INFORME FINAL

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DETALLADO DE REFUERZO DEL HOSPITAL DE PRIMER NIVEL DE ATENCION DE OLAYA

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD – FONDO PARA PREVENCION DE EMERGENCIAS, CONTRATO CCS-048-99

BOGOTA, DICIEMBRE 1999

TOMO 1

INDICE

Introducción
Descripción de la problemática
Exploración y Estudio de Suelos
Recomendaciones Geotécnicas
Exploración Estructural y Estudio de Planos
Resumen y Recomendaciones Conceptuales Iniciales
Modelación y Metodología de Análisis
Caracterización de la Amenaza Sísmica para Bogotá
Estudio de Vulnerabilidad
Análisis de Riesgo y Estimación de Perdidas
Evaluación de Resultados y Propuestas de Reforzamiento
Mecanismos de Toma de Decisiones y Selección de Reforzamiento
Anexos

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SISMICA ESTRUCTURAL, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y DISEÑO DETALLADO DE REFUERZO DEL HOSPITAL DE PRIMER NIVEL DE ATENCION DE OLAYA

1.0 INTRODUCCION Y DESCRIPCION DE LA PROBLEMATICA

La Secretaría Distrital de Salud por intermedio del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, desarrolla desde hace algún tiempo el plan de Estudios de Vulnerabilidad Estructural y Reforzamiento del Sistema Hospitalario de Santafé de Bogotá. En este caso se trata del ***Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural y de Reforzamiento del hospital de Nivel 1, OLAYA***.

El proceso de evaluación, diagnóstico y reforzamiento de las estructuras, descrito en el presente informe sigue lo ordenado por la ley 400 de 1.997 y su decreto reglamentario 33 de 1.998 contenido en el NSR-98, el cual dedica el capítulo A-10 a las edificaciones construidas antes de la vigencia de dicha norma.

DESCRIPCION GENERAL DE LAS EDIFICACIONES	
El ***Hospital de Usme*** fue construido aproximadamente hace 35 años, tiene un área total construida de 1250 m^2 desarrollada en una altura de tres niveles contra la Calle 10 Sur y en un piso para el resto del proyecto. Este se encuentra localizado en la Carrera 1 Este # 10-35 Sur.	El ***Hospital de Tunjuelito*** fue construido también aproximadamente hace 35 años, tiene un área total construida de 650 m^2 desarrollada en una altura de tres niveles. Este sufrió modificaciones en su estructura en los años de 1995 y 1996. Este se encuentra localizado en la Av. Caracas # 51-21 Sur.
El ***Hospital de Chapinero*** fue construido aproximadamente hace 30 años, tiene un área total construida de 1550 m^2 desarrollada en un solo nivel. Este se encuentra localizado en la Calle 66 # 15-41.	El ***Hospital Olaya*** fue construido aproximadamente hace 30 años, tiene un área total construida de 1400 m^2 desarrollada en tres niveles. Este sufrió modificaciones en su estructura en los años de 1991 y 1996. Este se encuentra localizado en la Carrera 21 # 22-51 Sur.

Tal como se observa en el cuadro anterior, todos los hospitales fueron diseñados y construidos antes de la entrada en vigencia del primer Código Sismo resistente Colombiano (CCCSR-84) y de la última norma NSR-98. La Ley 400 de 1.997 obliga a su refuerzo y

homologación, toda vez que las instalaciones hospitalarias, deben estar garantizadas para su cabal funcionamiento especialmente después de un sismo.

2.0 EXPLORACIÓN Y ESTUDIO DE SUELOS

Esta actividad fue ejecutada por nuestro asesor geotécnico el Ingeniero Augusto Espinosa de la firma AREAS y consistió para cada hospital, en la ejecución de sondeos, barrenos manuales y apiques, con los cuales se clasificaron los globos de terreno específico de cada hospital. El alcance de este trabajo de exploración se presenta a continuación para cada uno de los hospitales, el cual contiene además la clasificación de las zonas dentro del estudio de microzonificación de Bogotá.

Con los apiques se verificaron los tipos y cotas de cimentación, la existencia de vigas de amarre y se comprobó el estado y características de la cimentación. Con las muestras extraídas de los sondeos y apiques se procedió a los correspondientes ensayos de laboratorio y a la redacción del informe de suelos, el cual se incluye en los anexos y contiene todas las recomendaciones que desde el punto de vista geotécnico se deben tener en cuenta para el estudio en cuestión.

Al finalizar el Estudio todos los sitios afectados por los apiques fueron reparados adecuadamente en superficie afinada en mortero y tratando de dar el acabado original de las edificaciones.

A continuación se presentan las conclusiones más importantes de las exploraciones geotécnicas.

En este punto se han estudiado los edificios existentes con el fin de conocer su planteamiento estructural y de verificar su comportamiento ante cargas sísmicas, varios años después de su construcción, cuando en el lapso se han promulgado dos normas

sismo-resistentes y se ha avanzado considerablemente en recursos computacionales y en la comprensión del fenómeno sísmico.

Los requerimientos que han surgido de los análisis son, tanto de origen estático como de orden dinámico, y están encaminados a corregir anomalías de diseño original y a mejorar el comportamiento ante futuras solicitaciones dinámicas.

El edificio principal de cada uno de los hospitales requiere unidad entre sus componentes, en caso de fuerzas de origen sísmico, y que la cimentación no sufra asentamientos permanentes como resultado de la sobrecarga proveniente de las oscilaciones. Se conoce de otros casos en la Sabana de Bogotá, donde edificios ya en equilibrio bajo cargas estáticas, han sido puestos en movimiento por la acción sísmica reciente. Ejemplos de este caso se vivieron durante los sismos de Murindó (92), Tauramena (95) y Calima (95).

Se ha contemplado positivamente la opción de excavar zapatas continuas, bajo o en las cercanías de las cortinas de refuerzo. Estos elementos estarían concebidos de tal manera que brinden a la cortina la posibilidad de desarrollar un par de fuerzas equivalentes al momento del vuelco. Los suelos existentes en los hospitales estudiados son favorables a esta posibilidad porque permiten la excavación con métodos convencionales, sin flujo o colapso.

Los edificios secundarios son en general de poca altura, y seguramente no requerirán refuerzo en la cimentación sino únicamente en la estructura, cuando ésta se encuentre deficiente. En caso de requerir elementos nuevos en la cimentación será posible apelar a las soluciones que se dan más adelante.

Como resumen se han identificado los siguientes puntos que, de una manera u otra forma, son determinantes en el planteamiento de la solución:

- El CAMI de Olaya, por su parte, esta emplazado sobre arcillas duras interestratificadas con materiales granulares dejados allí por los antiguos cursos del río San Cristobal y el canal de La Albina.

- El perfil está constituido básicamente por arcillas duras con capitas de arena y gravilla, características de las riveras de los ríos.

- Se trata de materiales firmes y muy firmes, que exhiben bajos contenidos de humedad natural.

- El agua libre detectada parece corresponder a bolsas entrapas en el relleno y la arcilla más superficial.

3.0 RECOMENDACIONES GEOTECNICAS

Las recomendaciones de cimentación que se han considerado son las siguientes:

1. La cimentación se hará mediante zapatas individuales o corridas, según la modulación estructural.

2. En el **Cuadro No. 1** se presentan las condiciones de apoyo y profundidad de cimentación para cada uno de los hospitales.

Cuadro No. 1 – RECOMENDACIONES DE CIMENTACIÓN

HOSPITAL	CIMENTACIÓN			OBSERVACIONES
	Capacidad admisible σ_a [kg/cm^2]	Profundidad de Aplicación D_f (m)	Estrato de Fundación	
1. CHAPINERO	0.8	0.8	Limo carmelito [Estrato II]	
2. USME	1.8	0.8	El estrato de fundación será el descubierto al excavar en el momento de hacer las obras de reforzamiento	Deberá garantizarse la remoción total de la arcilla asfáltica NEME bajo los cimientos.
3. OLAYA	2.0	$\geq$ 1.0	Arcilla limosa; amarilla [Estrato III]	Bajo los cimientos deberá removerse el relleno mixto y el limo orgánico superficiales.
4. TUNJUELITO	1.2	1.0	Arcilla rojiza [Estrato III]	

3. Cuando los materiales de deficiente calidad [relleno superficial, capa vegetal, Neme, materia orgánica] lleguen a profundidades superiores a la indicada para la

cimentación, serán retirados hasta llegar al estrato subyacente. El nivel de cimentación será recuperado mediante concreto ciclópeo.

4. Bajo cada zapata se hará una preparación en rajón o piedra, según el caso, y se le colocará una capa de concreto pobre de espesor mayor o igual a 0.07 m.

5. Las zapatas se colocarán en una excavación seca, limpia, libre de escombros, preparada como quedó dicho, con la aprobación del Ingeniero de Suelos.

6. Las vigas de amarre serán dispuestas en una u otra dirección, dimensionalmente para transmitir un 5% de la carga de la columna adyacente, en una u otra dirección.

7. En las zonas donde se requiera placa de piso ésta será en concreto con refuerzo de temperatura, salvo recomendación especial del Ingeniero Estructural, y tendrá un espesor mínimo de 0.10 m. Será fundida en tablero de ajedrez o en tiras longitudinales con junta machi-hembrada. Estará apoyada en una base de recebo de 0.30 m. de espesor mínimo.

8. Perimetralmente a la estructura, en donde sea posible, se deberá construir un andén en concreto de 1.0 m. de ancho mínimo con el objeto de proteger los cimientos de las variaciones atmosféricas.

9. Las aguas lluvias serán recogidas mediante canales y bajantes para ser conducidas adecuadamente a la red de aguas lluvias correspondiente.

10. Deberá evitarse siembra de árboles frondosos en las cercanías de las construcciones; en las zonas donde ya exista éste tipo de vegetación deberá prodigarse riego permanente, especialmente en las estaciones secas. Se trata de esta forma de mantener estable el nivel de aguas libres subsuperficiales.

Parámetros Sísmicos

La ciudad de Santafé de Bogotá y sus alrededores se encuentran en una zona de amenaza sísmica intermedia de cuerdo a las disposiciones de la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-98 [Decreto 33 del 9 de enero de 1998].

De acuerdo con este estatuto el análisis estructural sísmico de las edificaciones, así como la evaluación de la influencia del suelo, deberán llevarse a cabo con los parámetros contenidos en el **Cuadro No. 2**.

Cuadro No. 2 - REQUERIMIENTOS SÍSMICOS

HOSPITAL	MICRO-ZONIFICACIÓN	NSR – 98 PARÁMETROS SÍSMICOS			
		GRUPO DE USO = III			
		Perfil del Suelo	S	Aa	I
1. CHAPINERO	Zona 2	S- 4	2.0	0.2	1.2
2. USME	Zona 1	S- 1	1.0	0.2	1.2
3. OLAYA	Zona 5	S- 2	1.2	0.2	1.2
4. TUNJUELITO	Zona 2	S- 2	1.2	0.2	1.2

4.0 RECONOCIMIENTO, EXPLORACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTUDIO DE PLANOS

La exploración estructural en cada caso consistió en la definición de la configuración geométrica de cada hospital así como de la exploración de los materiales de cada uno. Adicionalmente se llevó a cabo una labor de verificación de los planos y estudios existentes en el sitio para cada instalación.

A continuación se describe cada una de las estructuras y sus características y su geometría se puede observar en los planos anexos.

HOSPITAL DE OLAYA

El hospital de Olaya se encuentra localizado en la Carrera 21 # 22-51 Sur y su estructura se desarrolla en dos edificaciones, una de tres niveles y otra de uno solo. Se procedió a la consecución de los planos arquitectónicos, con el fin de actualizar la información y determinar que se encuentren igual a la realidad, en cuanto a la ubicación y determinación de la estructura.



FACHADA PRINCIPAL HOSPITAL DE OLAYA

El hospital de Olaya en la parte correspondiente a la atención a las personas, zona objeto del estudio, se encuentra construido en tres pisos el edificio antiguo y una ampliación en un piso. El tercer nivel del edificio alto, desde su construcción fue destinado para Jardín Infantil perteneciendo al Bienestar Social del Distrito. De acuerdo a lo anterior se puede afirmar que el proyecto se desarrolló en dos etapas. La primera se construyó con una cimentación para columnas con zapatas de 2.10 X 2.10, a una profundidad del nivel del hospital de 0.88m. Para sostener los muros se construyó una cimentación con concreto

reforzado con dimensiones de 0.40 X 0.30 la cual no amarra la columna de acuerdo a los tres apiques de cimentación realizados. Las columnas se exploraron con una dimensión de 0.30 X 0.40 m con 4 varillas #8 lisas longitudinalmente y flejes #3 c/0.30 m.

