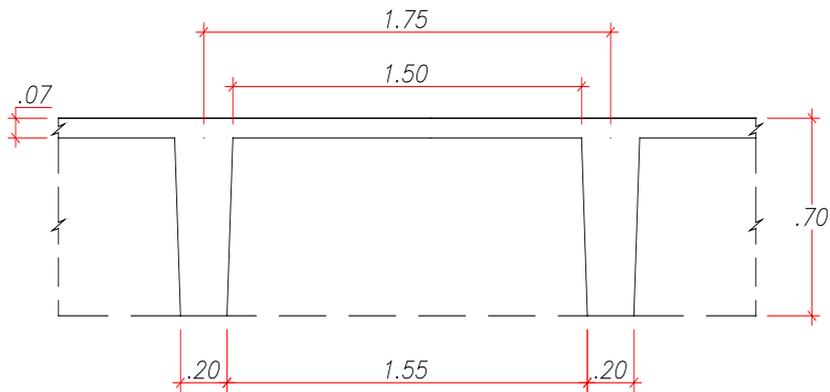
Las separaciones entre ejes de viguetas es de 1.75 m.

Viguetas o nervaduras de 70 cm de peralte, con una base variable de 20 cm a 25 cm, para una luz libre de 15.85m.

Losa superior de concreto de 7cm de espesor.

La figura muestra la sección típica de la losa nervada utilizada.

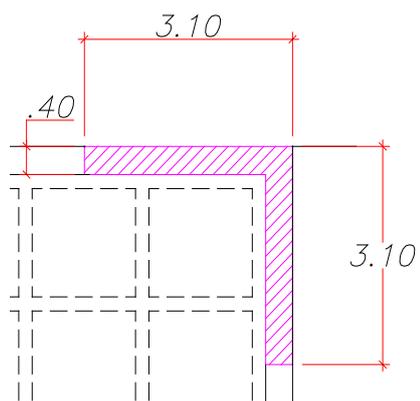
La figura muestra la sección típica de la losa nervada utilizada.



SECCION TIPICA LOSA NERVADA

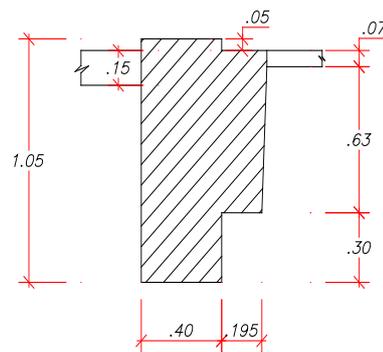
En la siguiente imagen se observa el acabado final de la Losa Nervada.





En la siguiente fotografía se aprecia una de las placas de las esquinas del edificio





