

# **DETALLES CONSTRUCTIVOS DEBIDO A LOS AISLADORES SISMICOS EN LAS CONSTRUCCIONES DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE, EN ECUADOR**

## **CONSTRUCTION DETAILS DUE TO SEISMIC ISOLATORS IN BUILDINGS OF THE UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE, IN ECUADOR**

**Roberto Aguiar**

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE  
Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos.  
Correo Electrónico: [rraguiar@espe.edu.ec](mailto:rraguiar@espe.edu.ec)

**Esteban Pazmiño**

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE  
Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos.

### **RESUMEN**

En la construcción de los nuevos Centros de Investigación y de Post grado de la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE , se tiene ocho Bloques Estructurales, de ellos seis tienen aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción, cuyos detalles constructivos se presentan en este artículo.

Para que estas estructuras con aisladores, puedan funcionar de acuerdo a lo calculado, deben desplazarse en el sentido horizontal cantidades considerables sin que tengan obstáculos en su movimiento lo que origina una serie de detalles constructivos sobre todo cuando se conectan un bloque estructural sin aisladores con otro que sí los tiene, como es el caso del bloque de acceso que contiene a las gradas y ascensor, que fue proyectado sin aisladores con los Bloques Estructurales uno y siete que sí los tienen.

Se presenta una descripción de cada Bloque Estructural, señalando la ubicación y la construcción de los elementos en los cuales se van a apoyar los aisladores.

En los Bloques Estructurales dos y tres, los aisladores se encuentran sobre las columnas del subsuelo. Las gradas y ascensores de estos bloques inician su movimiento en la planta baja del subsuelo debiendo recorrer un piso que no está aislado hacia los pisos superiores que se encuentran sobre aisladores sísmicos; los

detalles constructivos de las estructuras de acceso indicadas se presentan, porque es muy interesante la solución dada por el grupo de calculistas estructurales.

**Palabras Claves:** Estructura aislada conectada por Estructura no aislada. Aisladores de triple péndulo de fricción FPT.

## ABSTRACT

The construction of the new research centers and post grade of Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE, it has eight structural blocks, of which six have seismic isolators of friction pendulum system, whose construction details are presented in this article.

The structures with isolators, can function as calculated, should be able to move in the horizontal direction considerable amounts without having obstacles in its movement which results in a number of constructional details particularly when a structural block connected without isolators with other than if it have them, such as access block containing the stairs and elevator, which was designed without isolators Structural Blocks one and seven if they have them.

A description of each building block is presented the location and construction of the elements which will support isolators.

The Structural Blocks two and three, the isolators are located over the columns of subsoil. The stairs and elevators of these blocks begin their movement on the low level of the subsoil must go a floor that is not isolated to the upper floors that are on seismic isolators; the construction details of the access structures indicated are presented, because it is very interesting the solution given by the group of structural calculators.

**Keyword:** Isolated structure connected by not isolated structure. Isolators of friction pendulum system FPT.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

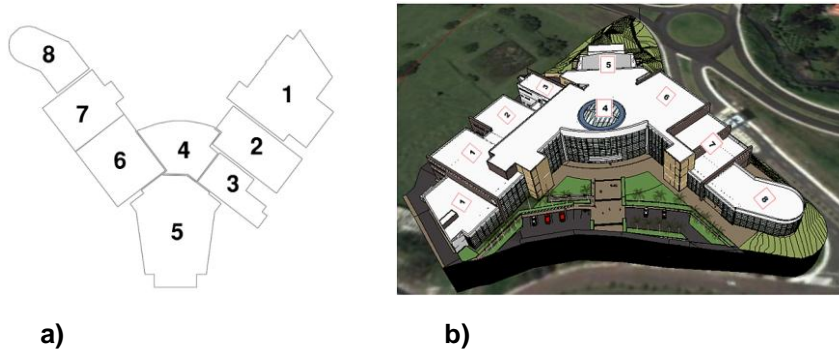
El primer centro de educación superior construido con aisladores sísmicos, en el Ecuador, se encuentra en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que a futuro, en este artículo se denominará, UFA-ESPE y que mejor hacerlo en los nuevos Centros de Investigación y de Post Grado de la Institución, donde se genera el conocimiento científico. Se está construyendo con tecnología de punta y al hacerlo con aisladores sísmicos se está precautelando no solo el buen funcionamiento de los diferentes bloques estructurales sino también de sus contenidos [13], [14].

Los detalles constructivos fue lo que demandó un tiempo considerable por lo que se decidió escribir este artículo, para que sirva de guía para otros calculistas estructurales, en proyectos similares. En efecto demandó un tiempo apreciable el detallar, por ejemplo, el puente que existe entre los Bloques 2 y 3, ya que los dos bloques trabajan independientemente con aisladores sísmicos, pero están unidos en algunos pisos por el puente.

### 1.1 Bloques estructurales

Las estructuras con aisladores sísmico se hallan ubicadas en el Campus del Valle de los Chillos, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha. Se planificó la construcción de 23338 metros cuadrados, en 8 Bloques Arquitectónicos, los mismos que se indican en la Figura 1 a), de ellos 6 tienen aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción FPT, y son los bloques: 1, 2, 3, 6, 7 y 8. Se aprecia en esta figura que los Bloques 6, 7 no tienen junta de construcción debido a que se decidió aislar a estos dos Bloques en conjunto, por eso se ha denominado Bloque 6-7.

En la Figura 1 b), se presenta una panorámica de todos los bloques en la implantación general del nuevo proyecto en la UFA-ESPE.



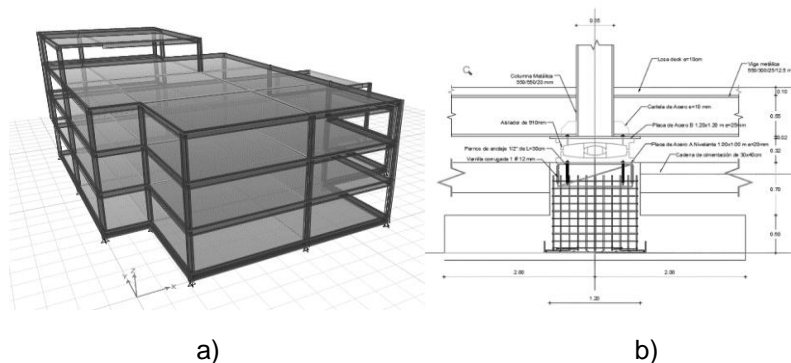
**Figura 1** a) Vista en planta de los Bloques; b) Panorámica de las nuevas construcciones de la UFA-ESPE.

### 1.2 Bloque uno

Como se muestra en la Figura 2 a), parte del Bloque Estructural uno, tiene un área que llega al segundo piso, otra parte llega al tercer piso y por último, en otra sección llega al cuarto piso; la parte de dos pisos se encuentra en la parte posterior derecha de la Figura 2 a), que no se alcanza a ver en forma clara.

En el Bloque Estructural 1, funcionarán los laboratorios y centros de investigación de los Departamentos de Ciencia de la Tierra y la Construcción, y de Mecánica. En este bloque los aisladores se encuentran sobre los pedestales que nacen de los plintos, como se observa en la Figura 2 b), se aprecia un plinto de 50 cm, de alto del cual sobresale un pedestal cuadrado de hormigón armado de 1.20 m., de lado sobre el que se asienta el aislador FPT que tiene 1 m, de lado; en la

parte superior del pedestal e inferior del aislador, va una cadena de amarre de 30/40 cm., de hormigón armado. Sobre el aislador se tiene la losa de aislación cuyas vigas son de acero y termina con una placa de hormigón Deck [18].



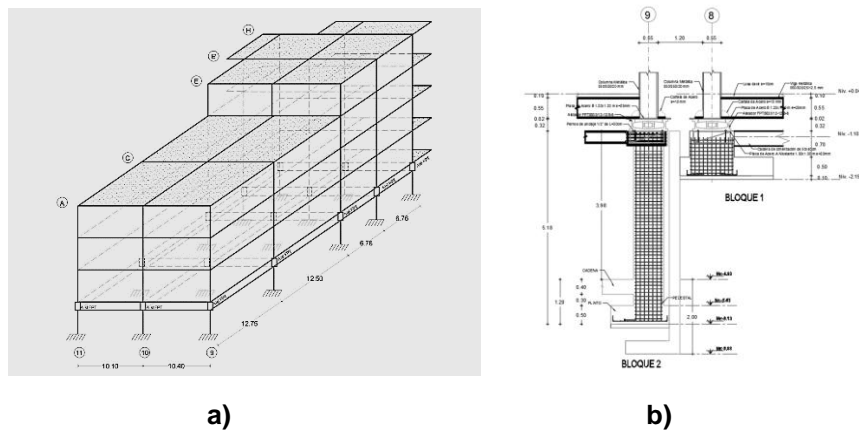
**Figura 2** Bloque 1:a) Estructura en 3D Bloque 1; b) Ubicación de un aislador FPT sobre un pedestal de hormigón armado que nace del plinto, en el Bloque 1.