En el edificio alto, para sostener la placa de entrepiso, la cual es prefabricada, se le construyeron a las columnas unas ménsulas y sobre estas se apoyaron vigas prefabricadas de 0.40 X 0.25 m. En estas vigas se apoyaron los prefabricados en forma de T que arman la placa que tiene una longitud de 15m aproximadamente. Sobre la viga prefabricada se construyó otra de 0.30 X 0.48 m, la cual forma un amarre perimetral para los prefabricados de 15 metros. Sobre la losa prefabricada se levantan muros en ladrillo tolete común de 0.15 m. La cubierta se arma en estructura metálica con cerchas de columna a columna y correas para sostener la teja de asbesto cemento. Perimetralmente hay una viga canal. En la fachada Oriental y Occidental donde se encuentran las escaleras hay un muro de concreto reforzado. Los detalles y especificaciones se encuentran consignados en los planos anexos.

La segunda etapa, es decir la correspondiente al edificio de un piso fue construida con zapatas de 1.00 m X 1.00 m con varillas #4 c/0.20 m en ambos sentidos. Dichas zapatas se encuentran enlazadas por vigas de amarre de 0.25 X 0.35 m de sección con 4 varillas #4 longitudinalmente y flejes #3 c/0.25 m. De las zapatas se levantan columnas de 0.25 X 0.25 con refuerzo de 4 varillas #4 mas 2 #3 longitudinalmente y flejes #3 c/0.10 en los extremos y #3 c/0.20 en el centro de la luz. A una altura de 2.30 se construyó una viga perimetral de 0.25 X 0.30 m con 4 varillas #5 como refuerzo longitudinal y flejes #3 c/0.20m. Las columnas llegan hasta encontrar una cinta sobre los muros que llegan a cubierta y sobre los cuales están ancladas las correas que soportan la teja de asbesto cemento.

Para evaluar la calidad del concreto se tomaron por parte de la firma SIKA, tres (3) núcleos en columnas y un núcleo en viga localizados asi:

- Núcleo columna No. 1 en el costado norte.

- Núcleo columna No. 2 en el muro en concreto de la fachada occidental.
- Núcleo columna No. 3 en el costado sur.
- Núcleo viga No. 4 en la viga que hay en el entrepiso de la fachada sur.

Lo anterior se encuentra ubicado en los planos.

Para determinar la calidad del acero se extrajo un tramo de varilla del muro de la fachada occidental, luego de esta extracción se realizó el respectivo resane en concreto según el caso.

Todos los resanes de las zonas afectadas se realizaron de acuerdo a lo pactado en mortero afinado o concreto según el caso.

En las columnas donde se tomaron los núcleos, así como en diversos sitios de la estructura se practicaron también lecturas de esclerómetro, a cada una se le realizaron 15 lecturas de acuerdo a la especificación del equipo y arrojó los siguientes resultados:

Columna No. 1 (Núcleo)				
38	46	42	38	42
42	38	40	44	38
46	40	40	38	38

Muro en Concreto fachada occidental No. 2 (Núcleo)				
40	36	36	32	32
32	30	36	36	36
44	36	42	30	34

Columna No. 3 (Núcleo)				
44	42	40	54	40
42	42	46	48	48
50	46	48	44	48

Viga aérea (Núcleo)				
46	48	48	48	52
44	46	48	46	46
44	46	48	46	50

Viga (4, C-D)				
42	38	46	44	44
46	50	50	48	50
42	44	46	48	38

Columna (1-B)				
40	42	44	44	40
40	46	46	44	38
42	44	38	42	42

Columna (4-C)				
42	42	44	42	38
38	38	40	40	40
36	44	44	48	50

Columna (4-D)				
44	46	44	50	44
38	38	44	48	44
46	38	38	40	40

Para la clasificación del suelo se realizaron 2 barrenos manuales ubicados en el apique de cimentación No. 2 y No. 3.

FOTOGRAFÍAS EXPLORACIÓN HOSPITAL OLAYA



VISTA GENERAL



Forma de prefabricado en T.



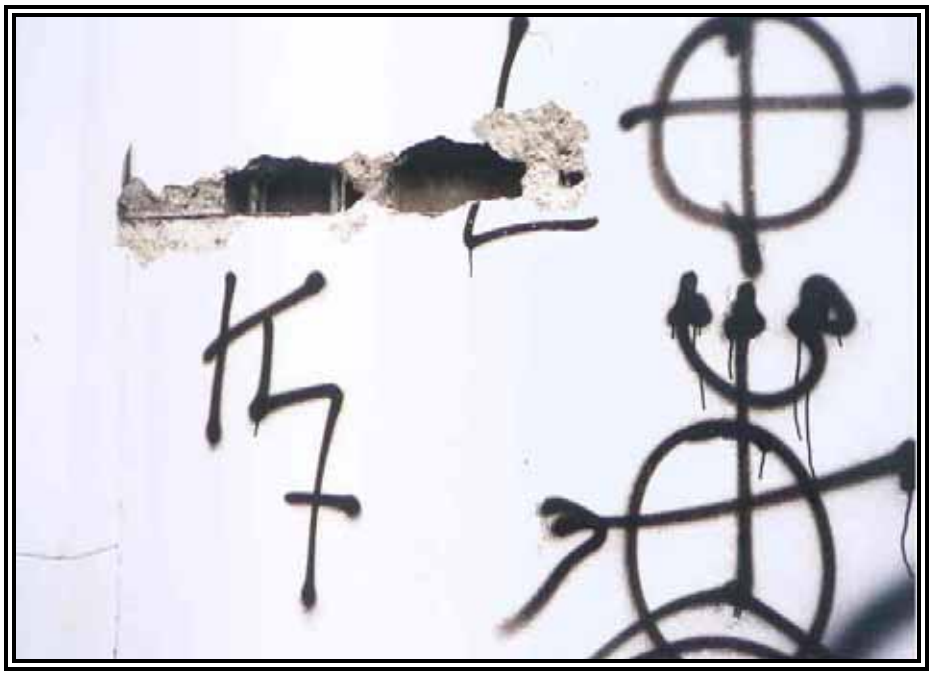
Exploración de refuerzo en viga y ménsula.



Exploración de refuerzo en viga y ménsula.



Apique No.2 de cimentación.



Exploración de muro en concreto.



Exploración encuentro de descanso con muro en concreto.



Apique No. 2 de cimentación.



Apique No. 2 de cimentación.



Apique No. 3 de cimentación.



Apique No. 3 de cimentación.



Exploración de refuerzo en columnas.



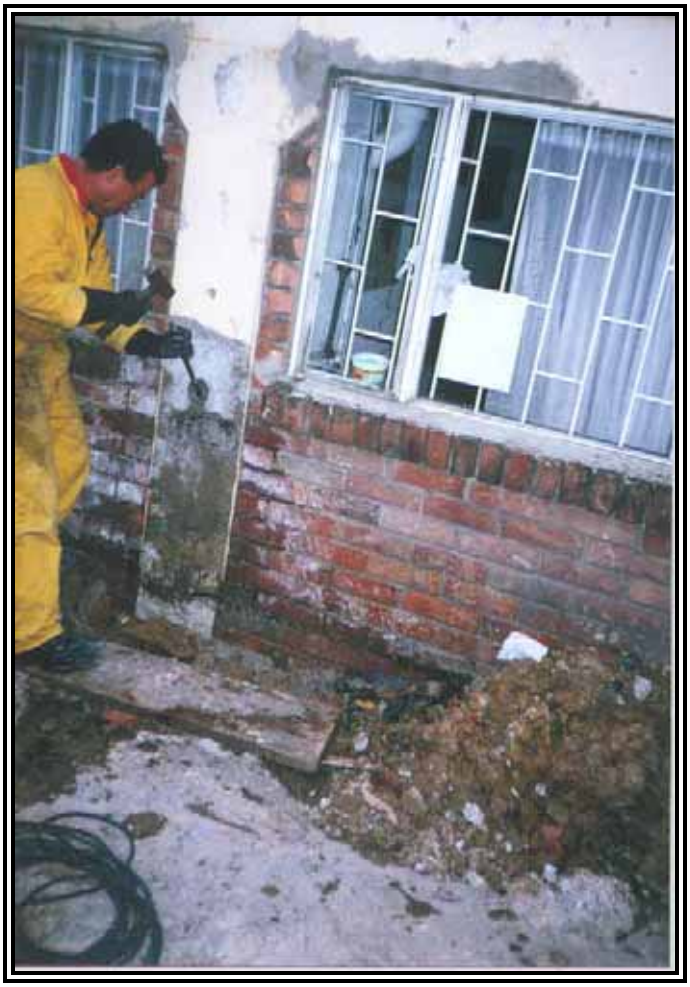
Toma de muestras de núcleo, columna No. 1.



Toma de muestras de núcleo, columna No. 1.



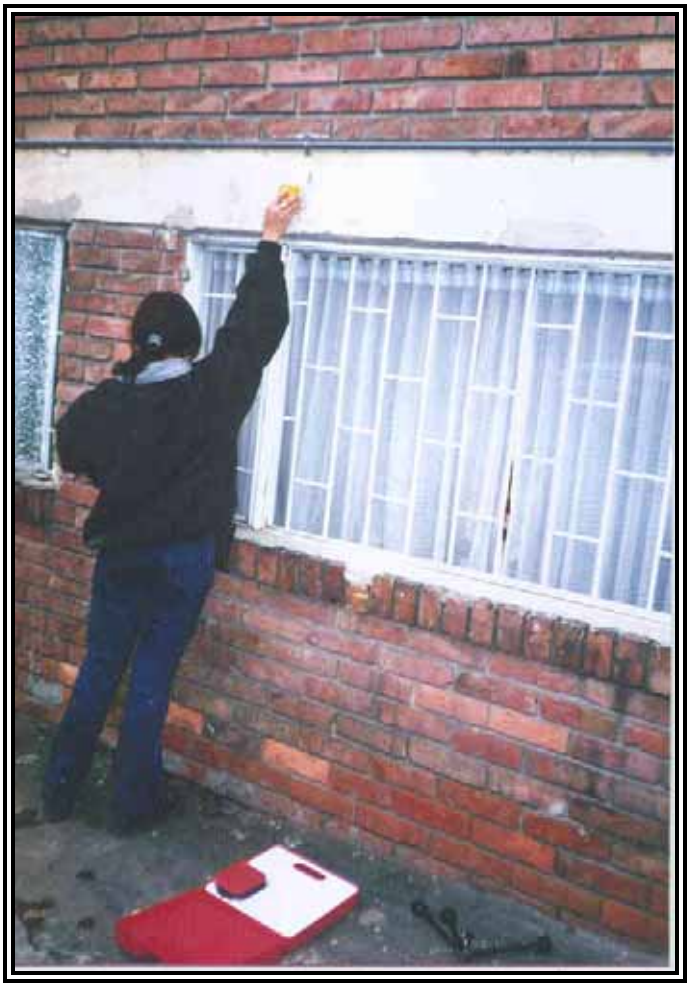
Toma de muestras de núcleo, columna No. 2.



Resane de núcleo columna No.3.



Identificación hierro viga.