*Sección de Viga en los Bordes (.40x1.05)*

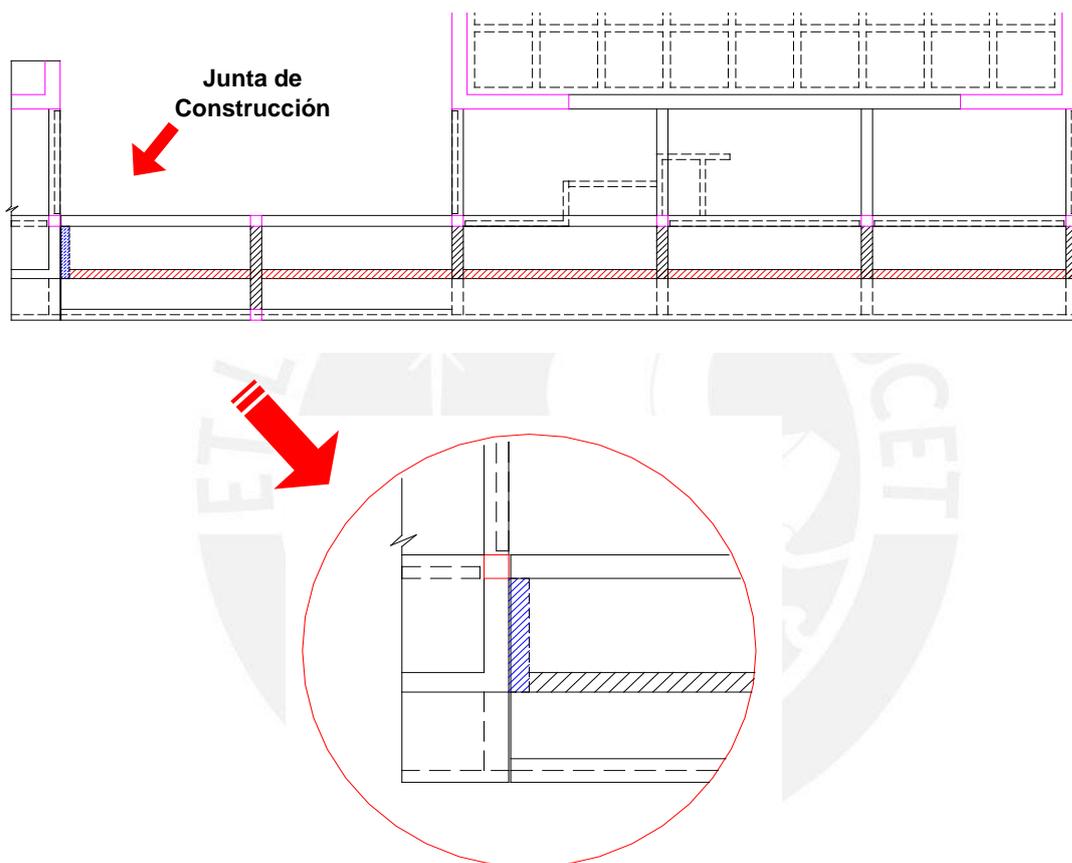
A continuación en la imagen se puede apreciar la viga de 1.05 m de alto y 10.30 m de luz libre, que unen las placas.



Adicional a la losa nervada antes descrita, se tiene un ambiente adicional que comunica con el corredor, el que se sustenta en columnas de 30x30cm, tiene vigas de luces convencionales y vuela hacia el exterior formando el corredor de

comunicación entre los edificios. En este caso se usaron losas macizas de 20 y 15 cm de espesor.

En los corredores, que también sirven como puentes entre los pabellones, se diseñó una viga en el medio por exigencia arquitectónica, como se aprecia en la figura.



En el siguiente detalle y foto se aprecia el braquete, que sirve de apoyo a la losa del puente, con un colgajo en el borde, que oculta el braquete.

Braquete





Junta de  
Construcción



# Coliseo Polideportivo de la Pontificia Universidad Católica del Perú

## Características del Proyecto

El Coliseo Polideportivo de la Pontificia Universidad Católica del Perú, es un espacio multifuncional cuyo diseño arquitectónico se realizó con el objeto de conseguir un ambiente flexible que sirva para actividades deportivas, culturales y académicas.