### 1.3 Bloque dos

El Bloque Estructural 2, tiene cuatro pisos en un sector y cinco en otro, siendo la primera planta un subsuelo como se observa en la Figura 3 a). Entre el Bloque 2 y el Bloque 1, existen un desnivel de 4.90 m, razón por la que se construyó un muro de contención que se aprecia en la Figura 3 b) donde además se aprecia los dos ejes de columnas de los ejes 1 y 2 con sus respectivos aisladores FPT [16]. El Bloque Estructural 2 está destinado para Ciencias de la Vida.

El GAP que existe entre los Bloques Estructurales 1 y 2 es de 1.20 m, que contempla la posibilidad remota de que los dos bloques se muevan en desfase. Con esta acotación en la Figura 3 b) se presenta un detalle de los plintos de los dos Bloques Estructurales indicados y se observa que los aisladores se encuentran al mismo nivel con la diferencia de que en el Bloque 1, están directamente sobre el pedestal del plinto y que en el Bloque 2 sobre las columnas de hormigón del subsuelo que son de 80 cm, de lado con una canastilla cuadrada en la parte superior de 1.20 m, de lado, donde se apoyó el aislador.

El Bloque Estructural 2 tiene conexión con los Bloques 1 y 3 que también tienen aisladores sísmicos. Pero adicionalmente tiene conexión con el Bloque de Circulación 4, que tiene un domo circular en la cubierta y no tiene aisladores [9]. Por lo tanto, entre los Bloques 2 y 4, se tiene un Bloque con aisladores sísmicos (Bloque 2) al lado de un Bloque que no tiene aisladores sísmicos (Bloque 4). El Bloque Estructural 2 está destinado para Ciencias de la Vida. En este bloque la aislación se encuentra a la altura del primer piso, debido al subsuelo de 4.94 m.



**Figura 3** Bloque 2: a) Estructura en 3D Bloque 2; b) GAP de 1.20 m, entre los Bloques 1 y 2, y vista en elevación de plintos, cimentación de muro, columnas de hormigón, pedestales, cadenas, canastilla y aisladores FPT.

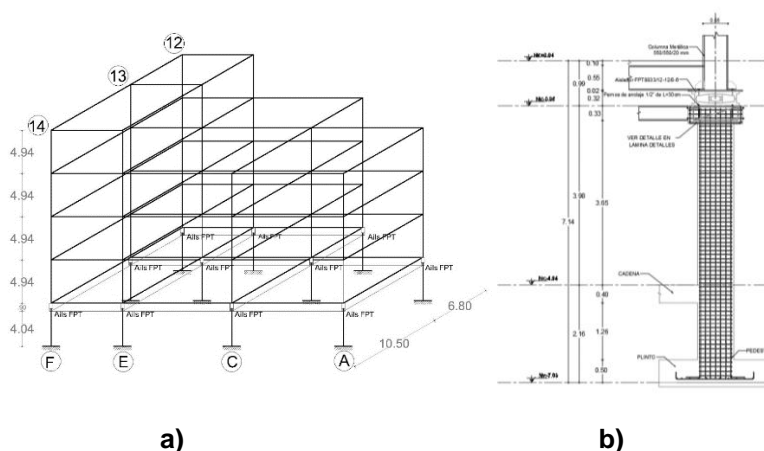
#### 1.4 Bloque tres

El Bloque estructural 3 tiene cuatro pisos en un sector y cinco en otro, siendo la primera planta un subsuelo al igual que el Bloque Estructural 2, como se observa en la Figura 4 a). Entre el Bloque 2 y el Bloque 3 se tiene una separación de 3 metros pero estos bloques están conectados con un pequeño puente de 2.20 m de ancho. De tal manera que se tomaron precauciones constructivas especiales para que estos dos Bloques con aisladores sísmicos, que trabajan en forma independiente puedan desplazarse sin impactarse [17], [22], [24]. En el Bloque Estructural 3 funcionará Nanotecnología, que tiene equipos muy sensibles a las vibraciones por lo que se decidió que estos equipos vayan en el subsuelo y los aisladores se encuentren a la altura del primer piso.

En la figura 4 b) se presenta un plinto perimetral, la columna de hormigón armado de 80/80 cm, la canastilla de 1.20 m, de lado y el aislador ubicado sobre la canastilla. Nótese que en la parte inferior del aislador existe una viga de acero tipo "I", de tal manera que el aislador se encuentra entre una viga inferior y una viga superior. La función de la viga inferior es ayudar a que los aisladores tengan el mismo desplazamiento lateral.

En algunos proyectos estructurales, omiten la viga inferior a los aisladores, o la construyen en determinados sectores pero en el proyecto de la UFA-ESPE se decidió colocarlos por la razón indicada y para que ayude con el efecto  $P - \Delta$ . Es muy positiva la colocación de la viga inferior, no debería omitirse.

Nótese que también se tienen las cadenas de 30/40 cm, en la parte inferior de las columnas que a más de elementos de amarre, sirven para soportar las cargas que se transmiten por las columnas y vigas.

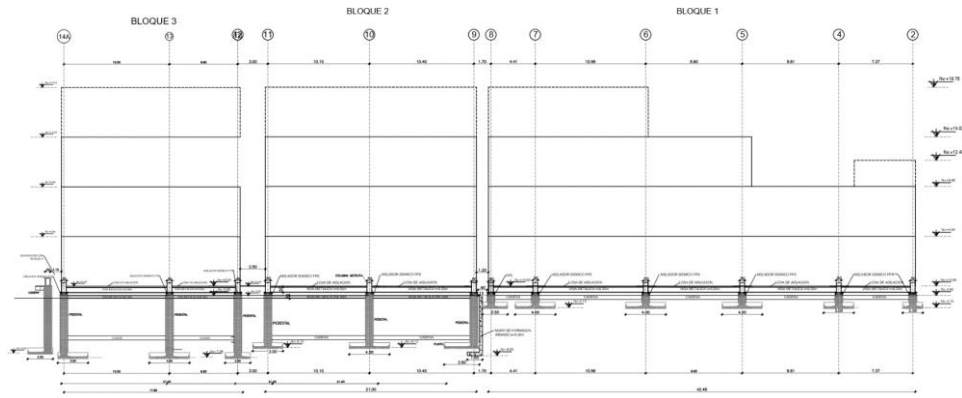


**Figura 4** Bloque 3: a) Estructura en 3D Bloque 3; b) Elevación de un eje de columna perimetral en que se observa el plinto, la columna cuadrada de 80 cm de lado, la canastilla, la viga inferior y superior al aislador y la cadena.

## 1.5 Bloques 1,2 y 3

Para terminar con la descripción de los Bloques Estructurales 1, 2 y 3, en la Figura 5 se presenta un corte longitudinal donde se observan estos tres bloques y se aprecia lo siguiente:

- La cimentación está compuesta por plintos cuadrados que tienen una altura de 50 cm.
- Las columnas y pies de columnas de hormigón armado están unidos entre sí por medio de cadenas de 30/40 cm (b,h), que van a nivel de piso. Estas cadenas a más de unir las columnas son elementos resistentes de las fuerzas que llegan a la cimentación. [15].
- La altura de los entrepisos es de 4.94 m.
- Los Bloques Estructurales 1, 2 y 3 trabajan en forma independiente.
- Los aisladores FPT se han colocado sobre las columnas del hormigón del primer piso en los Bloques Estructurales 2 y 3. En el Bloque 1, se hallan sobre los pedestales que nacen de la cimentación.
- La separación entre los Bloques 1 y 2 es de 1.20 m. Y la separación entre los Bloques 2 y 3 es de 3.0 m.



**Figura 5** Elevación de los Bloques 1,2 y 3

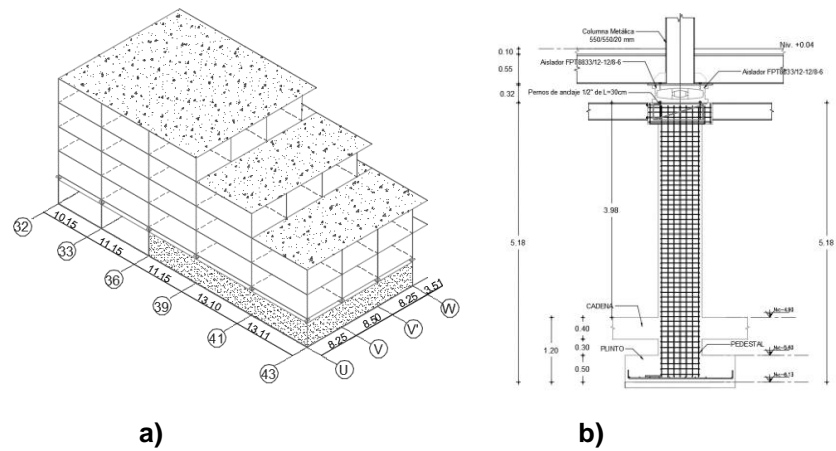
## 1.6 Bloque seis

El Bloque estructural 6 tiene cuatro pisos y un subsuelo, comprendido desde el eje 32 hasta el eje 39, como se observa en la Figura 6 a). Este Bloque Arquitectónico con el Bloque 7 están unidos estructuralmente, sin embargo arquitectónicamente se los considera en forma separada. El Bloque 6 está destinado a los Centros de Investigación de: Electrónica, y Seguridad y Defensa.