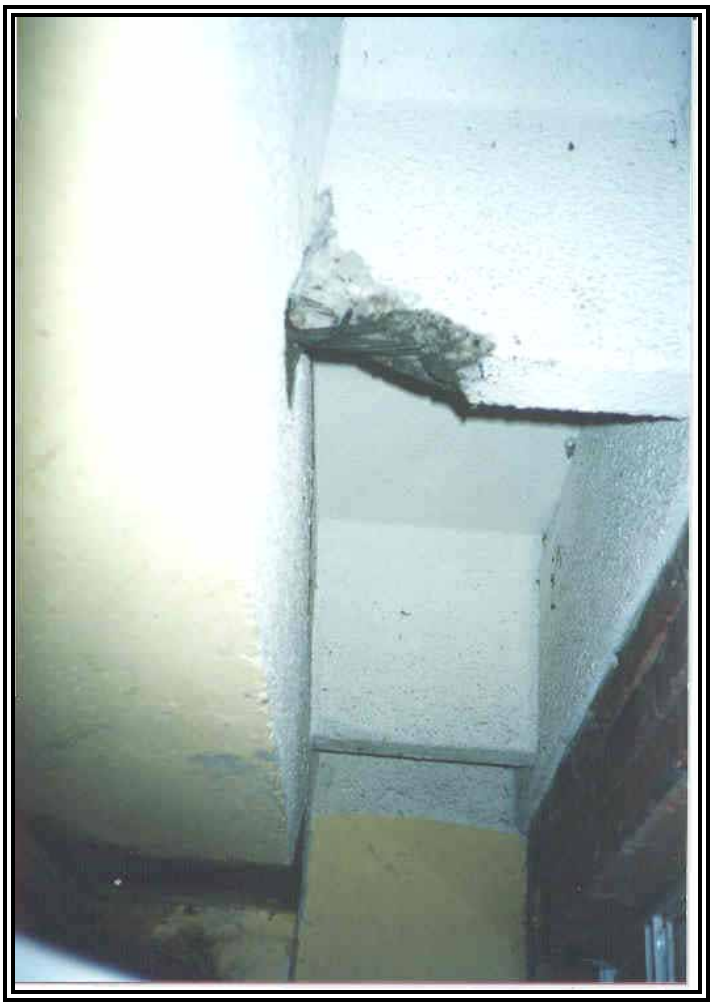
Toma del primer núcleo de viga, el cual salió fracturado.



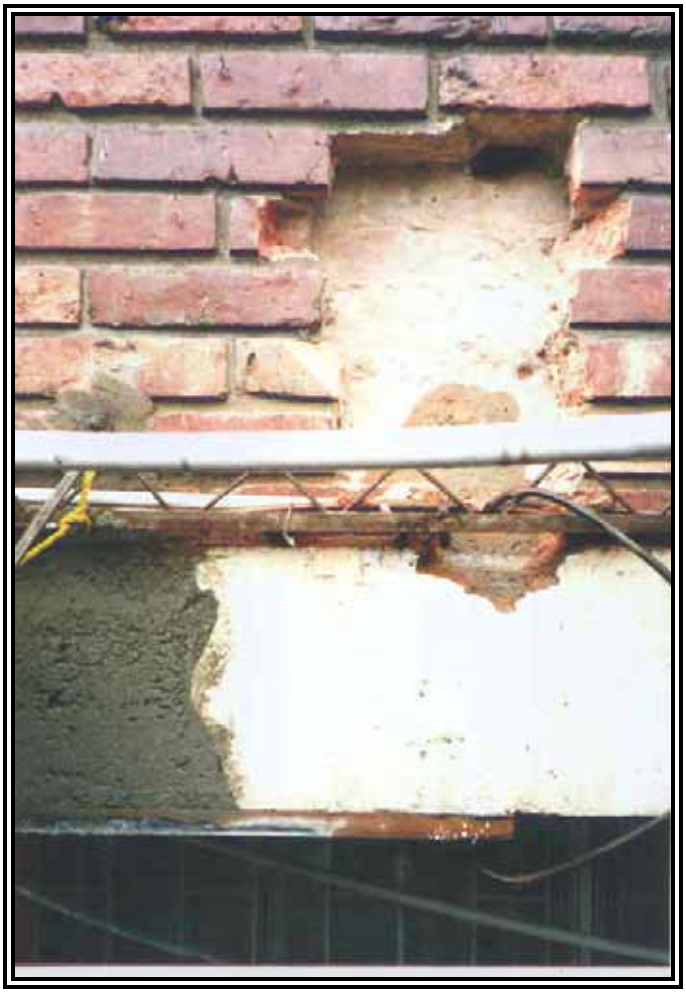
Toma de muestra de núcleo en viga



Toma de muestra de núcleo en viga



Exploración de refuerzo en vigas de entrepiso.



Exploración segunda viga.



Exploración segunda viga.



Reparación del piso.



Fisura en viga de fachada en los sitios donde hay muros de mampostería.



Detalle de apoyo vigas de fachada sobre ménsulas.



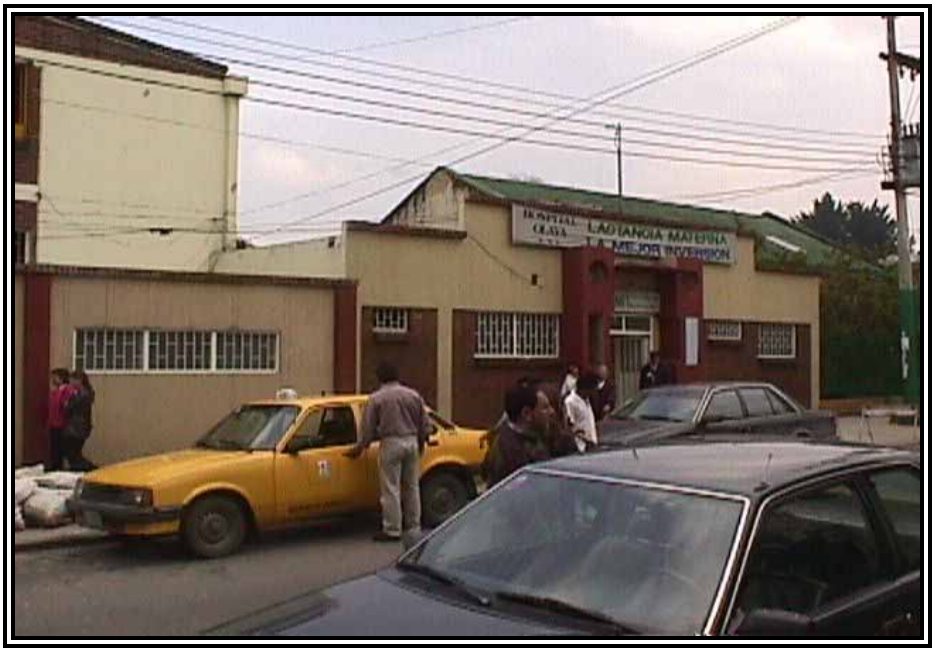
Detalle de apoyo vigas de fachada sobre ménsulas.



Fachada Sur



Fachada Principal



Fachada Principal Estructura de un solo nivel.



Vista Interior apoyo ménsulas.



Corredor principal primer piso edificio tres niveles.



Fachada posterior edificio de tres niveles.

5.0 RESUMEN Y RECOMENDACIONES CONCEPTUALES INICIALES

HOSPITAL	OLAYA
MATERIALES	Al explorar el acero de refuerzo, este también se encontró en buen estado, pero desafortunadamente es liso. Los resultados de laboratorio dieron dentro de limites aceptables (Acero de 34000 psi). Los núcleos de concreto arrojaron resistencias adecuadas (f'c = 210kg/cm^2).
ESTRUCTURA	La estructura de tres niveles es demasiado flexible debido a que todos sus elementos son simplemente apoyados, no hay continuidad ni arriostramiento lateral adecuado. La estructura de un nivel da la impresión de ser flexible aunque su resistencia para soportar cargas de gravedad es adecuada.
RECOMENDACION	Rigidizar la estructura de tres niveles mediante la construcción de pantallas de concreto adosadas a algunos muros de mampostería existentes y adición de viga perimetral exterior en cada nivel. Para la estructura de un solo nivel, rigidizarla mediante encamisado de algunas columnas, con el fin de reducir los desplazamientos y así prevenir daños en los elementos no estructurales.

6.0 MODELOS Y METODOLOGIA DE ANALISIS

El proceso que se realizará para los estudios de Vulnerabilidad y Reforzamiento de las estructuras se desarrollará siguiendo las actividades que se describen a continuación.

Para cada uno de los hospitales se recopiló la información disponible de planos arquitectónicos y estructurales tanto de la obra original como de las remodelaciones, que se encuentren disponibles en los hospitales y en la Secretaría de Salud del Distrito. En caso de no lograr la información completa, se realizó un levantamiento arquitectónico y estructural, que permitió elaborar un modelo del sistema estructural de la edificación. En el proceso anterior se adelantó una inspección detallada del estado de la estructura y de la construcción en general, que luego nos permite calificar la calidad y estado de la edificación.

En caso de contar con los planos estructurales completos, esta labor fue más de verificación, en la cual se ratificó el hecho de que los planos que se tienen, sí son los que se utilizaron para la construcción. Para ello se hicieron exploraciones en algunos elementos típicos que permiten determinar las dimensiones, el refuerzo tanto longitudinal como transversal y la calidad del concreto. En este trabajo se hicieron regatas perimetrales y longitudinales y se utilizó como complemento un detector de metales.

Por el contrario, si la información recopilada sobre la estructura era limitada o nula, la labor de inspección fue más intensa y ésta se extendió a vigas y columnas de la estructura principal lo cual nos permitió determinar el refuerzo en las zonas cercanas a los nudos y en los centros de las luces en las vigas para la determinación del refuerzo inferior.

La calidad del concreto se evaluó para cada hospital mediante el ensayo realizado a los núcleos que se extrajeron de las columnas y vigas, escogidos en forma estratégica y los cuales sirvieron para patronar un esclerómetro con el cual se determinará la resistencia aproximada de la estructura.

Adicionalmente se hicieron ensayos no destructivos mediante el uso de un equipo que evalúa la resistencia no solo del concreto sino de otros materiales como la mampostería por medio de un esclerómetro.

Para determinar la calidad del acero, ésta se definió mediante la inspección visual en las regatas y además se extrajeron tramos de varilla de varias columnas para obtener el esfuerzo de fluencia, porcentaje de alargamiento y la carga de rotura de estas, mediante pruebas de tensión en el laboratorio. Las secciones de concreto afectadas con las regatas y con el corte de las barras se repararon siguiendo procedimientos convencionales, sin garantizar la recuperación del acabado original de los pisos o elementos.

Todo el trabajo de exploración descrito anteriormente se realizó en las estructuras cuyo sistema estructural consistía en pórticos de concreto reforzado. Si la estructura era de mampostería sin refuerzo, en el levantamiento descrito anteriormente, se midieron los espesores de los muros y se extrajeron prismas en muros diferentes que permitieran determinar la resistencia f'm de la mampostería y la calidad de las unidades.

Como resultado de esta investigación se dispone ahora de planos que contienen la distribución de espacios, muros divisorios, tipo de acabados, alturas libres, dimensiones de la estructura, definición del sistema estructural, refuerzos existentes, modificaciones a la estructura original, niveles del terreno y por lo tanto se contará con datos para la elaboración del modelo estructural que luego se utilizará para los estudios de vulnerabilidad y reforzamiento.

Así mismo se llevó a cabo la exploración geotécnica mencionada anteriormente para revisar la cimentación y determinar su posible tipo de intervención.

Con toda la información obtenida en los levantamientos y exploraciones adelantadas, se elabora entonces un modelo para la estructura actual, el cual se analiza para las fuerzas sísmicas F_s, que el sismo de diseño imponga en combinación con las fuerzas de gravedad mayoradas de acuerdo con las combinaciones de carga del Título B del NSR-98.

Adicionalmente se hará la revisión correspondiente con los espectros de diseño propuestos por el estudio de microzonificación de Bogotá.

Para estos análisis se utiliza el programa ETABS, con el cual se lleva a cabo un análisis elástico dinámico de la estructura. Adicionalmente se utiliza el programa IDARC-2D para llevar a cabo un análisis inelástico de la edificación. Con la información de las secciones originales de los elementos y sus refuerzos, se determinan sus capacidades últimas tanto para los esfuerzos de corte como para los de flexión y flexo-compresión.

Con los resultados de las demandas obtenidas de los análisis de los modelos y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calculan los índices de sobre-esfuerzo de los elementos y de las estructuras con el fin de determinar los puntos o zonas vulnerables a tener en cuenta en el reforzamiento final. Así mismo se determinan los índices de flexibilidad de los pisos y de las estructuras y finalmente los índices de vulnerabilidad.

7.0 CARACTERIZACION DE LA AMENAZA SISMICA PARA BOGOTA

La Norma NSR-98. La norma NSR-98, promulgada por Decreto 33 de 1.998, estableció en su Apéndice A-3 que la amenaza sísmica para Santafé de Bogotá es intermedia y los coeficientes para efectos de calcular las fuerzas están dados por: $A_a = 0.20$, $A_d = 0.04$.

Por su parte, el Estudio de Amenaza Sísmica que sirvió de base para las determinaciones de la norma en este sentido, concluyó que las zonas más propicias estadísticamente para contribuir a la amenaza sísmica de la ciudad son la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, en un 68% seguida de las fallas del Magdalena Medio particularmente la Falla Salinas (28%); no se puede olvidar en este contexto, la zona de subducción y la zona de Benniof, que pueden producir sismos lejanos capaces de excitar los suelos blandos de la ciudad y producir en ellos amplificaciones considerables, tanto en magnitud como en duración.