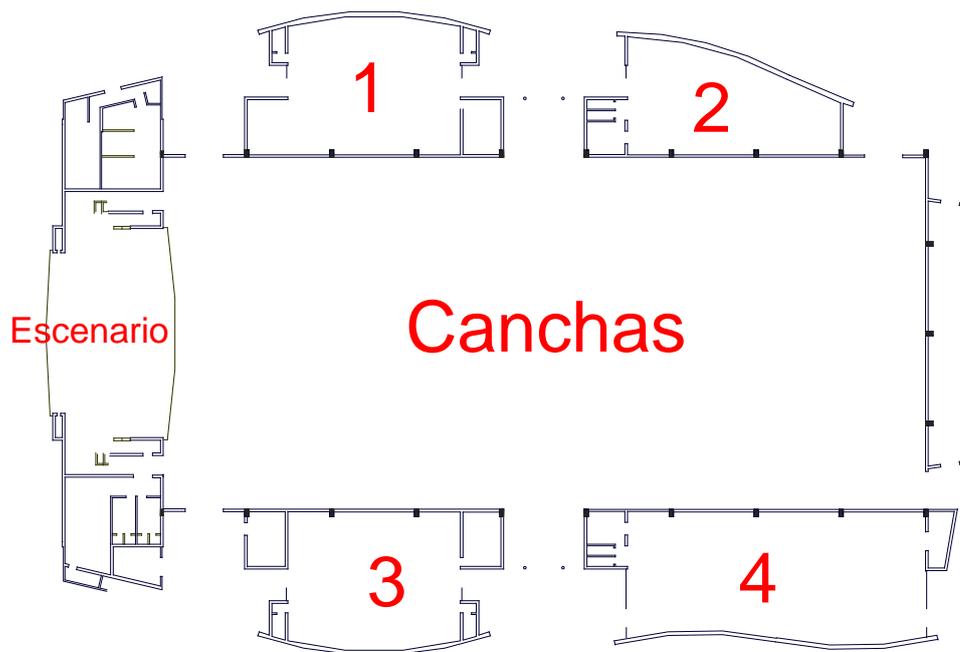


La Arquitectura fue desarrollada por la compañía Puerta de Tierra, conformada por los arquitectos Renato Grasso, Jose Luis Velez y Emilio Gomez de la Torre.

## Aspectos Particulares

El coliseo tiene cuatro ambientes destinados a la práctica de deportes específicos, tales como:

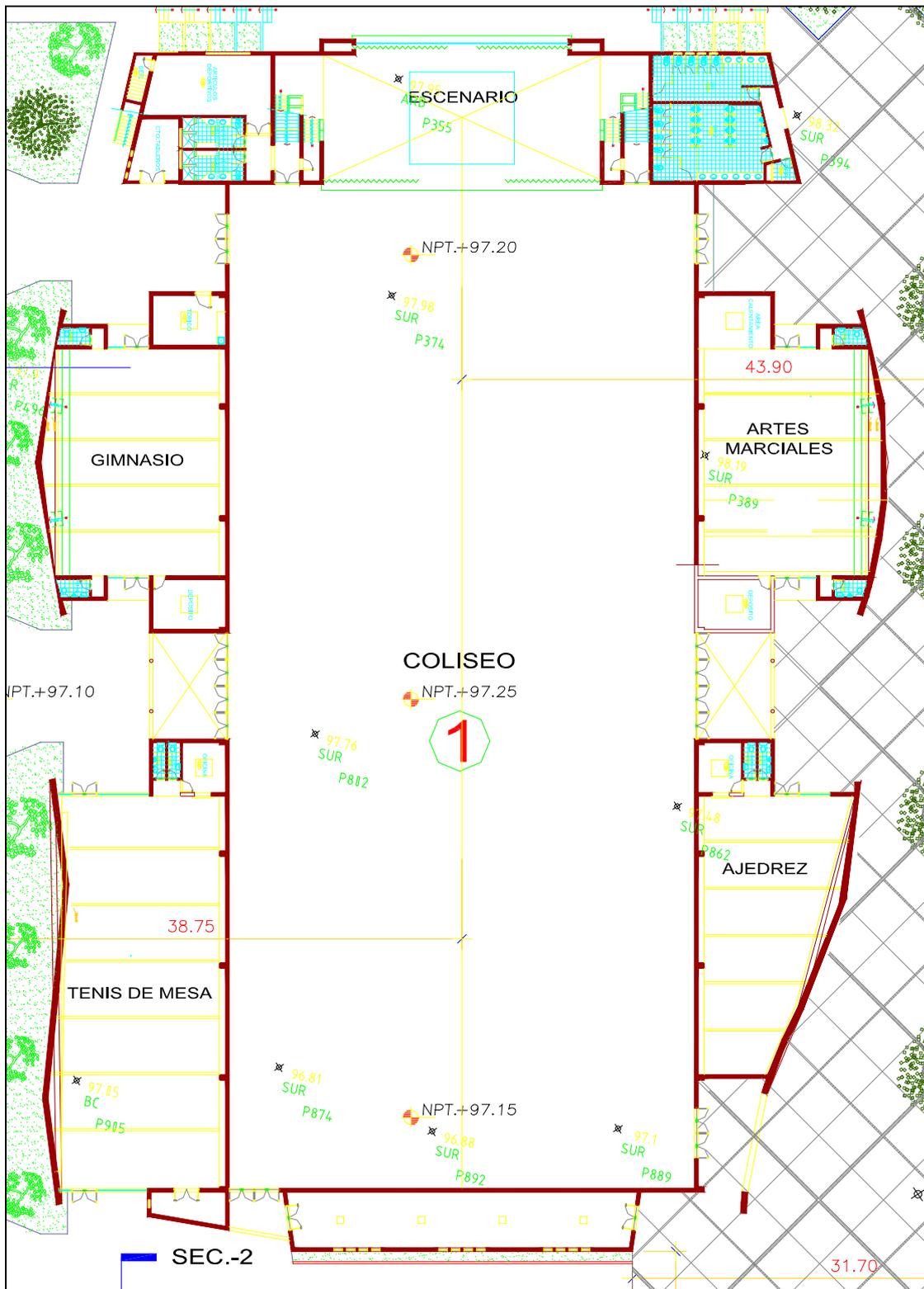
1. Artes Marciales
2. Ajedrez
3. Tenis de Mesa
4. Gimnasio