El Bloque Arquitectónico 6, también tiene conexión con el Bloque Estructural 4 de Circulación que no tiene aisladores sísmicos, de tal manera que se tendrá especial cuidado en la unión de estos dos Bloques en el proceso constructivo. Más adelante se presentarán estos detalles que permitan el desplazamiento lateral del Bloque Estructural 6-7 sin impacto con el Bloque Estructural 4 [7].

En este bloque la aislación sísmica se encuentra a la altura del primer piso, debido a que tiene un subsuelo; como se observa en la Figura 6 b), en que se presenta un columna de hormigón, y sobre la que se asienta una canastilla de hormigón de 1.20 m, de lado para que el aislador tenga mayor base para apoyarse. Adicionalmente la canastilla aporta con peso con el problema del efecto  $P - \Delta$ , de igual manera aportan con el efecto último las vigas de acero que se hallan en la parte inferior del aislador. (Norma de aislación de Chile, INN, 2013).

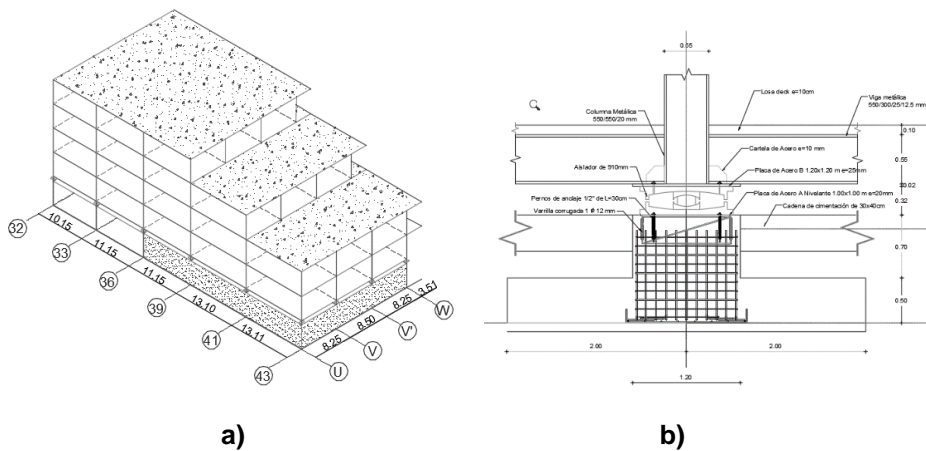
La razón de que los bloques estén unidos, Figura 6 a), es que el Proyecto Arquitectónico fue realizado antes del Proyecto Estructural, por eso se tienen dos Bloques: 6 y 7, con diferentes funciones cada uno de ellos. Esta forma de trabajo no es la adecuada, lo mejor habría sido trabajar en forma coordinada la parte arquitectónica, la estructural y las instalaciones.



**Figura 6** Bloque 6: a) Estructura en 3D Bloque 6-7; b) Elevación del plinto Bloque Arquitectónico 6.

**1.7 Bloque siete**

El Bloque estructural 7 tiene tres pisos en un sector y cuatro en otro, comprendido desde el eje 39 hasta el eje 43, como se observa en la Figura 7a), es una estructura irregular en elevación. En el Bloque Arquitectónico 7, funcionarán los Laboratorios de Computación y el Centro de Post Grado. En este Bloque los aisladores FPT se asientan sobre el pedestal que nace del plinto, como se observa en la Figura 7 b).

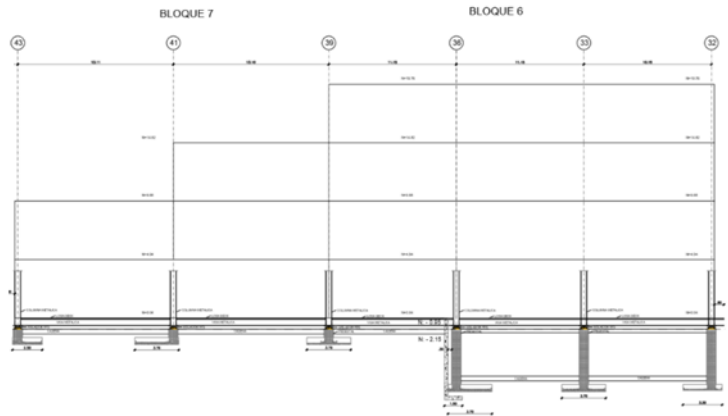


**Figura 7** Bloque 7: a) Estructura en 3D Bloque 6-7; b) Elevación de pedestal y aislador en el Bloque 7.

Se unió los Bloques Arquitectónicos 6 y 7 para dar origen al Bloque Estructural 6-7 sobre aisladores sísmicos, de esa manera se elimina la junta de construcción que habría llevado a dejar un GAP de 1.20 m, como sucedió entre los Bloques Estructurales 1 y 2, que conlleva a modificar las fachadas. Es interesante



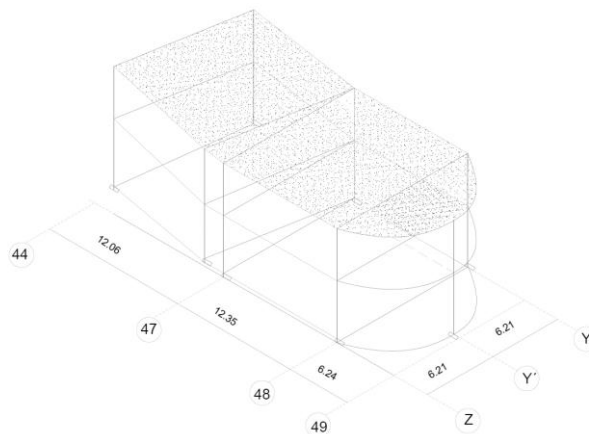
el análisis estructural del Bloque 6-7 debido a la forma de los pórticos, como se observa en la Figura 8 [7].



**Figura 8** Pórtico longitudinal del Bloque Estructural 6-7

## 1.8 Bloque ocho

El Bloque Estructural 8, como se indica en la Figura 9, tiene dos pisos y está compuesto por una estructura muy irregular en planta, ya que los pórticos no son ortogonales, son inclinados lo que obligó a primero definir un modelo numérico de cálculo que se presenta con detalle en [8]. Se debe indicar que en el Bloque Estructural 8, funcionará la parte Administrativa del Centro de Post Grado.



**Figura 9** Estructura en 3D Bloque 8

En la Figura 10 se presenta una secuencia constructiva, de la base donde se apoyan los aisladores sísmicos FPT. En la Figura 10a) se presenta un eje de

cadenas del Bloque Estructural 8 y ahí se observa que el eje no es recto, tiene dos segmentos el uno inclinado y el otro recto, se observa además que los hierros longitudinales de las cadenas pasan el nudo donde irá el aislador

En la Figura 10b) se muestra las cadenas del Bloque Estructural 8 y la armadura del pedestal se observa la armadura de la celosía que soportará una placa de acero de 2 cm, de espesor sobre la que se asienta el aislador FPT.

En la Figura 10 c) se ve que ya se ha colocado y soldado la placa de apoyo de los aisladores, está lista para la colocación del Grout Aditec y se destaca que se han colocado cuatro canastillas (en la placa de apoyo) en las que van los pernos de anclaje que tiene la base del aislador y en el centro se dejó una abertura que facilita la colocación del hormigón en el nudo conformado por las cadenas y pedestal.



a)

b)

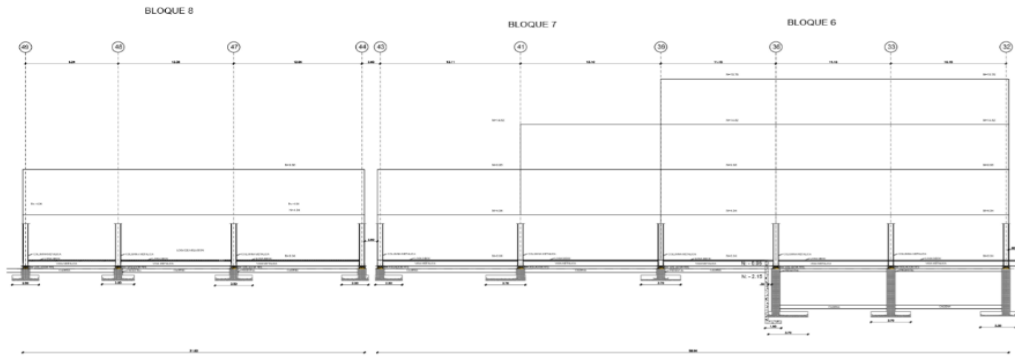


c)

**Figura 10** a) Armadura de cadenas que atraviesan el pedestal; b) Armadura para soportar la placa de apoyo; c) Placa de apoyo sobre pedestal.