Estudio de Microzonificación. El estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá no apeló a grandes zonas sismogénicas sino trató de ser más puntual y analizar por separado los principales accidentes tectónicos y adjudicarle una cierta influencia dependiendo de la actividad, la magnitud de la falla y la cercanía al punto de interés. Esta parte del estudio tomó por separado tres regiones, así:

- Región Nor-occidental. Caracterizada por fallas regionales de rumbo, entre ellas las más significativas: Palestina, Cucuana, Ibagué, Viani, Samaría, Mulatos, Honda, La Salina y Alto de Trigo.

- Región Sur-oriental. Coincidente con el borde llanero, está representada por fallas caracterizadamente activas como son: Acacías, Guayuriba, Colepato, Servitá, Guaicaramo y Yopal.

- Región Central. Está comprendida por fallas de significación local en la sabana y sus alrededores como: Tunjuelito, Usaquén, Fusagasugá y La Cajita. Sobre la capacidad real de estos accidentes de generar verdaderos sismos hay aún controversia.

Espectros de Diseño. Con base en los estudios coincidentes, y una amenaza sísmica aproximadamente coincidente, el estudio de Microzonificación propone unos espectros de diseño sísmico para cada una de las zonas en que se dividió la ciudad. Son estos los espectros que se propone utilizar dentro de los alcances del presente estudio así como los del NSR-98.

8.0 ESTUDIO DE VULNERABILIDAD

Para estructuras existentes, el estudio de vulnerabilidad se refiere a la comprobación de si el comportamiento de la estructura es satisfactorio a la luz de las normas vigentes en el aspecto sísmico. Se seguirán en especial los lineamientos del NSR-98 en sus capítulos A-10 y A-12 y las técnicas propuestas por el Applied Technology Council (ATC 14, ATC 22 y ATC-28) así como del documento de la Federal Emergency Management Agency (NEHRP HANDBOOK For the Seismic Evaluation for Existing Buildings). En este último documento se establece un procedimiento especial el cual es recomendado con el fin de evaluar las estructuras existentes, para hallar los puntos débiles y posibles zonas de las estructuras que puedan causar pérdida de vidas ante los eventos sísmicos. Se tratará entonces de determinar cuáles son las zonas más vulnerables que puedan precipitar el colapso de la estructura o de algunos de sus componentes.

Con toda la información obtenida tanto en los planos encontrados como en los levantamientos y exploraciones adelantadas, se elaborará un modelo para la estructura actual, el cual se analizará para las fuerzas sísmicas Fs (del NSR-98 y de microzonificación), que el sismo de diseño imponga en combinación con las fuerzas de gravedad mayoradas de acuerdo con las combinaciones de carga del Título B del NSR-98. Para estos análisis se utilizará el programa ETABS, con el cual se llevará a cabo un análisis elástico dinámico de las estructuras y adicionalmente se utilizará el programa IDARC para llevar a cabo un análisis inelástico de las edificaciones.

Con la información de las secciones originales de los elementos y sus refuerzos, se determinarán sus capacidades últimas tanto para los esfuerzos de corte como para los de flexión. Con los resultados de las demandas obtenidas de los análisis de los modelos y las capacidades actuales calculadas en los elementos, se calcularán los índices de sobre-esfuerzo de los elementos y de las estructuras. Adicionalmente se calcularán los índices de flexibilidad de los pisos y de las estructuras con los cuales se establecerán los índices de vulnerabilidad de las mismas, con el fin de determinar los puntos o zonas vulnerables a tener en cuenta en el reforzamiento final.

ANALISIS DE RIESGO Y ESTIMACION DE PERDIDAS

Para el análisis de riesgo y la estimación de pérdidas en el estado actual de las estructuras de los cuatro hospitales se propone llevar a cabo dentro del análisis inelástico definido anteriormente, un análisis de daños potenciales que pueden aparecer ante la ocurrencia del sismo de diseño actual para las estructuras en estudio.

Se realizará un análisis no lineal simplificado de las estructuras aporticadas mediante la aplicación de las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones usando las relaciones de esfuerzo-deformación en el rango inelástico tanto para el concreto como para el acero de refuerzo. Para este propósito la estructura será analizada utilizando el programa de computador “IDARC-2D”, “Análisis Inelástico del Deterioro del Concreto Reforzado”, el cual muestra la respuesta contra el tiempo de estructuras de concreto sujetas a fuerzas laterales. Para llevar a cabo el análisis, se utilizarán modelos histeréticos propios del concreto reforzado. Este análisis permitirá estudiar la degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia de los diferentes elementos estructurales, e incluirá una evaluación de la respuesta inelástica a través de un análisis de daños de los miembros estructurales y de la estructura como un conjunto con el fin de estimar las perdidas en el caso de la ocurrencia del sismo de diseño.

El análisis inelástico dará a conocer mejor el comportamiento real de la estructura y se obtendrá un mejor estimativo de los desplazamientos de los pisos y de las solicitaciones inelásticas producidas en la estructura por el sismo de diseño.

EVALUACION DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE REFORZAMIENTO

De acuerdo con los resultados obtenidos del estudio de vulnerabilidad, para las estructuras que resulten con índices de vulnerabilidad menores que la unidad, se entrará a estudiar una

serie de alternativas de reforzamiento, las cuales podrían ser de varios tipos, entre los que pueden enumerarse los siguientes:

ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO
1. Aumento de sección y refuerzo en algunos elementos vigas y columnas
2. Construcción de muros estructurales de concreto reforzado adosados a las estructuras existentes.
3. Colocación de elementos de arriostramiento de acero en algunos vanos de los pórticos.
4. Para el caso de estructuras de mampostería no reforzada, muros en concreto reforzado o columnetas y cintas de concreto adosados a la mampostería a través de conectores.

La escogencia del sistema de reforzamiento definitivo deberá tener en cuenta el tipo de estructura que deberá ser reforzada y que la ejecución de esta operación genere el mínimo traumatismo en el funcionamiento de los hospitales. La escogencia de la alternativa de reforzamiento será una decisión tomada entre la Secretaría de Salud, el FOPAE, la Interventoría y P.C.A..

El modelo estructural original se modificará con las adiciones de rigidización y refuerzo, y se analizará para las combinaciones de fuerzas de gravedad y fuerzas sísmicas requeridas para la nueva estructura. Al modelo definitivo se le hará un análisis dinámico elástico mediante el programa ETABS utilizando los espectros de microzonificación de Bogotá de acuerdo con la clasificación descrita anteriormente.

Finalmente se realizará un análisis no lineal de las estructuras reforzadas mediante el programa IDARC, el cual mostrará la respuesta contra el tiempo de las estructuras de concreto reforzado sujetas a fuerzas laterales. Este análisis permitirá estudiar la degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia de los diferentes elementos estructurales, e incluirá una evaluación de la respuesta inelástica a través de un análisis de daños de los miembros estructurales y de las estructuras como un conjunto una vez estas sean reforzadas.

MECANISMOS DE TOMA DE DECISIONES Y SELECCION DEL REFUERZO PARA LA ESTRUCTURA

Para escoger la alternativa de reforzamiento más apropiada, el modelo estructural original se modificará con las adiciones de rigidización y refuerzo, y se analizará para las combinaciones de fuerzas de gravedad y fuerzas sísmicas requeridas para la nueva estructura, hasta garantizar la seguridad y un comportamiento adecuado de la estructura de cada Hospital.

Una vez escogida la alternativa de reforzamiento definitiva (teniendo en cuenta economía, eficiencia estructural, arquitectura y menor traumatismo), se llevará a cabo el modelo definitivo (estructura reforzada), al cual se le hará un análisis dinámico elástico mediante el programa ETABS610 y un análisis no lineal de la estructura mediante el programa IDARC-2D, modelando nuevamente la degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia de los diferentes elementos estructurales.

Nuevamente se calcularán los índices de flexibilidad, de sobre-esfuerzo y de vulnerabilidad de la estructura definitiva con el fin de verificar que la edificación reforzada cumpla con las nuevas exigencias del NSR-98.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis elástico e inelástico de la estructura reforzada, se procederá ahora a diseñar los elementos de reforzamiento que la edificación del Hospital requiere para cumplir con los requisitos de diseño del NSR-98 y con las restricciones de desplazamiento allí solicitadas.

Con relación a los elementos no estructurales se darán las recomendaciones para garantizar la estabilidad y el buen comportamiento de este tipo de elementos existentes actualmente.

Con la solución definitiva se procederá a elaborar la memoria de cálculos y a llevar a nivel de planos de construcción los proyectos. En estos planos se indicarán todos los detalles que se requieran para la interpretación cabal de la obra a ejecutar. Los planos se realizarán

en AUTOCAD y se entregarán los originales y dos copias magnéticas de los mismos así como el original de las memorias de cálculo.

En el evento que el trabajo de reforzamiento altere el proyecto arquitectónico o intervenga algún tipo de instalaciones P.C.A. contará con la asesoría de profesionales en cada área, que nos permita garantizar que los efectos de reforzamiento afecten al mínimo tanto la arquitectura como la funcionalidad del Hospital.

9.0 MODELACION ESTRUCTURAL

Se debe llevar a cabo el análisis y el reforzamiento de las estructuras, siguiendo lo ordenado por la **Ley 400 de 1997** y su decreto reglamentario 33 de 1998 contenido en el **NSR-98**, el cual dedica en especial el capítulo **A-10** a las edificaciones construidas antes de la vigencia de este reglamento. Adicionalmente se seguirán las recomendaciones del Decreto 34 de 1999, el cual modifica y actualiza algunos artículos del Decreto 33.

9.1 Parámetros de Análisis

- La norma NSR-98, mediante su Decreto 33 de 1.998, establece en el Apéndice A-3 que la amenaza sísmica para Santafé de Bogotá es intermedia y los coeficientes para efectos de calcular las fuerzas sísmicas están dados por:

  A_a = 0.20

  Grupo de Uso III

  I = 1.2

  S = Varia para cada estructura

  R_o = Varia para cada estructura

- El estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá se tendrá en cuenta para llevar a cabo el análisis de cada hospital. Por tal motivo se utilizarán los parámetros descritos anteriormente en comparación con los propuestos por el estudio de microzonificación de Bogotá. Estos parámetros, así como la zona dentro de la cual se encuentra cada Hospital serán descritos posteriormente en este estudio.

- Espectros de Diseño. El estudio de Microzonificación propone unos espectros de diseño sísmico para cada una de las zonas en que se dividió la ciudad. Son estos últimos los espectros que se propone utilizar dentro de los alcances del presente estudio en comparación con los propuestos por el NSR-98.

- Como resultado de las visitas realizadas a las instalaciones de cada Hospital y de lo obtenido al adelantar los levantamientos y exploraciones de toda las construcciones (descrito en las páginas inmediatamente anteriores) que se proyecta rehabilitar, se estableció el sistema estructural con que fue construida originalmente cada edificación y su cimentación, así como las propiedades de los materiales allí utilizados.

- Se revisó el sistema del entrepiso para clasificarlo como diafragma rígido o flexible, situación que se contempla en el análisis de los modelos estructurales. De esta misma revisión se obtuvieron datos acerca del espesor de losas, de dimensiones de elementos y de acabados, con el fin de utilizarlos en el modelo estructural.

- La exploración y el estudio de suelos consistieron en la ejecución de apiques manuales y barrenos, y contienen además la clasificación de la zona dentro del estudio de microzonificación. Con los apiques se verificaron los tipos y cotas de cimentación, la existencia de vigas de amarre y se comprobó el estado y características de la cimentación.

- Análisis Sísmicos. Para el análisis sísmico de las estructuras se siguió el método del Análisis Dinámico Elástico (modal) o el de Fuerza Horizontal Equivalente, tal como se indica mas adelante y se modeló cada estructura como un sistema tridimensional con diafragma rígido o flexible según el caso. Para llevar a cabo dichos análisis se utilizaron adicionalmente a los parámetros definidos en los capítulos anteriores los siguientes.

- Coeficiente de Importancia (I). Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-98 el edificio en estudio puede ser clasificado como Grupo de Uso III:

  "A.2.5.1.2 Grupo III - Edificaciones de atención a la comunidad - Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables

después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el Grupo IV. Este grupo debe incluir:

a. Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres.

b. Garajes de vehículos de emergencia.

c. Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.

d. Aquellas otras que la administración municipal designe como tales."