El espacio del coliseo se subdivide en tres canchas deportivas, donde una es reglamentaria para campeonatos importantes. Estas son divididas gracias a cortinas enrollables, ubicadas estratégicamente, que logran estas áreas independientes una de otra.

El coliseo cuenta además con un escenario para actuaciones masivas, el cual puede usarse para el interior o para el exterior.

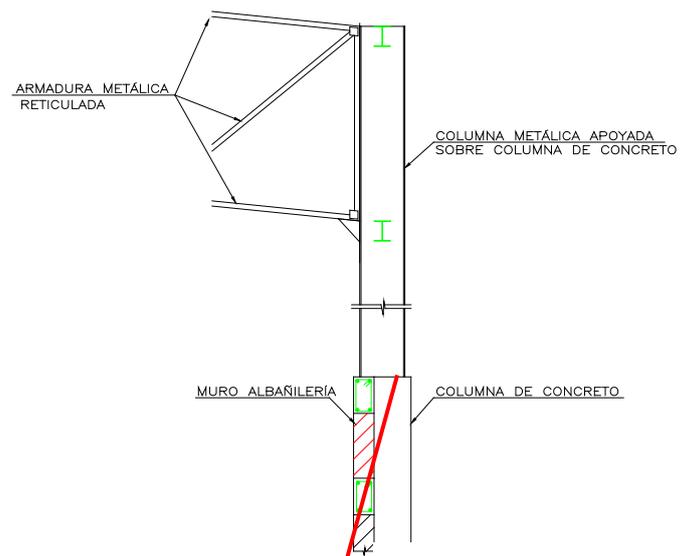
A continuación podemos observar el plano del Coliseo.



## Aspectos Estructurales

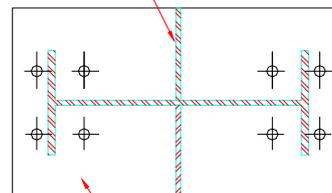
Las estructuras están conformadas por:

- Una nave principal de 72 x 33 m con muros y columnas laterales de concreto hasta los 4 m de altura y columnas metálicas que reciben armaduras reticuladas de acero a 10 m de altura.