## 1.9 Bloques 6-7 y 8

En la Figura 11 un corte longitudinal donde se puede visualizar la ubicación de los aisladores FPT, las columnas de hormigón en el subsuelo y la superestructura de acero, en los Bloques 8, 7 y 6 (de izquierda a derecha en figura 11). Se aprecia que entre los Bloques 8 y 7 se tiene un GAP de 1.20 m.



**Figura 11** Elevación de los bloques 6,7 y 8.

Se ha terminado de describir los Bloques Estructurales de la UFA-ESPE, donde se colocarán aisladores sísmicos. Ahora para tener completa una idea de toda la construcción en los siguientes sub apartados se describirán los Bloques que tienen disipadores de energía [12]. Este artículo está destinado a los aisladores sísmicos razón por la que se detalla muy poco el sistema constructivo de los Bloques Estructurales con Disipadores de Energía Shear Link Bozzo.

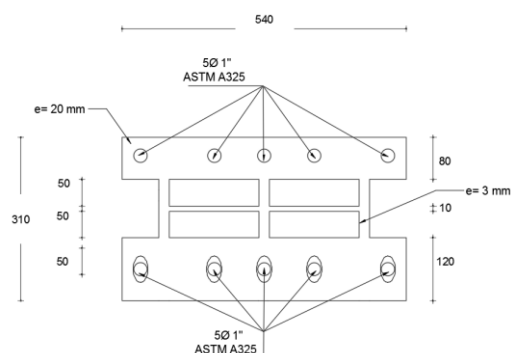
### 1.10 Bloque cuatro

En la Figura 12 se observa la fachada principal del Bloque de Circulación 4, que tiene un Domo en la cubierta. Este Bloque sirve de enlace de los Bloques: 2, 3, 5, que corresponde al Auditorio (Bloque 5) y del 6-7.



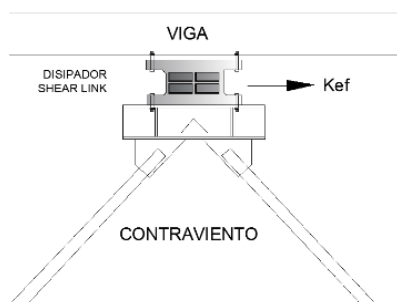
**Figura 12** Bloque 4, denominado también Bloque de Circulación.

En la Figura 13 se presenta la geometría de los disipadores que energía que se van a colocar en los Bloques Estructurales 4 y 5. Es un Shear Link Bozzo SLB 40\_3 [35], [36], es un disipador de 4 ventanas, cada una de ellas tiene un espesor de 3 mm, un ancho de 170 mm y una altura de ventana de 50 mm. El marco del disipador es de sección cuadrada de 20 mm, de lado.



**Figura 13** Disipador de energía SLB 40\_3.

La función principal de los disipadores de energía es incorporar amortiguamiento a la estructura, con lo que se reduce la respuesta sísmica, a más de ello se incorpora un poco más de rigidez ya que estos dispositivos van sobre diagonales de acero en forma de “V” invertida como se observa en la Figura 14. [9], [4].



**Figura 14** Disipador SLB colocado sobre un contraviento Chevrón.  
Fuente: [9], [10].

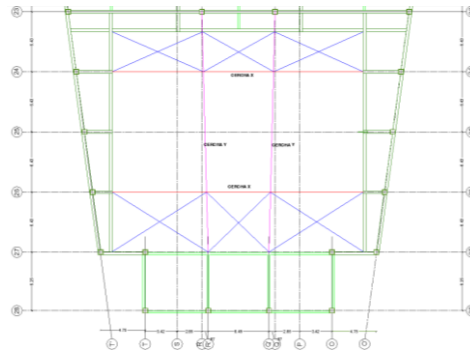
### 1.11 Bloque cinco

En la Figura 15 se presenta el Bloque Estructural del Auditorio, donde está el número 5, se tiene una cubierta a dos aguas que es de acero, con vigas San Andrés (Tensores). En cada uno de los lados de la estructura se tiene un pórtico con contravientos Chevrón y disipadores de energía SLB. [10].

En la Figura 16 se presenta la estructuración de la cubierta a dos aguas del Auditorio. Se aprecia que existe un balanceo en el número de pórticos en sentido transversal como longitudinal y a más de ello en el primer vano y último vano de la cubierta se tienen los tensores de una pulgada de diámetro con lo que se tiene un buen comportamiento sísmico.



**Figura 15** Bloque Estructural 5 con disipadores de energía SLB.



**Figura 16** Cubierta a dos aguas del Auditorio con Tensores  
Fuente: [10].

En la figura 15 se aprecia que el Bloque Estructural 5 es irregular en elevación, pero con la colocación de los disipadores de energía y los tensores se logró tener un buen desempeño sísmico.

### 1.12 Bloques 4 y 5

El Bloque Estructural 5 tiene un teatro con una cubierta a dos aguas y un restaurante en el segundo piso; además un subsuelo que comparte con el Bloque Estructural 4. Por otra parte el Bloque Estructural 4 tiene 5 pisos y comparte un subsuelo con el Bloque cinco.

La Figura 17 presenta un corte longitudinal de los Bloques Estructurales 4 y 5, cuyo objetivo es visualizar el lugar donde se encuentran los disipadores de energía SLB en estos dos pórticos. Se destaca que es un corte, eso significa que no corresponde a un determinado pórtico. Sobre cada contraviento Chevrón se tienen 3 disipadores SLB 40\_3.

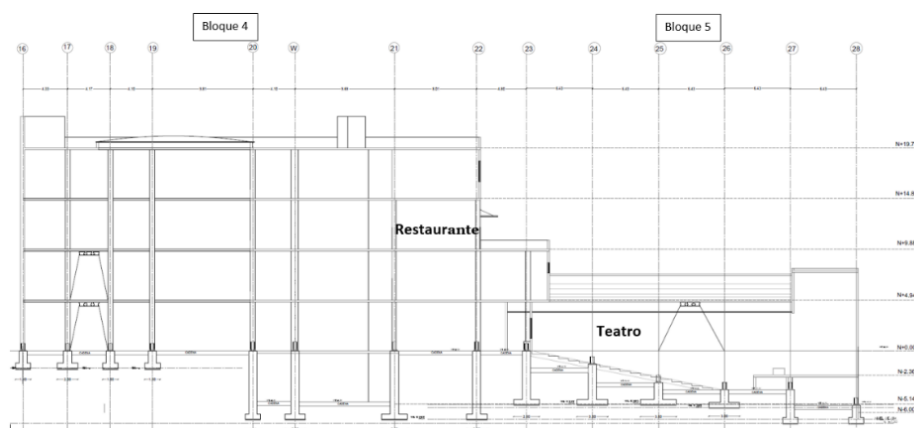


Figura 17 Corte longitudinal Bloque 4 y 5.

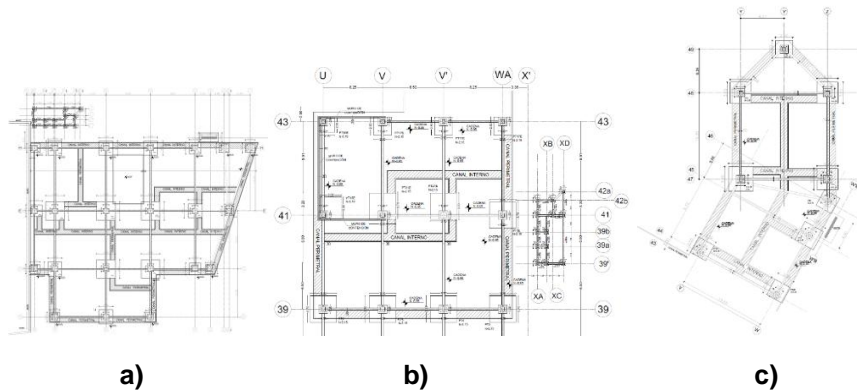
## 2. AISLADORES FPT

Considerando el nuevo Centro de Investigaciones Científicas y de Post Grado una obra emblemática dentro de la universidad y sobre todo teniendo en cuenta los laboratorios y equipos informáticos que van a tener se decidió en algunos bloques estructurales colocarles aisladores sísmicos para limitar los desplazamientos laterales, velocidad y aceleraciones. Se decidió trabajar con un aislador de triple péndulo de fricción, por sus siglas en inglés FPT [33], [34].

Se conoce que cada Aislador instalado tendrá un movimiento oscilatorio si se produce un evento sísmico, por tal razón los ingenieros calculistas obviamente están al tanto de esto y todo lo que implica este sistema. Sin embargo todas las especialidades que van a participar en el nuevo proyecto de la UFA-ESPE, sea la parte eléctrica, electrónica, de incendios y sanitaria, deben tener en cuenta que estos dispositivos van a tener grandes desplazamientos y como puede eso afectar a sus materiales, para que se tomen las precauciones constructivas del caso.