Según la tabla A.2-4 del NSR-98, al edificio en estudio le corresponde como Grupo de Uso III, un coeficiente de importancia **I = 1.2**

- Coeficiente de Capacidad de Disipación de Energía, R. Como su nombre lo indica, este coeficiente indica el grado de capacidad de disipación de energía que posee una estructura ante un eventual movimiento sísmico. El valor del coeficiente de disipación de energía corresponde al coeficiente de disipación de energía básico, R_o, multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ϕ_a y ϕ_p respectivamente ($R = R_o\ \phi_a\ \phi_p$). Para cada una de las edificaciones se definió un R' basados en sus sistemas estructurales.

- Selección de la Resistencia del Concreto para su uso en los Modelos Matemáticos de Análisis. Para seleccionar la resistencia del concreto a usar en los modelos matemáticos de análisis teniendo en cuenta las resistencias individuales de cada uno de los núcleos extraídos y ensayados, y de las resistencias halladas por medio del esclerómetro, se siguió el procedimiento establecido en las Normas Colombianas de

Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-98, numeral C.5.6.4.4, el cual establece lo siguiente:

> "El concreto de la zona representada por los núcleos es estructuralmente adecuado si el promedio de los tres núcleos resulta por lo menos igual al 85% de f´c, y si ningún núcleo presenta una resistencia menor del 75% de f´c. Para comprobar la precisión del ensayo, se pueden volver a tomar y ensayar núcleos en los lugares que presenten resultados dudosos".

En los anexos se presentan los valores obtenidos de resistencia para cada hospital a los cuales se les hizo análisis estadístico junto con los datos del esclerómetro para así obtener un valor representativo para los modelos estructurales correspondientes.

CUADRO RESUMEN DE PARAMETROS DE ANALISIS

HOSPITAL	OLAYA	
SUBESTRUCTURA	**Edificio 3 pisos**	**Edificio 1 Piso**
PARAMETRO		
Método Análisis	Dinámico Elástico Inelástico	Dinámico Elástico Fuerza Horizontal Equivalente
A_a	.20	.20
I	1.2	1.2
S	1.2	1.2
R_o	1.5	3.0
f'c o f'm	210 kg/cm^2	210 kg/cm^2
fy	2400 kg/cm^2	2400 kg/cm^2
Zona Microzonific.	5	5
Sistema Entrepiso	Rígido	Flexible

9.2 MODELO ELÁSTICO INICIAL ETABS

Tal como se mencionó anteriormente, se realizará sobre cada edificación inicial existente un modelo matemático elástico dinámico con el fin de analizar las estructuras actuales. Para este fin se utilizará el programa de computador ETABS. ETABS, Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems es un programa de análisis matricial tridimensional, utilizado para el análisis y diseño lineal y no lineal, estático y dinámico de estructuras. Fue desarrollado en la empresa Computers & Structures Inc. (Berkeley, California).

Los edificios en ETABS pueden ser idealizados como una serie de ensamblajes entre columnas, vigas, muros y otros elementos interconectados entre sí por un diafragma de piso el cual puede ser o no ser rígido en su propio plano. Para cada hospital se estudio el tipo de diafragma a tener en cuenta. La geometría básica de las estructuras se define con referencia a un sistema de malla tridimensional formado por la intersección de los pisos de la estructura con los ejes de columnas. De una forma relativamente sencilla pueden ser modeladas complejas situaciones estructurales.

Descripción de la Utilización de la Microzonificación Sísmica para el Estudio de Vulnerabilidad de los Hospitales del FOPAE

Tal como se indicó anteriormente, se utilizará el Estudio de Microzonificación de la ciudad de Santafé de Bogotá para determinar las fuerzas sísmicas a las cuales estaría sometida cada edificación en el caso de un sismo en comparación con las exigidas por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-resistente.

El estudio de microzonificación sísmica realizado en Agosto de 1997 consistió básicamente en establecer unas zonas de comportamiento geomecánico similares, para así poder dividir la ciudad en zonas más específicas de acuerdo al tipo de suelo de cada una de las regiones de la ciudad. Así se definieron entonces varias zonas con el fin de poder establecer parámetros de diseño y construcción sismo-resistente específicos para cada una de las zonas en las que fue dividida Bogotá. En este estudio de microzonificación se especifica el nivel de fuerza sísmica para cada zona.

Se plantea entonces un mapa de microzonificación sísmica de la ciudad que se muestra en la siguiente página. Para el caso específico de este estudio, se determina la zona a la que pertenece cada Hospital, adicionalmente se establece en los límites de la zona una franja de transición de 500m a cada lado. En esta zona de transición se toma la aceleración de diseño más desfavorable.

Finalmente se define el espectro de diseño para cada Hospital por medio de ecuaciones con el fin de poder utilizarlo en el análisis dinámico que se realice al modelo estructural de cada uno.

9.3 MODELO DE ANÁLISIS INELÁSTICO INICIAL

Para el análisis inelástico de la estructura se modeló la estructura como un sistema bidimensional compuesto por pórticos planos. Para llevar a cabo dicho análisis se utilizó el programa de computador IDARC-2D. Se realiza un análisis no lineal de la estructura mediante la aplicación de las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones usando las relaciones de esfuerzo-deformación en el rango inelástico, tanto para el concreto, como para el acero de refuerzo.

Como se indicó anteriormente, la estructura fue analizada utilizando el programa de computador "IDARC-2D", "Análisis Inelástico del Deterioro del Concreto Reforzado", el cual muestra la respuesta contra el tiempo de estructuras de concreto sujetas a fuerzas laterales. Para llevar a cabo el análisis, se utilizaron modelos histeréticos propios del concreto reforzado. Para el estudio del Hospital se utilizo el modelo # 1 (modelo de Park) y se adoptaron los siguientes parámetros (ver página siguiente):

Parámetro de degradación de la rigidez = 2.0 (Degradación nominal)
Parámetro de degradación de la resistencia = 0.10 (Deterioro nominal basado en ductilidad)
Parámetro de degradación de la resistencia = 0.10 (Deterioro nominal basado en energia)
Parámetro de deslizamiento de cerramiento de fisuras = 0.5 (aplastamiento nominal)

Este análisis inelástico permite estudiar la degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia de los diferentes elementos estructurales, e incluye una evaluación de la respuesta inelástica a través de un análisis de daños de los miembros estructurales y de la estructura como un conjunto. Este análisis inelástico dará a conocer mejor el comportamiento real de la estructura y se obtendrá un mejor estimativo de las derivas de los pisos y de las solicitaciones inelásticas producidas en la estructura por el sismo de diseño.

10.0 Análisis de Resultados y Conclusiones de los Análisis Matemáticos y del FEMA 178

Se llevó a cabo la evaluación FEMA 178 y se encontraron varias deficiencias estructurales. Esta evaluación se diseñó para determinar donde quedan localizadas las zonas débiles y vulnerables de la estructura y nos sirve para determinar las recomendaciones de reforzamiento. Los criterios descritos en las secciones anteriores se utilizan para comparar los requisitos de diseño y construcción que existían en la época que se construyeron las edificaciones con los requisitos de diseño sísmico actuales.

Para la estructura de la ZONA DE 3 PISOS la trayectoria de cargas no es directa, las cargas básicamente se transfieren de las placas a las vigas, pero al ser estas simplemente apoyadas, no transfieren momentos a las columnas, siendo de esta manera solo aptas para soportar las cargas de gravedad mas no para trabajar como pórticos resistentes a momento. No se encontró ni deficiencia de piso débil, ni de piso flexible y la edificación tiene un sistema estructural que resulta redundante en cuanto a columnas. Adicionalmente no se tienen irregularidades de masa ni geométricas, por consiguiente la torsión generada es mínima. No existen edificios vecinos que puedan poner en peligro la integridad estructural del edificio en caso de golpeteo durante un sismo. Se encontró que los muros no estructurales no están aislados de la estructura principal. En cuanto a la revisión de esfuerzos de cortante, se encontró que las columnas no cumplieron con el requisito, lo cual se tendrá en cuenta en el reforzamiento final. En cuanto a desplazamientos, tampoco se cumple con la metodología del FEMA 178. La resistencia a corte de las columnas de los pórticos resultó mayor que la resistencia a momento, es decir que no ocurrirán fallas súbitas (por cortante) antes de que se llegue a la resistencia a la flexión de los elementos, pero en las vigas no. Este tipo de deficiencias es indeseable en zona de posible amenaza sísmica. La revisión a cortante de los nudos no se cumple debido a que no hay nudos. Finalmente no se encontró ningún tipo de amenaza geotécnica que pueda poner en riesgo la integridad estructural de la edificación del hospital.

Tal como se indicó anteriormente, con toda la información obtenida en los levantamientos y exploraciones adelantadas, se elaboró el modelo para la estructura actual, el cual se analizó para las fuerzas sísmicas F_s (las que el sismo de diseño definido en el estudio de microzonificación de la ciudad indica), en combinación con las fuerzas de gravedad mayoradas de acuerdo con las combinaciones de carga del Título B del NSR-98.

Para estos análisis se utilizaron los programas ETABS, con el cual se llevó a cabo un análisis elástico dinámico de la estructura, e IDARC-2D con el cual se llevo a cabo el análisis inelástico de la edificación. Con la información de las secciones originales de los elementos y sus refuerzos, se determinaron sus capacidades últimas tanto para los esfuerzos de corte como para los de flexión y flexo-compresión. Estas resistencias existentes fueron a su vez afectadas por los valores $Ø_c$ y $Ø_e$, los cuales dependen de la calidad del diseño y construcción y del estado de la estructura.

Con los resultados de las demandas obtenidas de los análisis de los modelos y las capacidades actuales calculadas en cada uno de los elementos, se calcularon los índices de sobre-esfuerzo de los elementos y de las estructuras, los cuales se encuentran en los respectivos modelos estructurales.

Al analizar la estructura original ZONA DE TRES PISOS, con sus materiales y secciones originales, se encontró que esta era demasiado flexible, sobre todo en el sentido largo, pues el sentido corto cuenta con pantallas de concreto reforzado, y no cumplía con los requisitos del NSR-98. Dicha flexibilidad se debe básicamente a la falta de continuidad de los elementos que forman parte de los pórticos. Adicionalmente y como factor deficiente, en el interior del plano de la losa no existen vigas de rigidez. Dicho modelo consideró que el diafragma de esta zona era rígido por tener una losa de concreto fundida sobre los prefabricados. Así las vigas aéreas fueran continuas, otra condición desfavorable es que no cuentan con ningún tipo de refuerzo de confinamiento. Dicha condición hace que no se tenga ninguna capacidad de disipación de energía en las vigas, lo cual hace los

pórticos menos dúctiles. Esta condición se tuvo en cuenta en los análisis estructurales considerando las vigas como articuladas en los apoyos.

Para la ESTRUCTURA DE UN PISO, se encontró que debido a sus pequeñas dimensiones y a la baja carga de la cubierta liviana, esta no sufre desplazamientos mayores a los aceptables, pero, al revisar sus elementos no estructurales, estos se encuentra sueltos, sin ningún tipo de amarre o confinamiento, razón por la cual se decide que se necesita algún tipo de rigidización de la estructura para así reducir los desplazamientos en la misma y de esta manera no causar daños en las mamposterías. Además de esta condición, en este edificio, las vigas de cubierta no cuentan con ningún tipo de refuerzo de confinamiento lo cual va en detrimento de su ductilidad. Por esa razón se decide agregar una viga perimetral a nivel de cubierta que amarre todas las columnas perimetrales.

Basados en las deficiencias halladas por el método FEMA 178 y en las halladas en análisis iniciales, se recomienda hacer un estudio mas detallado en los aspectos de rigidización, mejoramiento de su capacidad de disipación de energía, y estabilidad de elementos no estructurales para ambas edificaciones por medio de elementos estructurales adicionales, adosados a las estructuras existentes tal como lo son los encamisados de columnas para el edificio pequeño y adición de pantallas de concreto y vigas perimetrales para el edificio de tres niveles. En conclusión, el edificio de tres niveles cuenta con la capacidad de soporte de cargas gravitacionales, mas no cuenta con rigidez lateral suficiente, por lo cual las adiciones propuestas suplirán dicha deficiencia.