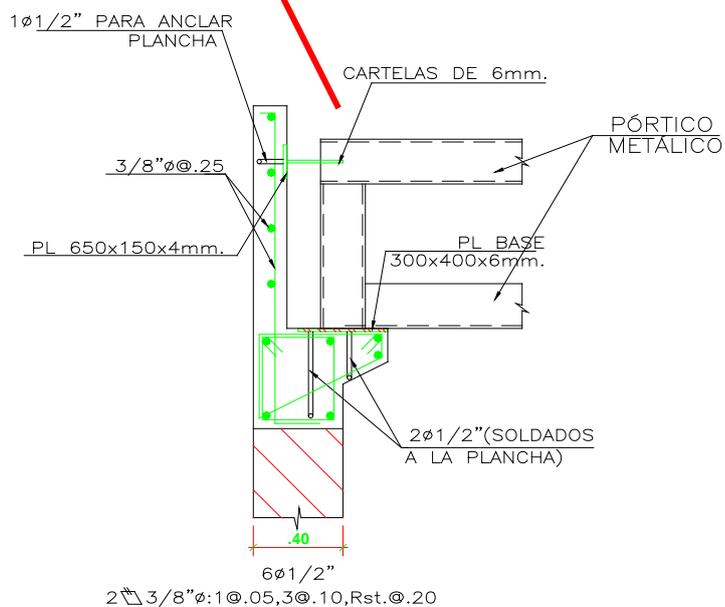
Detalle unión columna de

PLANCHA 12mm. DE FORMA TRIANGULAR DE LADO DEL LADO 18cm.



PLANCHA 12mm. CON 8 PERNOS DE 5/8" Ø QUE PENETRAN 0.90m. EN LA COLUMNA DE CONCRETO.

- Cuatro naves secundarias ubicadas hacia los costados de la nave principal con muros de albañilería confinada que reciben pórticos metálicos conformados por una brida superior, una brida inferior y montantes (sin diagonales), destinadas a: Tenis de mesa, ajedrez, artes marciales y aeróbicos



Detalle braquete sobre muro de albañilería que recibe al pórtico metálico

- Un escenario ubicado en un extremo de la nave principal, que es una estructura de tres pisos en concreto armado, donde se ubican los servicios higiénicos, sala de artistas, sala de invitados especiales y el escenario propiamente dicho. La cobertura superior del escenario es una estructura metálica reticulada camerinos.



Fotos de acabado final del depósito

- Losa de concreto armado con características especiales, que sirve como falso piso del acabado de las canchas deportivas de la nave principal.

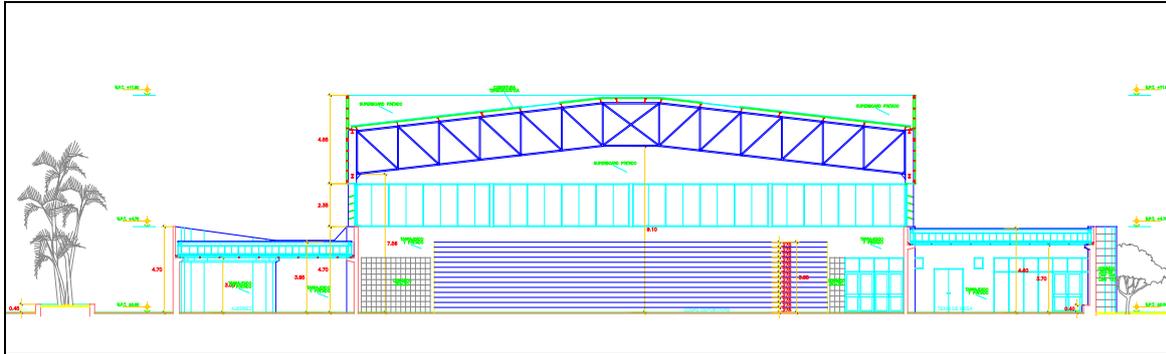
El coliseo cuenta además con un escenario para actuaciones masivas, el cual puede usarse para el interior o para el exterior.

### **Losa de Piso**

El Coliseo Polideportivo cuenta con una losa de 33 m de ancho por 72 m de largo, teniendo como principal característica el no presentar juntas ni fisuras, para instalar un piso especial tipo caucho de 8mm de espesor, que es la última tecnología para canchas deportivas reglamentarias de basket, voley y fulbito.