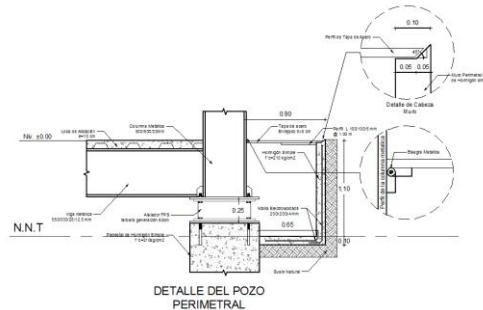
### 2.1 Acceso a los aisladores

En los Bloques Estructurales de la UFA-ESPE se decidió tener la aislación sísmica, sobre los plintos en los bloques 1, 7 y 8, mientras que en los bloques 2, 3 y 6, la aislación está a la altura del primer piso. Se destaca que los Bloques 6 y 7 trabajan en forma conjunta. Para los bloques 1, 7 y 8, se necesita un acceso y espacio suficiente para la inspección de los aisladores y posibles reparaciones del sistema protector (goma exterior) en caso remoto que pueda darse (En los aisladores colocados en Chile desde 1992, a la fecha no se ha reportado ningún daño en los aisladores). En la Figura 18 se presentan las zanjas de acceso.



**Figura 18** Zanjas de acceso a aisladores: a) Bloque 1; b) Bloque 7 y c) Bloque 8

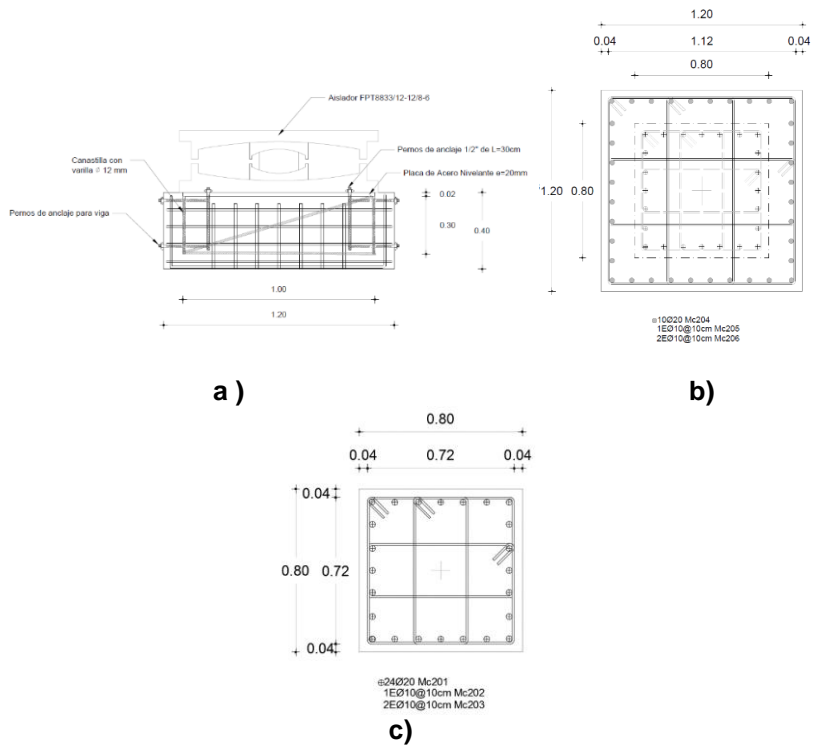
Por otra parte, en la Figura 18 se indica también las zanjas exteriores, las mismas que tienen una tapa, para circulación. Esta tapa no puede construirse en la forma tradicional debido a que con un sismo va a ser un obstáculo para el movimiento del aislador; por este motivo se diseñó una tapa especial que pueda levantarse como se aprecia en la Figura 19, donde podrá verse también otros detalles constructivos.



**Figura 19** Canal perimetral en los Bloques Estructurales que tienen aisladores sobre los pedestales de la cimentación. Fuente: [15].

## 2.2 Canastilla sobre columnas

En los bloques estructurales 2, 3 y parte del 6-7, los aisladores están sobre una columna de hormigón armado de 80 por 80 cm, sobre la cual va una canastilla de 1.20 m, por 1.20 m, y una altura de 0.4 m, que tiene la armadura indicada en la Figura 20. Está compuesta por una armadura longitudinal de  $\varnothing$  20 mm y 3 estribos  $\varnothing$  10 mm cada 10 cm. Adicional se tiene la placa de acero de 2 cm, de espesor con su respectiva armadura de sostenimiento (celosía), como ya se ha indicado sobre esta placa va el aislador.



**Figura 20** Armadura de columna y canastilla: a) vista en elevación de canastilla; b) vista en planta de canastilla; c) sección transversal de columna.

En la figura 20 c) se indican la armadura de la columna de hormigón armado, para los Bloques 2, 3 y parte del 6-7. Sobre la columna va la canastilla indicada en la figura 20, que tiene una placa de acero y el aislador FPT.

Se destaca que sobre los aisladores la superestructura es de acero, con columnas cuadradas de 500/500/20 mm, y vigas principales de 550/300/20/12.5. Ver tabla 1, donde se presenta además el área y la inercia a flexión de estos elementos estructurales. Se destaca que la columna tiene mayor capacidad a flexión que la viga y en cada una de las caras de la sección transversal de la columna van unas varillas de acero.

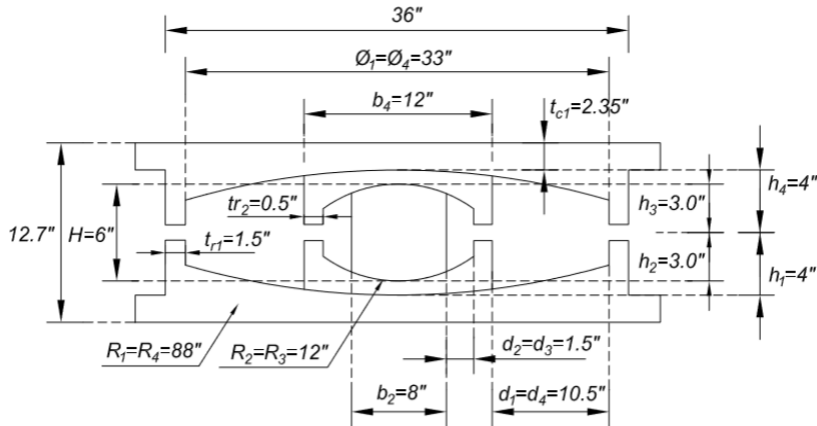
**Tabla 1** Sección transversal de columnas y viga principal

Fuente: [24]

Sección	Área(m <sup>2</sup> )	Inercia (m <sup>4</sup> )
<p>Vigas</p>	0.0215	0.00116458
<p>Columnas</p>	0.0424	0.00198785



Se va a colocar un aislador FTP8833/12-12/8-6; las tres primeras letras hacen referencia al nombre de aislador de triple péndulo de fricción. El número 88, indica el radio de curvatura de las placas exteriores del aislador en pulgadas, ver Figura 21 a); el número 33 representa el diámetro de las placas exteriores; el 12 es el radio de curvatura del aislador interior; luego se repite otra vez el 12 que es el diámetro del aislador interior (valor de  $b_4$ ) en base a esta cantidad se determina la rigidez vertical del aislador; el número 8, es la altura ( $h_1 = 4$ ;  $h_4 = 4$ ) y el último número 6 es la altura interior ( $h_2 = 3$ ;  $h_3 = 3$ ) [21].



a)



b)

**Figura 21** a) Geometría de aislador FTP8833/12-12/8-6; b) Aisladores en la Bodega del Proyecto.

En la Figura 21 b) se observan los aisladores en la bodega del proyecto, están inflados pero no porque el fabricante (EPS Earthquake Protection System) les haya enviado ex profesamente así, sino que por la altitud a la que se encuentra el

proyecto 2450 mm, sobre el nivel del mar existe una presión interior que dio origen al inflamamiento. Esto no afecta al funcionamiento de los aisladores, es más se puede pincharlos para dejar salir el aire.

Se presentó la Figura 21 b) porque en Bahía de Caráquez, ciudad que tiene temperaturas muy altas no se inflaron los aisladores ya que se encuentra al nivel del mar.

### 3. DETALLE CONSTRUCTIVOS DE GRADAS

Se presente los detalles constructivos, más sobresalientes, de las gradas del Proyecto. Para ello en primer lugar se indican los sitios donde se encuentran las gradas.

Luego se habla sobre la forma constructiva de las gradas de emergencia de acero que se encuentran en una estructura sin aisladores y sirven de acceso a la estructura con aisladores.

Posteriormente se presentarán las gradas de emergencia de Hormigón Armado, que están en una estructura sin aisladores.

Finalmente se pasa a describir el proceso constructivo de las gradas que se encuentran al interior de los Bloques con aisladores sísmicos que se encuentran sobre las columnas de hormigón armado [22], [24].

#### 3.1 Gradass del proyecto

La ubicación de las gradas del Proyecto UFA-ESPE se identifica con un rectángulo en la Figura 22, donde también se las ha numerado, anteponiendo la letra E. Se aprecia que existen 11 gradas cuya tipología está detallada en la tabla 2.