11.0 Planteamiento Soluciones de Reforzamiento Estructural

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis elástico e inelástico y del estudio FEMA 178 de la estructura original y del estudio de vulnerabilidad inicial, se encontró que la estructura de TRES NIVELES resultó con índices de flexibilidad, vulnerabilidad y de sobre-esfuerzo mayores que la unidad (hasta de 29.6% para el sentido largo). Se entra ahora a estudiar una serie de alternativas de reforzamiento, dentro de las cuales, por las condiciones resultantes de los análisis se escoge por falta de rigidez y arriostramiento de la estructura, el encamisamiento de las columnas esquineras y la adición de muros pantalla de concreto en ambos sentidos. Con el fin de resolver el problema de falta de ductilidad de los pórticos, se decide adicionar una gran viga perimetral que conecte todos las columnas y pantallas en todos los niveles.

Para la estructura de un solo nivel, se decide plantear como alternativa, el encamisamiento de las cuatro columnas esquineras. Dicho encamisamiento resuelve el problema de rigidez lateral de los muros. En esta zona los muros de mampostería divisorios se encuentran sueltos, razón por la cual se propone reducir los desplazamientos de la estructura principal por el método descrito anteriormente.

La selección del sistema de reforzamiento definitivo tendrá en cuenta el tipo de estructura que será reforzada y que la ejecución de esta operación genere el mínimo traumatismo en el funcionamiento de los hospitales. Una vez se escoja la alternativa más apropiada, el modelo estructural original se modifica con las adiciones de rigidización y refuerzo, y se analiza para las combinaciones de fuerzas de gravedad y fuerzas sísmicas requeridas para la nueva estructura.

12.0 MODELOS ESTRUCTURALES ESTRUCTURAS REFORZADAS

Al modelo definitivo con los reforzamientos propuestos anteriormente se le hace un análisis dinámico elástico mediante el programa ETABS utilizando los espectros de microzonificación de Bogotá y del NSR-98 tal como se hizo para la estructura original.

Finalmente se realizará un análisis no lineal de la estructura mediante el programa IDARC-2D, modelando la degradación de la rigidez y el deterioro de la resistencia de los diferentes elementos estructurales. Este análisis inelástico dará a conocer mejor el comportamiento real de la estructura reforzada ante las fuerzas sísmicas y se obtendrá un mejor estimativo de los desplazamientos de los pisos y de las solicitaciones producidas en la estructura por el sismo de diseño.

13.0 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE REFORZAMIENTO DEFINITIVO Y RECOMENDACIONES FINALES

Se llevó a cabo el análisis de índices de flexibilidad y sobre-esfuerzo para las alternativas propuestas anteriormente. Una vez realizado el cálculo de índices de flexibilidad y sobre-esfuerzo para la alternativa de encamisamiento de columnas y adición de pantallas para el edificio de tres niveles, se decidió que era la opción más favorable, y se resolvió el problema de la falta de rigidez lateral de las estructuras, así como su falta de capacidad de disipación de energía. Como se había mencionado anteriormente, los problemas que tenia esta estructura originalmente consistían en falta de rigidez lateral para soportar los movimientos sísmicos en la estructura principal debido a que todas las vigas eran discontinuas apoyadas en las ménsulas de las columnas. Así mismo se propone la construcción de una gran viga perimetral en todos los niveles que amarre todos los elementos nuevos.

A nivel de fundación, se deben adicionar cimientos para los nuevos elementos estructurales de la edificación de tres pisos. Adicionalmente, las zapatas de este edificio no se encuentran debidamente conectadas, razón por la cual se propone la construcción de una viga de enlace a nivel de cimentación.

Para el edificio de un solo nivel, se modelo la estructura con los encamisamientos propuestos y se redujo la deriva de 58% a 19% lo cual soluciona el problema de la estabilidad de los muros de mampostería sueltos. En conclusión, se construye una viga de enlace perimetral a nivel de cubierta y se encamisan las cuatro columnas esquineras.

BIBLIOGRAFIA

1. **BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL**, “FEMA 178 – NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings”, Washington D.C., 1988.

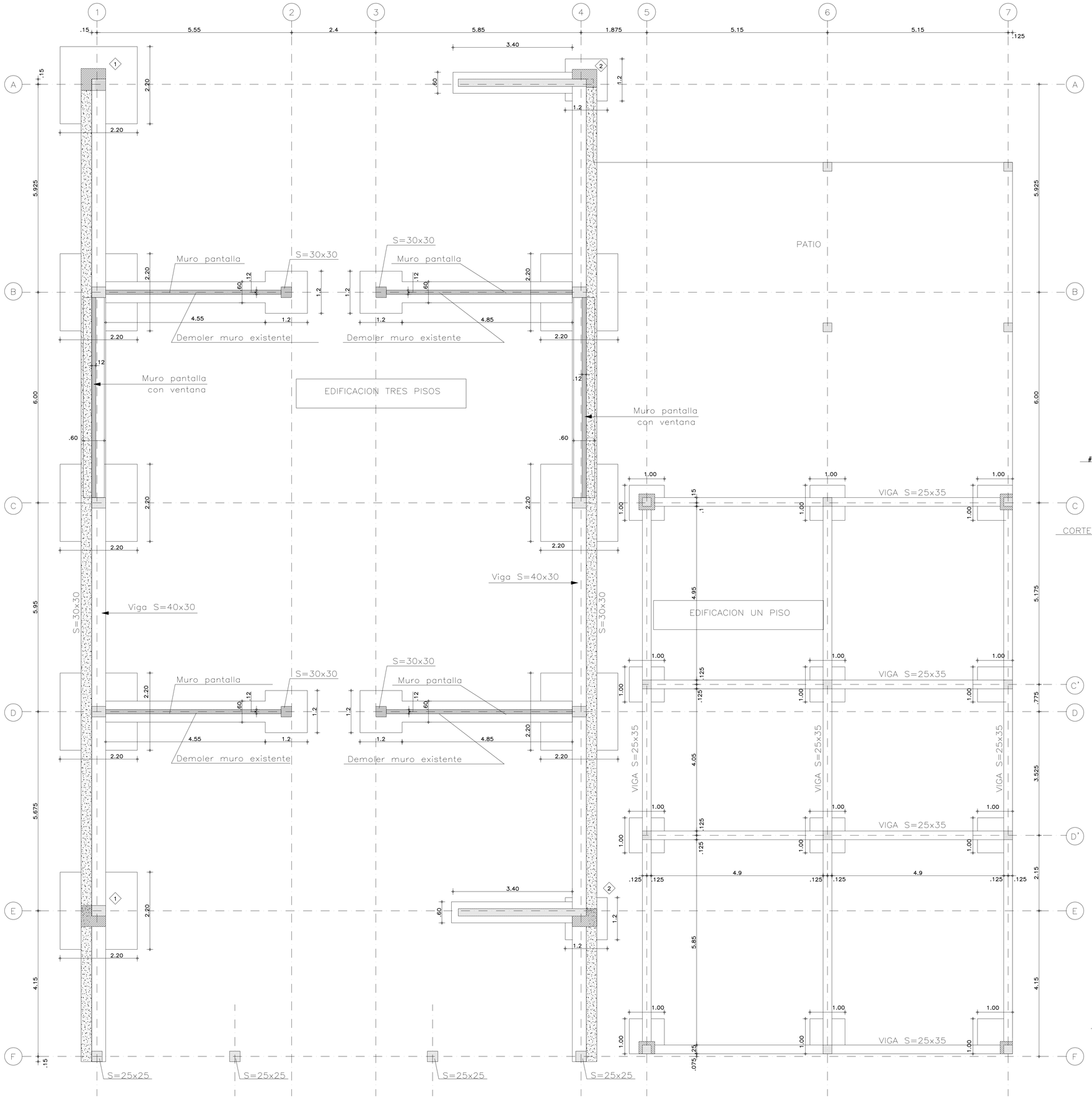
2. **NEHRP**, “FEMA 273 and FEMA 274 – NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings”, Washington D.C., 1997.

3. **PAULAY T., y PRIESTLEY N**., “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, New York, 1994.

4. **HABIBULLAH A.**, “ETABS – Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems”, Computers and Structures Inc., California, 1993.

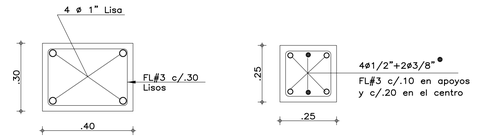
5. **MCEER**, “IDARC2D – Inelastic Damage Analysis of Buildings”, New York, 1996.

6. **AIS**, “Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98”, Colombia, 1998.



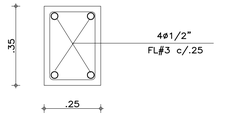
PLANTA DE CIMENTACION
ESC. 1:50

◇ Indica tipo de encamisado en columnas del edificio de 3 pisos

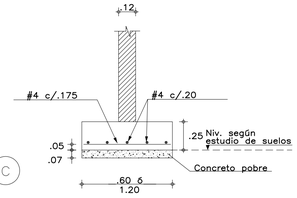


COLUMNA ACTUAL S=40x30
ESC. 1:12.5

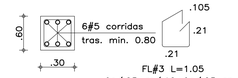
COLUMNA ACTUAL S=25x25
ESC. 1:12.5



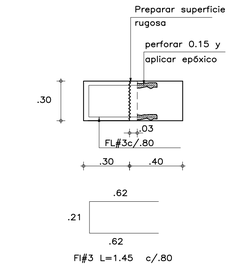
VIGA DE AMARRE ACTUAL S=25x35
ESC. 1:25



CORTE CIMIENTO PANTALLAS NUEVAS
ESC. 1:25

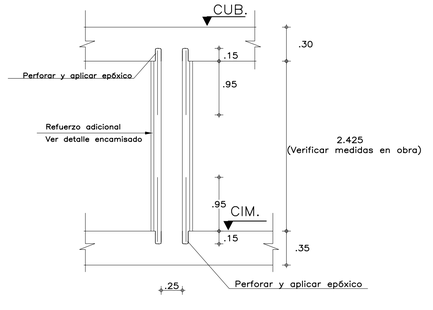


VIGA DE CIMENTACION NUEVA
EN ZONA DE 3 PISOS
S=30x30
ESC. 1:25



NOTA:
En la zona de columnas
colocar 2 flejes

DETALLE CONECTOR ENTRE VIGA DE CIMENTACION
EXISTENTE Y NUEVA EN ZONA DE 3 PISOS
ESC. 1:25



ALZADO ENCAMISADO COLUMNAS S=25x25 zona 1 piso
ESC. 1:25

NOTA:
Ver detalles columnas encamisadas y refuerzo
pantallas en PL N°2 y N°3

INDICA VIGA NUEVA

INDICA PANTALLA NUEVA

INDICA COLUMNA ENCAMISADA

PLANO N°

N°	FECHA	MODIFICACIONES	EJECUTO

MATERIALES:
f'_c= 210 Kg/cm²
f_y= 4200 Kg/cm²

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO FOPAE– SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD.