La losa fue diseñada con 17cm de espesor y para no requerir de juntas, fue armada con doble malla de acero corrugado, considerándose vaciados continuos de franjas o bandas de 3.5 m de ancho por 72 m de largo.

## Estructura reticular de la cobertura de la nave principal



Las armaduras de la cobertura principal están espaciadas cada 8 m y tienen una altura de 2m. Entre la brida superior y la brida inferior, cubriendo una luz libre de 33 m.

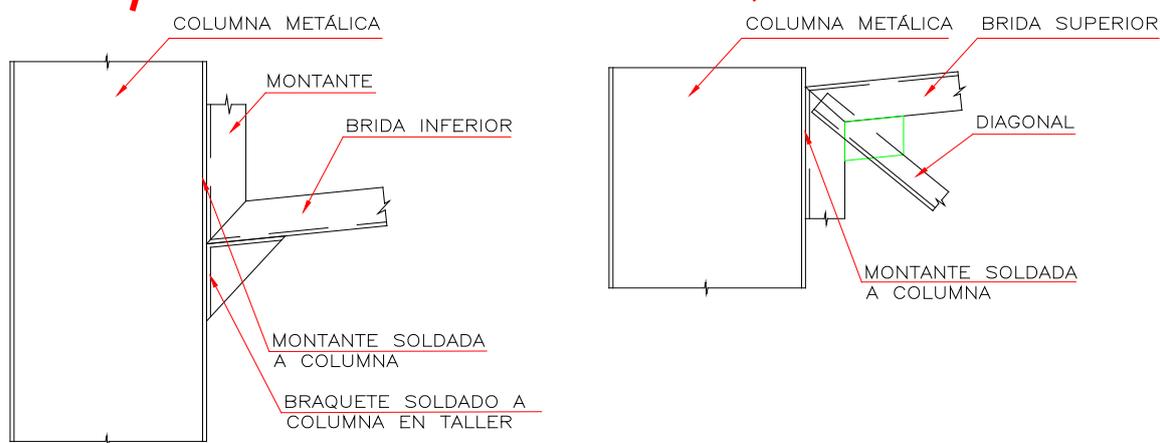


Entre ellas se dispusieron viguetas o correas con planchas metálicas ligeras, como se puede apreciar en la imagen.



Las armaduras principales fueron modeladas como estructura reticuladas con barras articuladas en los nudos, teniéndose las bridas superior e inferior continuas.

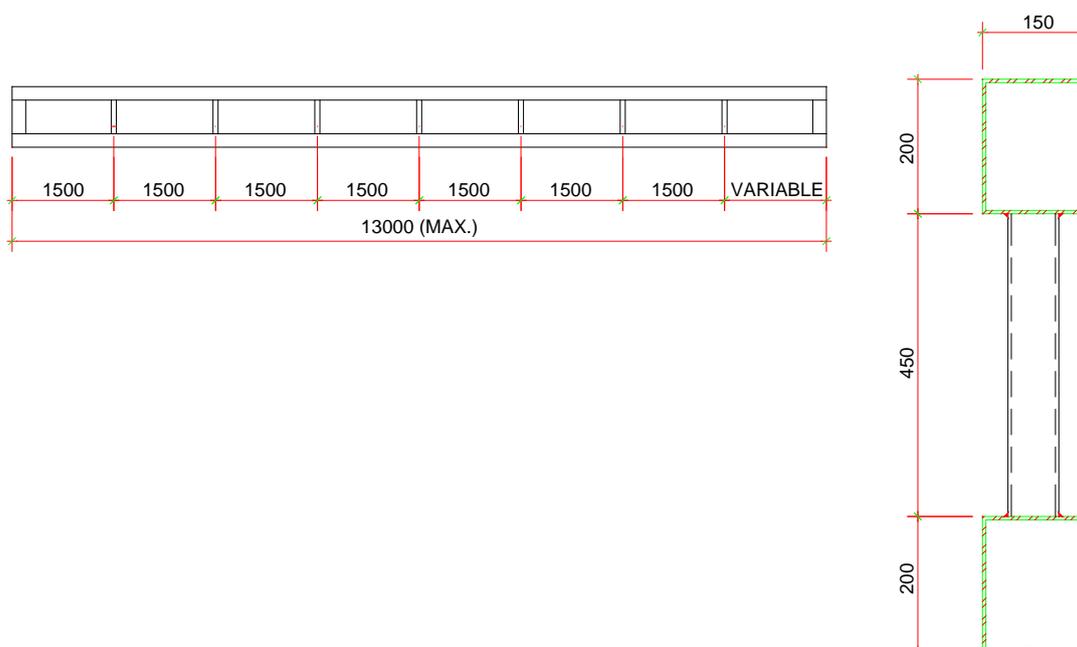
La unión con las columnas fue modelada considerando continuidad para momentos y adicionalmente se hizo un análisis considerando apoyo articulado, para considerar alguna imperfección en la soldadura de la unión y la situación del montaje inicial.