**Figura 22** Ubicación de las gradas en el Proyecto UFA-ESPE.

En la tabla 2 se indica el número de pisos, el tipo de material empleado, la ubicación y algunos datos generales de cada una de las gradadas del Proyecto. Se observa que se tienen 5 gradadas de acero, 3 de hormigón armado compuestas por un muro de corte como elemento soportante y 3 gradadas mixtas de hormigón y acero.

Tabla 2 Resume de las gradadas en el proyecto

TIPO	N. PISOS	TIPOLOGÍA	BLOQUE	AISLADO	UBICACIÓN
E1	3	Acero	1	Si	Interior
E2	2	Muro de corte	1	No	Exterior
E3	4	Acero	1	No	Exterior
E4	3	Acero	1	Si	Interior
E5	4	Mixta	2	No	Interior
E6	3	Mixta	3	Si	Interior
E7	5	Muro de corte	3	No	Exterior
E8	4	Mixta	4	No	Interior
E9	4	Acero	4	No	Interior
E10	4	Acero	7	No	Exterior
E11	2	Muro de corte	8	No	Exterior

### 3.2 Gradadas de emergencia de acero

En la Figura 23 se muestra en planta, las gradadas de emergencia de acero, E3 y E10, proyectadas en un bloque estructural sin aisladores y que sirven de acceso para los Bloques 1 y 7 que tienen aisladores sísmicos. Es muy interesante la solución que se dio para la unión de una estructura aislada con una no aislada.

Se destaca que los Boques 1 y 7 en el sitio de unión con las gradadas tienen un voladizo por donde se accede a las construcciones.

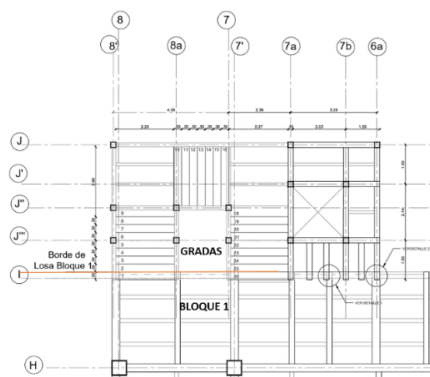
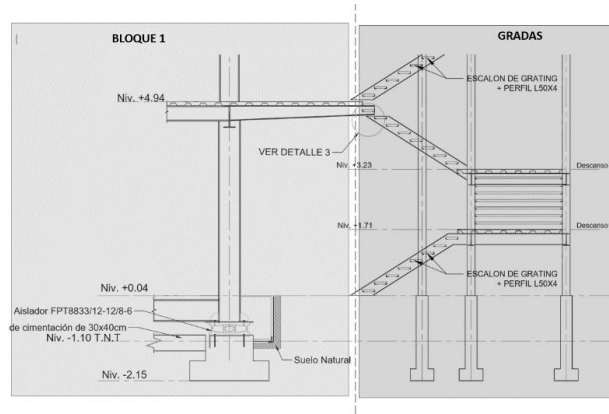


Figura 23 Planta de la Estructura que contiene a las gradadas de emergencia.

Como se observa en la Figura 24, en la parte izquierda primero se encuentra la cimentación, después el pedestal de hormigón y asentado en él, se halla el aislador sísmico FTP. Luego se tiene una columna de acero cuadrada de

550/550/20 mm, de este nivel alto se aprecia un voladizo de 3.60 m, que será construido con una contra flecha de 2cm, por el cual ingresan las personas que vienen del Bloque Estructural sin aisladores.

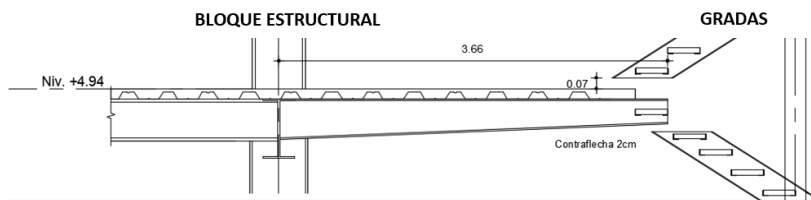
A la derecha de la Figura 24, se tiene la cimentación tradicional de la estructura sin aisladores, donde se sitúa la grada de acero. Si las dos estructuras estuvieran conectadas o unidas, el bloque estructural no tendría espacio para desplazarse, con lo cual se chocarían, produciendo un daño en cualquiera de las dos estructuras. Por esto se decidió la separación del voladizo superior con la llegada de la grada, en todas las losa del bloque.



**Figura 24** Grada de ingreso al bloque estructural que tiene aisladores sísmicos. Fuente [39]

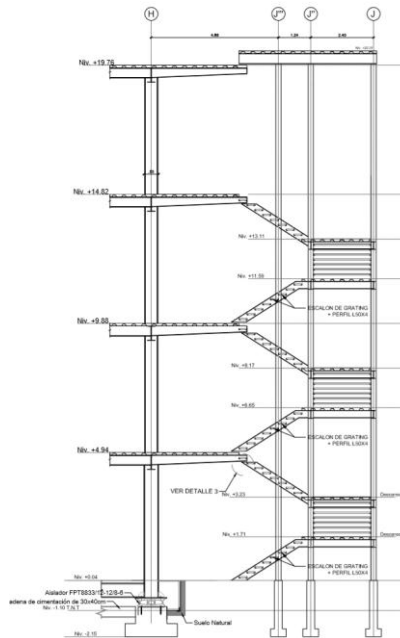
En la Figura 25, observa el voladizo del primer nivel superior (en los restantes pisos superiores es igual), está separado de la grada y que el último peldaño, para llegar a la primera losa, se encuentra inmerso en la viga transversal del voladizo, para poder cubrir la altura de llegada a la losa. También se observa que en la parte de la viga que alberga el último peldaño se ha quitado el Deck para poder instalarlo y circular por la grada sin ninguna obstrucción.

Para continuar subiendo a partir de la losa en voladizo al siguiente nivel, se dejó una separación de 7cm en sentido vertical con el primer peldaño para evitar que se tope el voladizo con los tramos de gradas. Además, se ubica los dos tramos de la grada se encuentra apoyadas en las columnas interiores de la estructura que la conforma y la contra flecha de 2 cm que se tiene en el volado del bloque estructural.



**Figura 25** Detalle completo de unión de voladizo con grada. Fuente [39].

En la Figura 26 se presenta el desarrollo en todos los pisos de la escalera metálica y el volado del bloque estructural, también se observa los dos descansos que se tiene antes de llegar a la losa, en todos los pisos. Por último se tiene en la parte superior de la Figura 26, la tapa grada, que no tiene continuidad con la losa de cubierta del Bloque Estructural con aisladores para que puedan moverse independientemente. Evidentemente que se tomarán acciones constructivas para evitar que el agua ingrese por este sitio.

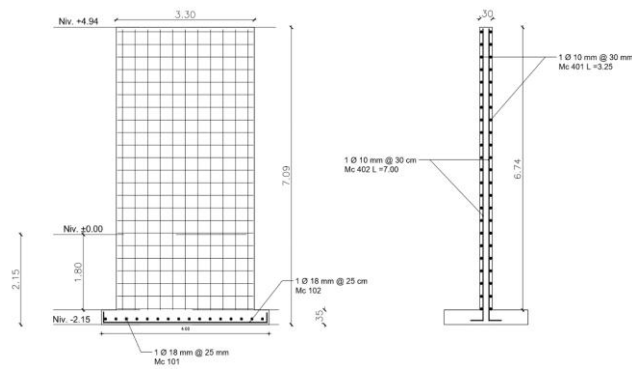


**Figura 26** Elevación de gradas y bloque estructural. Fuente: [39]

### 3.3 Gradas de emergencia con un muro de hormigón

Las gradas que tienen un muro de corte son la: E2, E7, E11. Estas gradas son de hormigón y en la parte central de la estructura se encuentra un muro de corte. Las gradas E2 y E11 suben un piso y tienen un espesor de 0.30 m, y la grada E7 suben cuatro pisos para acceder al piso cinco y el espesor del muro es de 0.35 m.

En este apartado se presentan los detalles constructivos de las escaleras E2 y E11 cuyo muro tiene una longitud de 3.30 m, su cimentación es de 2.00/4.00/0.35 m, y con un nivel de desplante de -2.15 m. Como se observa en la Figura 27, donde transversalmente al muro se encuentran los peldaños y el descanso, la única diferencia en las tres gradas es la altura al nivel de losa y el espesor del muro.