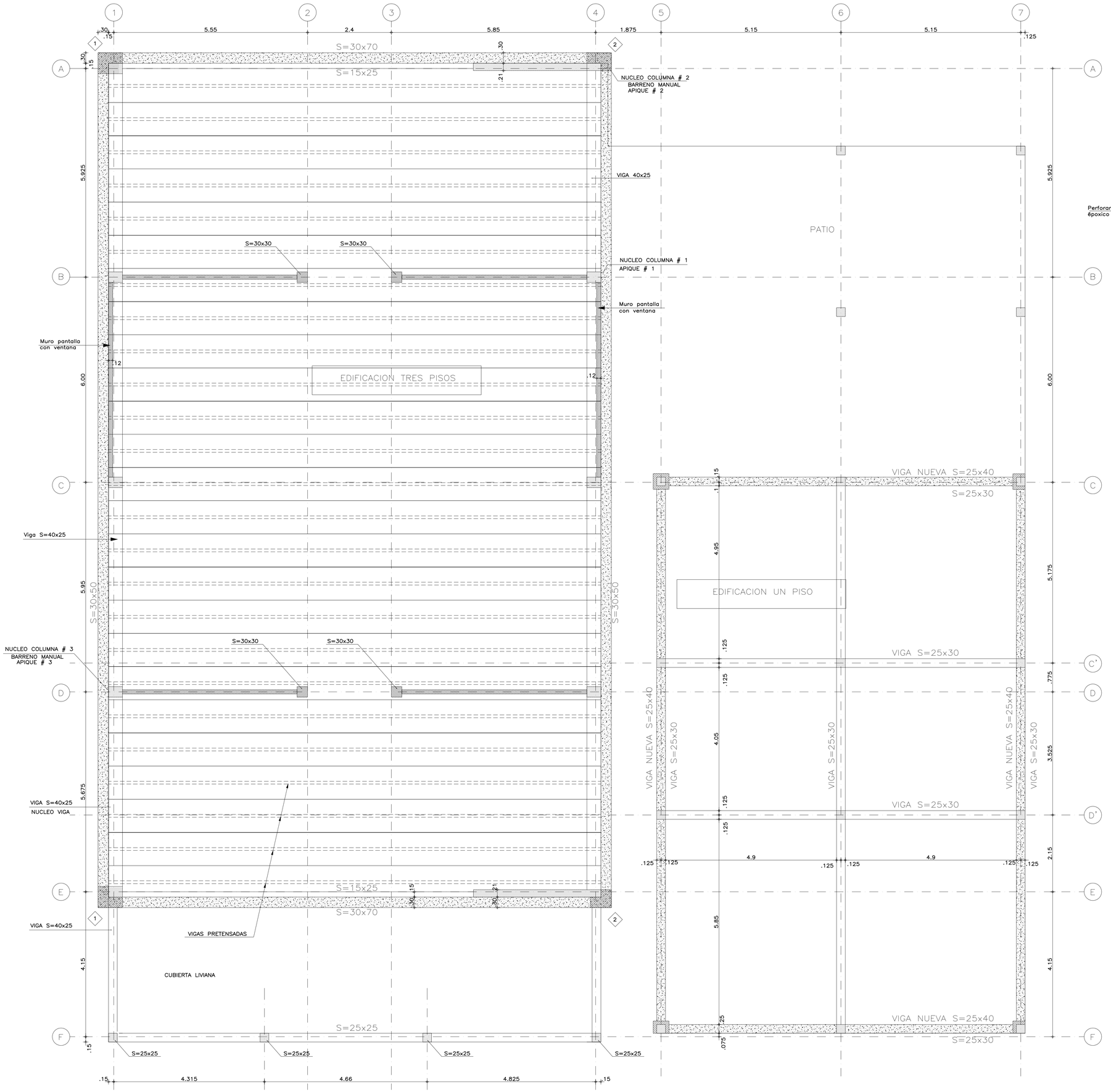
INGENIERO C.P.A.	DIRECTOR A.P.I.		
DIBUJANTE P.B.P.	FECHA Dic. de 1999		
ESCALA 1 : 50	ARCHIVO 02455-CM.DWG		

PROYECTISTAS CIVILES ASOCIADOS

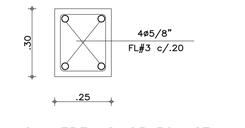
PROYECTO: REHABILITACION SISMICA CAMI OLAYA

CONTENIDO:

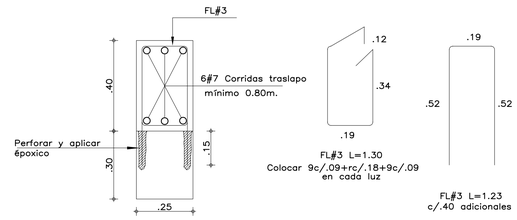
PLANO N°



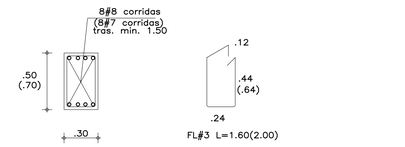
PLANTA SEGUNDO PISO
ESC. 1:50



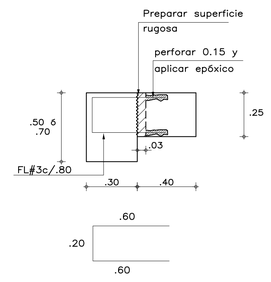
VIGA AEREA S=25x30 ACTUAL
ESC. 1:12.5



VIGA NUEVA S=25x40 SOBRE
VIGAS EXISTENTES ZONA 1 PISO
ESC. 1:12.5



VIGA NUEVA S=30x50 (S=30x70) ZONA 3 PISOS
ESC. 1:25
Entre ( ) válidos para S=30x70



Fl#3 L=1.40 c/.80

DETALLE CONECTOR ENTRE VIGA AEREA
EXISTENTE Y NUEVA ZONA 3 PISOS
ESC. 1:25

NOTA:
Ver detalles columnas encamisadas y refuerzo pantallas en PL N°2 y N°3

INDICA VIGA NUEVA

INDICA PANTALLA NUEVA

INDICA COLUMNA ENCAMISADA

INDICA ENCAMISADO EN COLUMNAS DEL EDIFICIO DE 3 PISOS

PLANO N° 2

N°	FECHA	MODIFICACIONES	EJECUTO

MATERIALES:
f'c= 210 Kg/cm²
fy= 4200 Kg/cm²

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO FOPAE- SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD.
CONTRATO DE CONSULTORIA CCS - 048 - 99

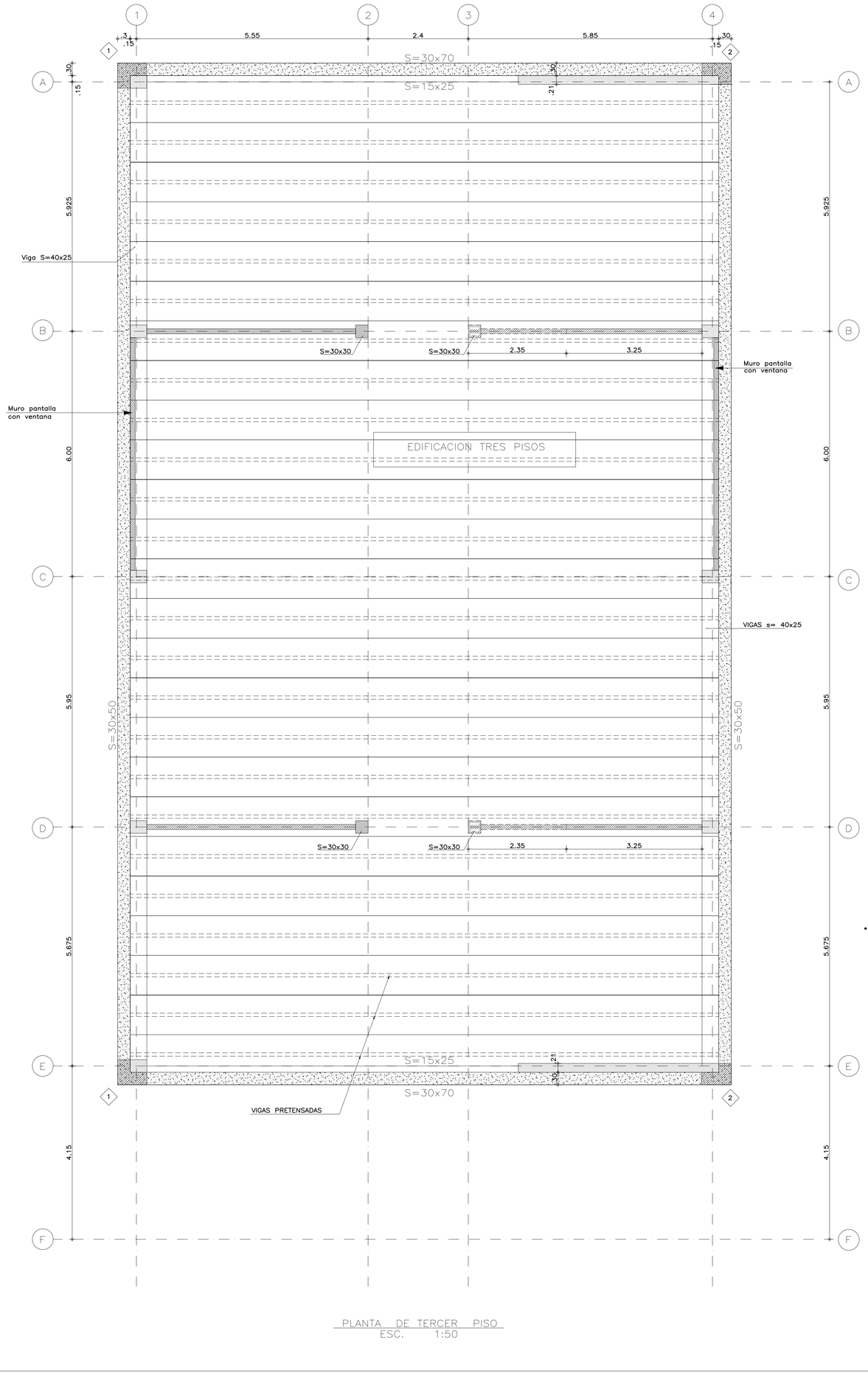
DIRECTOR	A.P.I.
INGENIERO	C.P.A.
DIBUJANTE	P.B.P.
FECHA	Dic. de 1999
ESCALA	1 : 50
ARCHIVO	02455-P1.DWG
PROYECTO N°	2455
HOJA N°	16132

PROYECTISTAS CIVILES ASOCIADOS

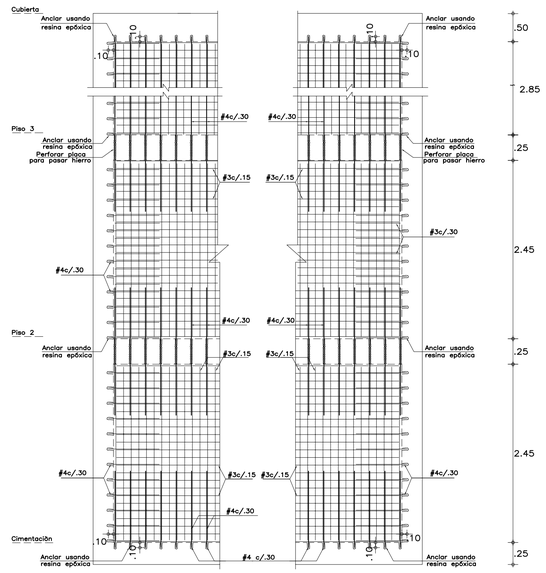
PROYECTO: REHABILITACION SISMICA CAMI OLAYA

CONTENIDO: PLANTA SEGUNDO PISO

PLANO N° 2



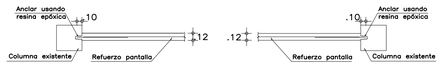
PLANTA DE TERCER PISO
ESC. 1:50



DETALLE ANCLAJE HIERROS – ALZADO
ESC. 1:25

Todas las pantallas deben
llevar malla c/.15 en ambos sentidos

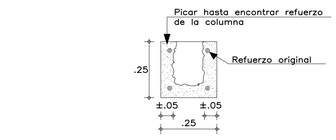
Nota: Las alturas deben ser verificadas en obra



DETALLE ANCLAJE HIERROS – PLANTA
ESC. 1:25

DISTRIBUCION DE
Flejes # 3

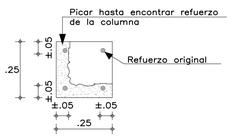




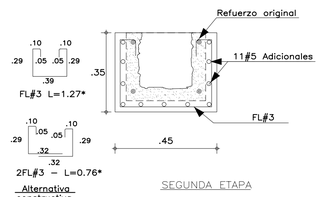
PRIMERA ETAPA



PRIMERA ETAPA



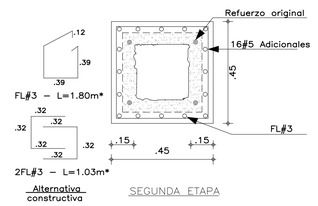
PRIMERA ETAPA



SEGUNDA ETAPA

* Ver distribución de flejes # 3

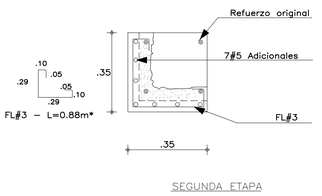
DETALLE REFORZAMIENTO COLUMNA DE FACHADA
(25x25) ZONA 1 PISO
ESC. 1:12.5



SEGUNDA ETAPA

* Ver distribución de flejes # 3

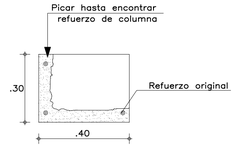
DETALLE REFORZAMIENTO COLUMNA INTERIOR
(25x25) ZONA 1 PISO
ESC. 1:12.5



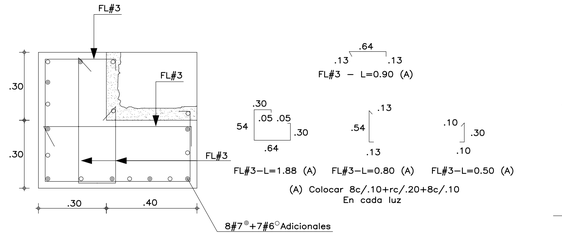
SEGUNDA ETAPA

* Ver distribución de flejes # 3

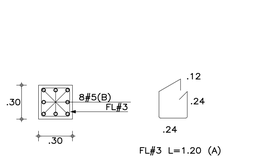
DETALLE REFORZAMIENTO COLUMNA
ESQUINERA (25x25) ZONA 1 PISO
ESC. 1:12.5



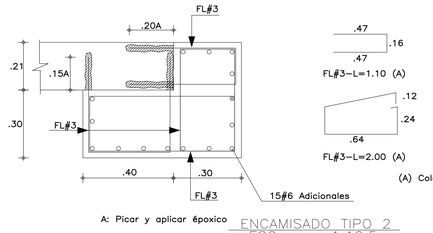
PRIMERA ETAPA



ENCAMISADO TIPO 1
ESC. 1:12.5



COLUMNAS NUEVAS S=30x30
ESC. 1:25



ENCAMISADO TIPO 2
ESC. 1:12.5

NOTA:
Ver detalles columnas encamisadas y refuerzo
pantallas en PL N°2 y N°3

INDICA VIGA NUEVA

INDICA PANTALLA NUEVA

INDICA COLUMNA ENCAMISADA

INDICA ENCAMISADO EN COLUMNAS
DEL EDIFICIO DE 3 PISOS

MATERIALES:
f'c= 210 Kg/cm²
fy.= 4200 Kg/cm²

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO FOPAE–SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD.
CONTRATO DE CONSULTORIA CCS – 048 – 99