Detalle de unión armadura columna que con transmisión de momentos.

### Estructura tipo VIERENDEEL para las cuatro naves auxiliares

Las naves auxiliares tienen un ancho variable, siendo la luz máxima de 13.20 m. La cobertura esta conformada por "Vigas Vierendell" con una altura de 85 cm., con bridas de 20cm de altura y una ventana de 45cm.



Elevación y sección de la viga Vierendell

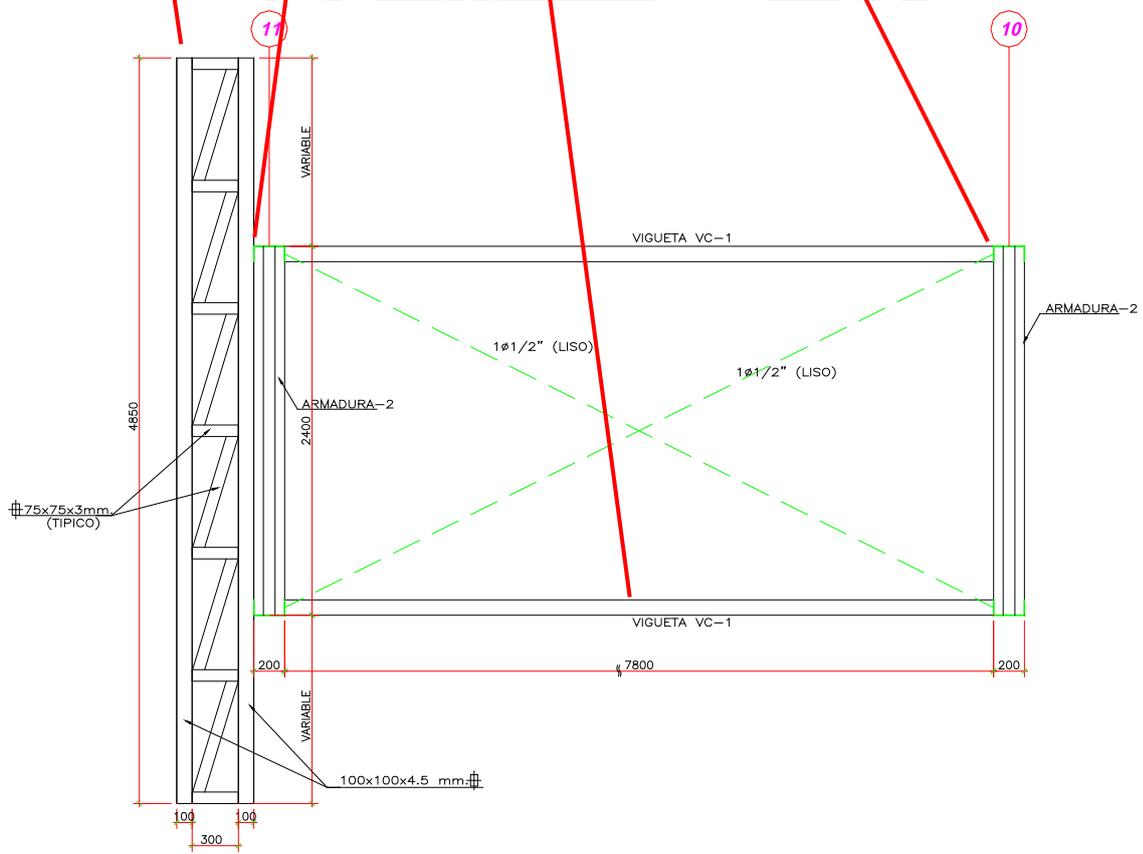
### Estructuras metálicas para cerramientos laterales de la nave principal