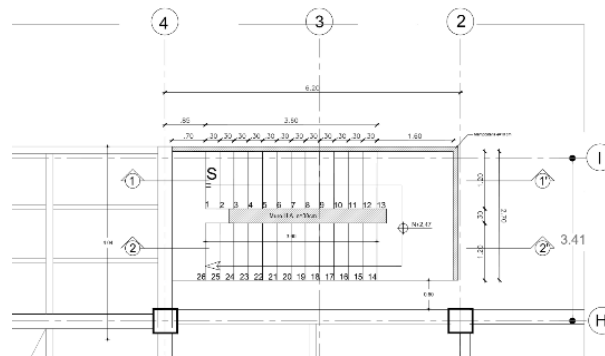


**Figura 27** Muro de corte en la grada. Fuente: [39].

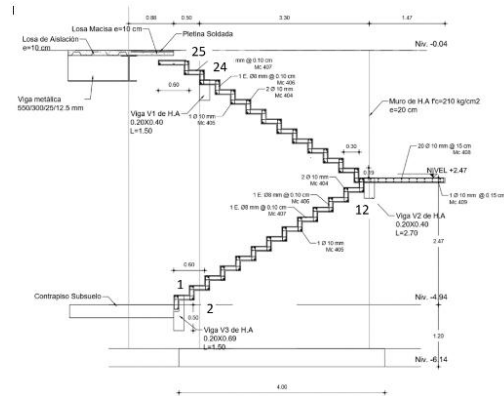
En la Figura 28 se presenta la vista en planta de la grada tipo E2 con muro de corte, donde se resaltan tres partes fundamentales en el desarrollo de la grada a lo largo del primer piso. La primera es los peldaños 1 y 2 que no se encuentran empotrados al muro, en vez de eso se apoyan directamente en la viga de arranque de grada, que tiene una sección transversal de 20/69 cm, realmente este viga es de 20/50cm, pero los 19 cm que sobran cumplen la función de contrahuella del primer peldaño y queda inmersa en la viga, de esta forma los dos primeros peldaños se asientan en la viga de arranque.

La segunda parte es el descanso de la grada, que se apoya en una viga de 20/40 cm, transversal al muro de corte y tiene 2,70 m de longitud, en la Figura 29 se observa el peldaño 12 que conforman la viga y hace que el descanso de la grada este en volado.

La tercera parte es similar al comienzo de la grada, los peldaños 24 y 25 se apoyan en una viga 20/40 cm transversal al muro y los peldaños no se encuentran empotrados.

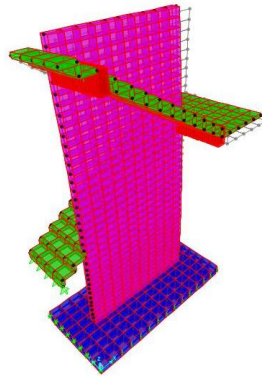


**Figura 28** Vista en planta de la grada con muro de corte



**Figura 29** Vista en elevación de grada con muro de corte.  
Fuente: [39]

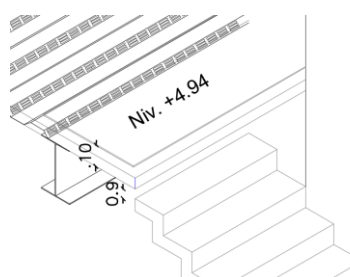
En la Figura 30, se observa todo el desarrollo de la grada desde el nivel +0.04 hasta el primer piso en el nivel +4.94. Se ve la viga transversal al muro que soporta el descanso y antes de llegar al primer piso, la viga que soporta los dos últimos peldaños, que se muestran en la imagen de color rojo.



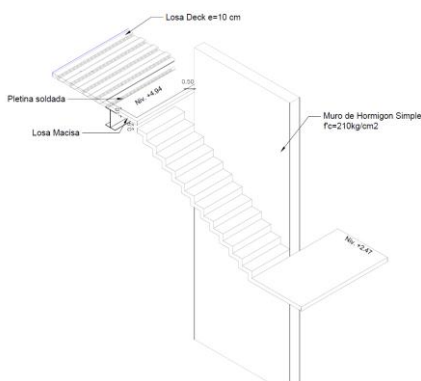
**Figura 30** Grada con muro de corte. Fuente: [40]

Para llegar al nivel del piso de la estructura con aisladores, se fundió una losa maciza y encima de esta una pletina, que en conjunto tiene un total de 10 cm, de alto, con esto se llega a la altura del último peldaño de la grada y para que los peldaños no se choquen con la losa, que se encuentra aislada, se debe dejar un espacio vertical, entre el peldaño y la losa, de 9 cm, teniendo así la contrahuella de 19 cm que tiene a lo largo de toda la grada, ver Figura 31.

En la Figura 32 se muestra la forma en que llega la escalera al primer piso, además se observa como el muro se encuentra separado 0.5 m de la losa, cantidad más que suficiente para no impactarse con el Bloque Estructural con aisladores, habida cuenta que el muro es una estructura muy rígida que se va a desplazar menos de 1 cm, durante el sismo máximo considerado.



**Figura 31** Detalle de losa con placa de acero sobre Deck y grada.



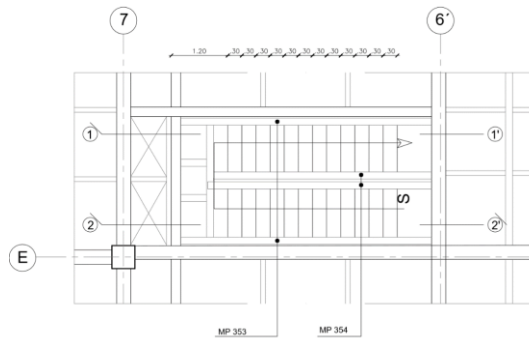
**Figura 32** Detalle grada con muro de corte. Fuente [39]

### 3.4 Gradadas de acero convencional

En las Figura 33 y 34, se muestra la grada E1 y E4 en planta respectivamente, esta grada se encuentra en el interior del Bloque Estructural 1; sobre la losa de aislación de tal manera que no existen problemas constructivos. Se recomienda que en los Proyectos con Aisladores sísmicos se debe tratar en lo posible, de que tanto las gradadas como los ascensores se encuentren sobre el sistema de aislación para que sea muy sencilla su construcción ya que estos elementos de acceso se moverán con todo el sistema de aislación.

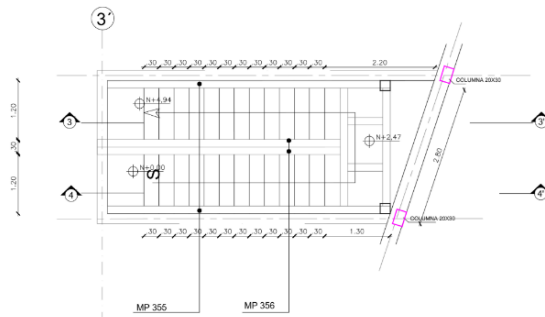
La diferencia entre estas dos gradadas, se presenta en que la grada E1 solo sube dos pisos ya que llega a la terraza y la E4 sube tres pisos. Para la grada E4, la viga I (eje 6') es de 400/200/15/12 mm, en un piso comienza en el arranque de grada y en el piso superior se convierte en un tramo en el fin del arranque y en el otro en el inicio. El tramo inicial está compuesto por dos perfiles de 300/150/10/10mm, identificados en la Figura 33 como MP 353, igual dimensión tienen las vigas de acero MP 354.





**Figura 33** Vista en planta grada E4.

En la grada E1, la viga L de viga L de 400/200/15/12 mm del eje 3', comienza el arranque de grada, y termina en el mismo eje un piso más arriba. El tramo inicial está compuesto por dos perfiles de 300/150/10/10mm, identificados en la Figura 34 como MP 355 y MP 356.

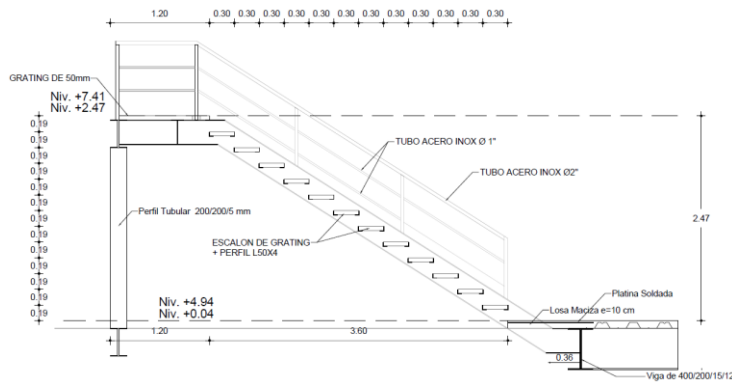


**Figura 34** Vista en planta grada E1.

Ahora en las Figura 35 y Figura 36 se observa el desarrollo de la grada en un solo piso para las gradas E1 y E4, desde el nivel +0.04 de donde nace la grada, pasa por el primer descanso en el nivel +2.47 y continua hasta llegar al primer piso que tiene un nivel de +4.94. Los escalones están formados por grating (huella con orificios rectangulares) y dos perfiles L 50 x 4.

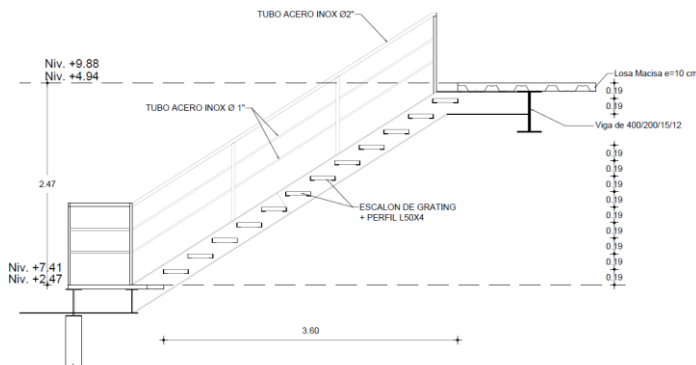
Esto se replica en todas las losas donde se desarrolla la grada hasta llegar al último piso (dependiendo de qué grada sea por la altura). En la Figura 35, se muestra la columna tubular de 200/200/5mm que conforma el descanso de la grada E1, debido a la arquitectura, no se puede asentar en la vigas principales de la superestructura, por eso se tiene un apoyo con estas dos columnas.