N°	FECHA	MODIFICACIONES	EJECUTO

PLANO N° 3

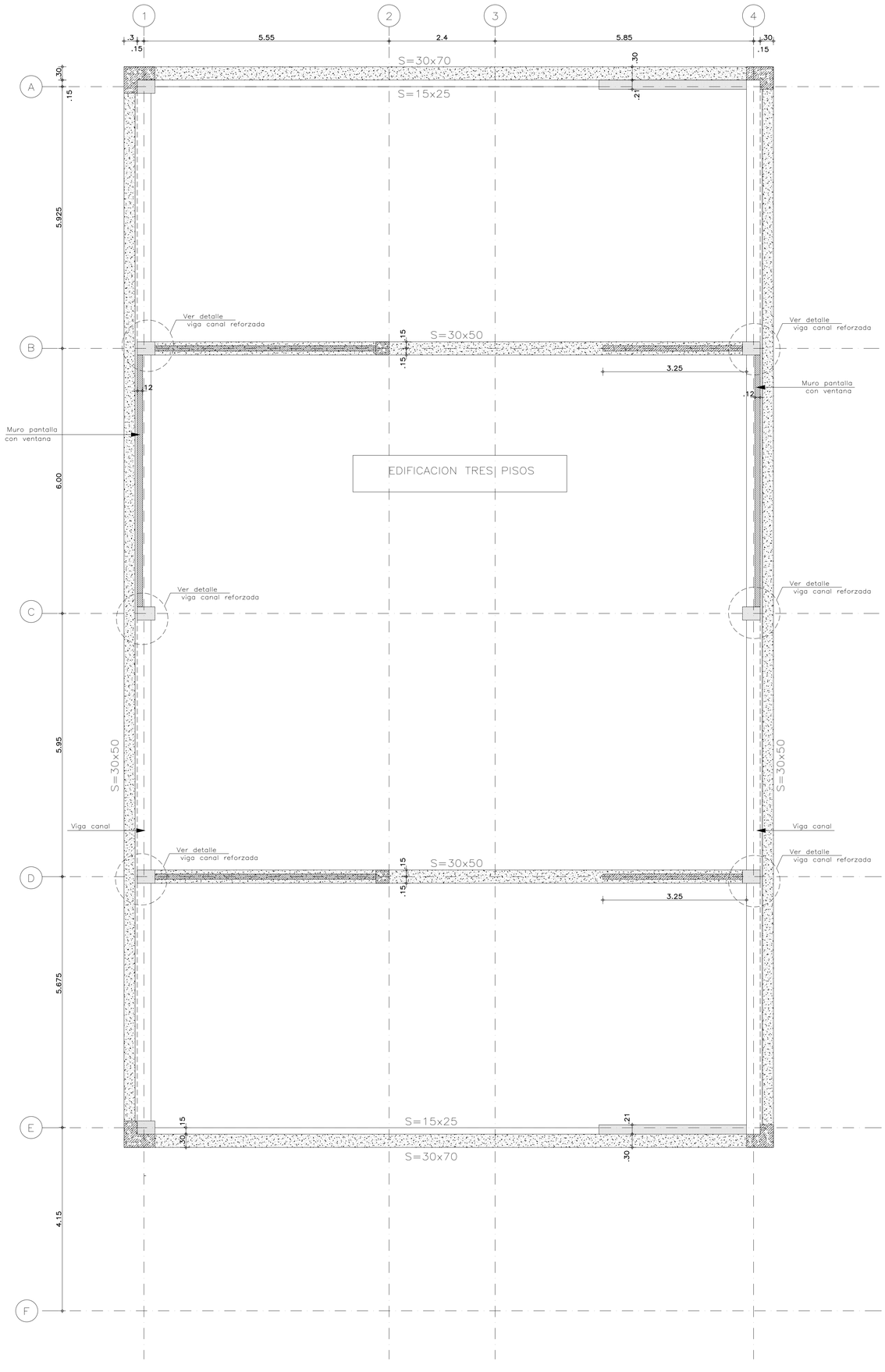
INGENIERO C.P.A.		DIRECTOR A.P.I.	
DIBUJANTE P.B.P.		FECHA Dic. de 1999	
ESCALA 1 : 50		ARCHIVO 02455P2–3.DWG	
HOJA N° 16660		PROYECTO N° 2455	

PROYECTISTAS CIVILES ASOCIADOS

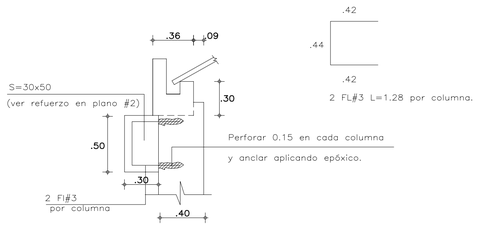
PROYECTO: REHABILITACION SISMICA CAMI OLAYA

CONTENIDO: PLANTA DE TERCER PISO

PLANO N° 3



PLANTA DE CUBIERTA
ESC. 1:50



DETALLE VIGA CANAL REFORZADA
ESC. 1:25

PLANO N° 4

N°	FECHA	MODIFICACIONES	EJECUTO

MATERIALES:
f'c= 210 Kg/cm²
fy= 4200 Kg/cm²

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO FOPAE – SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD.
CONTRATO DE CONSULTORIA CCS – 048 – 99

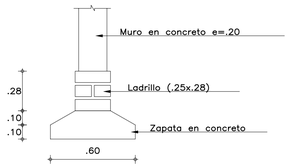
INGENIERO C.P.A.	DIRECTOR A.P.I.
DIBUJANTE P.B.P.	FECHA Dic. de 1999
ESCALA 1 : 50	ARCHIVO 02455-P1.DWG
HOJA N° RP-16132	PROYECTO N° 2455

PROYECTISTAS CIVILES ASOCIADOS

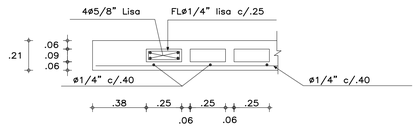
PROYECTO: REHABILITACION SISMICA CAMI OLAYA

CONTENIDO: PLANTA DE CUBIERTA

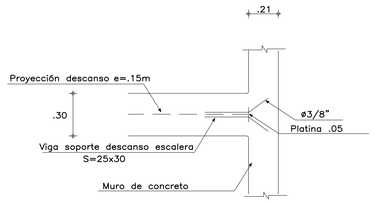
PLANO N° 4



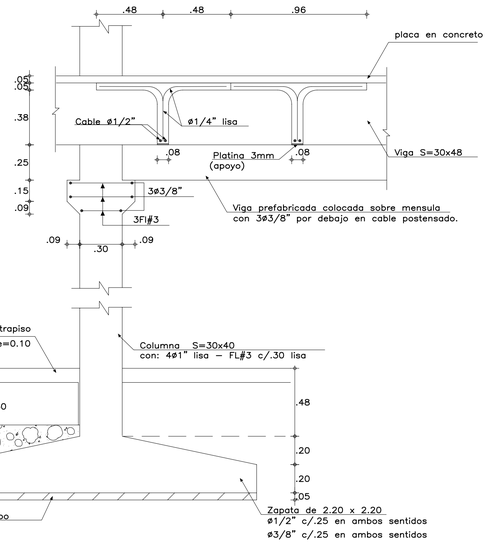
CIMIENTO MURO ACTUAL
ESC. 1:20



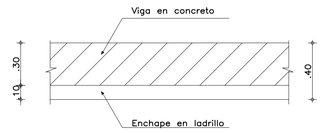
PLANTA MURO ACTUAL
ESC. 1:20



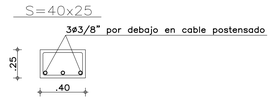
DETALLE ANCLAJE ESCALERA ACTUAL
ESC. 1:20



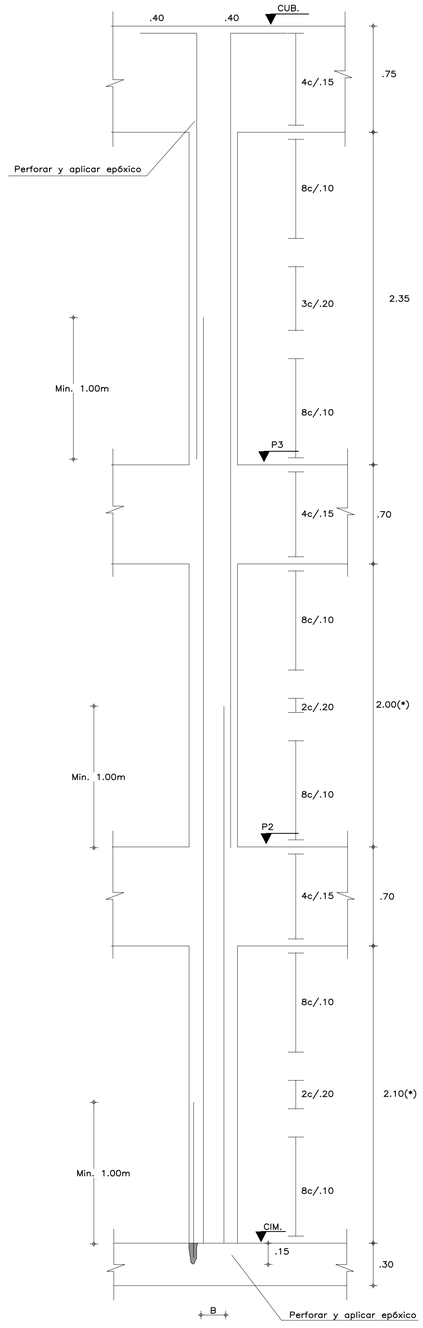
CORTE TIPICO ACTUAL
(EDIF. 3 PISOS)
ESC. 1:20



PLANTA VIGAS ACTUAL
ESC. 1:20



VIGA FACHADA ACTUAL
ESC. 1:20



ALZADO ENCAMISADO COLUMNAS ZONA 3 PISOS
ESC. 1:20
(*) Verificar medidas en obra

PLANO Nº 5

EJECUTO	
MODIFICACIONES	
FECHA	
Nº	

MATERIALES:
f'c= 210 Kg/cm²
fy= 4200 kg/cm²

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO FOPAE – SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD.
CONTRATO DE CONSULTORIA CCS – 048 – 99

DIRECTOR A.P.I.	
INGENIERO C.P.A.	FECHA Dic. de 1999
DIBUJANTE P.B.P.	ESCALA 1 : 20
	ARCHIVO 02455-DT.DWG
	HOJA Nº RP-16133
	PROYECTO Nº 2455

PROYECTISTAS CIVILES ASOCIADOS

PROYECTO: REHABILITACION SISMICA CAMI OLAYA

CONTENIDO: DETALLES ESTRUCTURA EXISTENTE

PLANO Nº 5