Se tiene en el perímetro de la nave principal, cerramientos metálicos conformados por armaduras reticuladas que están ubicadas en un plomo diferente al del tejado principal, para lo cual se ha diseñado armaduras en volado.



En las fachada lateral, se tenía una última armadura reticulada, igual a todas las interiores. Sin embargo, desde esta última salen en volado otras armaduras transversales que tienen como función el soportar un cerramiento vertical de altura constante, que luego se recubre con planchas ligeras tipo Drywal





La existencia de este volado, hace que se generen esfuerzos de torsión en la última armadura principal, por lo que se decidió colocar una vigueta inferior, adicional a la vigueta superior, que una la brida inferior de la armadura exterior con la brida inferior de la primera armadura interior, de tal manera que la acción del volado, que produce una fuerza de compresión perpendicular a la brida inferior, sea controlada por la unión de las dos armaduras, tal como se aprecia en el detalle y fotografía anterior.

Debe indicarse que el cerramiento ha sido calculado para soportar la presión del viento, que de acuerdo a la Norma de Cargas Peruana debe considerarse en 75km/hora, para alturas de hasta 10m sobre el piso, lo que equivale a una presión del orden de 25kg/m<sup>2</sup>.

Para los cerramientos de las fachadas longitudinales, el tratamiento fue similar, aún cuando en este caso no existía el volado anterior, sino que las columnetas del cerramiento se adosaban a las columnas principales de la estructura. Este cerramiento algunas aberturas cuadradas en algunos paños. En los siguientes detalles y fotografías se aprecian las estructuras de estos cerramientos.

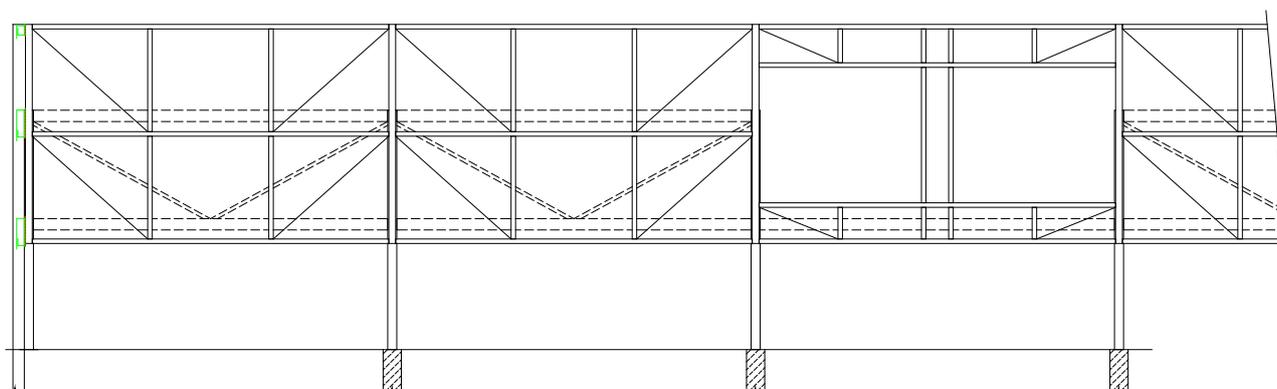


Diagrama de las estructuras del cerramiento lateral. Los elementos con línea punteada se encuentran en el plano anterior al eje de las columnas mientras que los de línea continua están al plomo exterior de las columnas

-----