Lo interesante es ver en la Figura 35 y Figura 36 el arranque y fin de la viga inclinada en la transversal de 400/200/15/12 mm que en el dibujo se ha negreado un poco más para darle mayor realce.



**Figura 35** Vista en elevación grada E1, E4 nivel +0.04.

En la Figura 36, el detalle que se observa es la pletina soldada encima de una tramo de losa maciza, que se encuentra al inicio del arranque de grada, que hace llegar al primer peldaño de la grada. Esto se realiza para mantener el mismo nivel desde el Deck hasta el primer peldaño.



**Figura 36** Vista en elevación grada E1, E4 nivel +2.47.

### 3.5 Gradadas mixtas de hormigón y acero

Se presentan las gradadas mixtas en los Bloques Estructurales, donde el aislador se encuentra sobre las columnas de hormigón armado y corresponden a las identificadas como E5 y E6.

Se denomina subestructura o subsuelo al piso inferior a los aisladores y superestructura a los pisos que se hallan encima de los aisladores. Con esta acotación se indica que la grada de la subestructura está compuesta por un muro de corte de hormigón armado y las gradadas de la superestructura son de acero. Pero no se mostrara a detalle su estructura porque es muy similar en el subsuelo a las gradadas con muro y en la superestructura a las gradadas de acero, las diferencias se

dan en el nivel de desplante del muro, medidas del muro y armado de la grada. Los detalles más relevantes ya fueron mostrados anteriormente.

No se han indicado los detalles constructivos de gradas E8 y E9 por estar en los Bloques Estructurales 4 y 5, ya que estos tienen disipadores de energía.

#### 4. DETALLE DE ESTRUCTURA DE ASCENSOR

En la Figura 37 se indica la ubicación de los ascensores y montacargas. Los identificados con A1 y A2 se encuentran en la estructura donde está la grada de emergencia de acero, en una estructura sin aisladores y el A3 es un montacargas que se encuentra en el Bloque 3.

A inicios de marzo de 2016, los ascensores A1 y A2 tienen una capacidad para 6 personas y un peso de 3 T. Pero muy probablemente se cambie la capacidad a uno más grande para 8 personas.



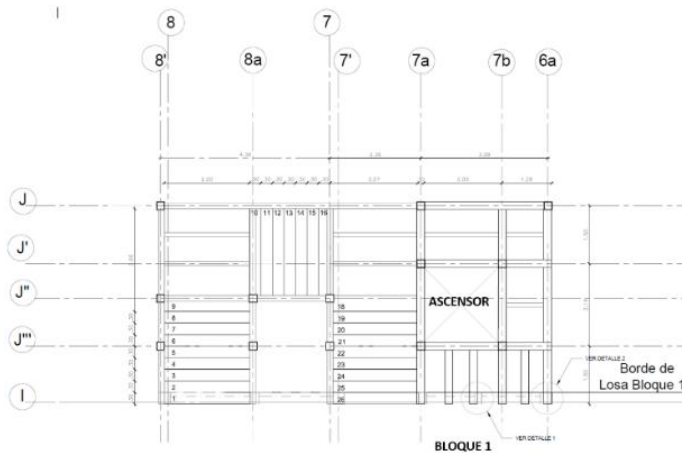
**Figura 37** Ubicación de los ascensores y monta-cargas.

##### 4.1 Ascensores a1 y a2

Para tener una continuidad al ingresar al Bloque Estructural con aisladores (1 o 7) desde el ascensor y que esto no impida el libre desplazamiento horizontal del bloque, se tomaron algunas consideraciones y sus respectivas soluciones para que evitar el impacto, las mismas que se presentan en este apartado.

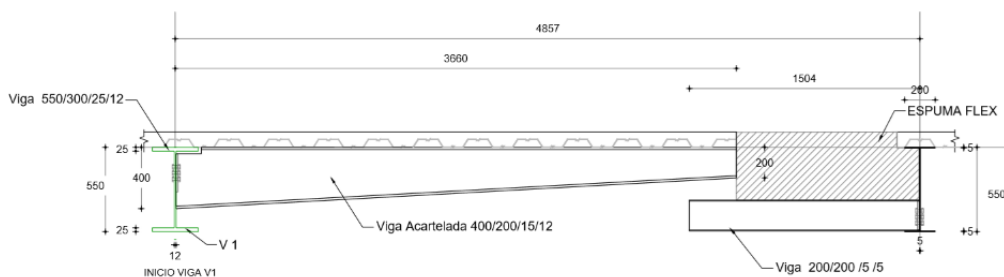
En la Figura 38, se muestra en planta la ubicación del ascensor y se ha escrito "Borde Losa Bloque 1" en el eje I es el límite entre el voladizo y el ingreso hacia el ascensor, ahora la salida desde el ascensor se encuentra por el eje J" que se halla a una distancia de 1.5m del eje I; se dejó esa separación para que no se topen las dos estructuras debido al desplazamiento horizontal. En el eje J" se

colocaron 3 vigas "I" de 200/500/5/5 mm transversalmente y no se encuentran alineadas a ningún eje.

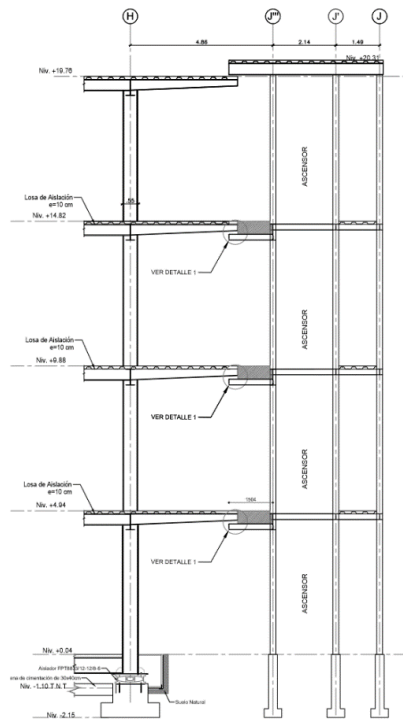


**Figura 38** Planta bloque estructural que no tiene aisladores y contiene al ascensor y gradas.

En la Figura 39, se observa el detalle de la unión del ingreso del ascensor y el bloque estructural que tiene aisladores (puede ser el 1 o el 7), se tiene una viga "I" de 200/200/5/5 mm, que trabaja en voladizo sobre la cual se halla espuma flex, con un revestimiento adecuado. Este relleno tiene como función permitir que las personas al salir del ascensor caminen a un solo nivel hasta el bloque con aisladores, pero al mismo tiempo, si hubiera un sismo severo esta unión se romperá fácilmente, dejando que la losa (estructura con aisladores) se desplace libremente, ya que el espuma flex se va a romper.



**Figura 39** Detalle unión de voladizo de bloque estructural con aisladores y ascensor

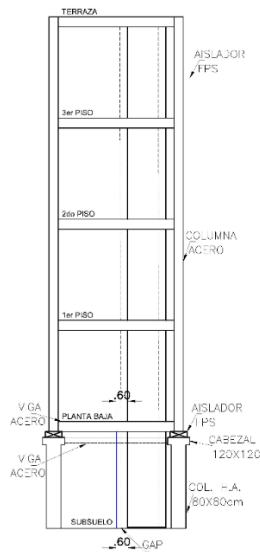


**Figura 40** Elevación de ascensor y bloque estructural.

En la figura 40, se presenta el desarrollo en todos los pisos del ascensor y el volado del bloque estructural, también observamos el detalle de la unión entre estas dos estructuras. Por último se tiene en la parte superior de la gráfica, la tapa grada, que no se encuentra apoyada en la losa del último nivel del Bloque Estructural con aisladores, para que también se pueda mover libremente.

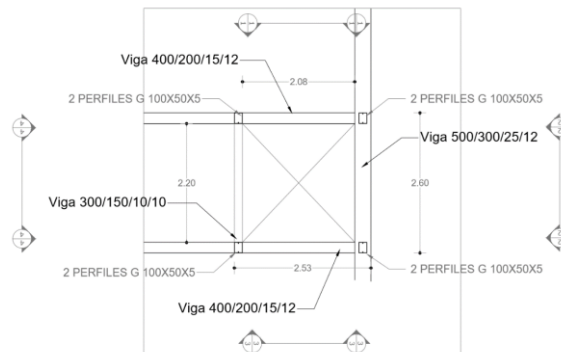
## 4.2 Monta carga

El monta carga A3, está ubicada en el bloque estructural 3 y presta servicio desde el subsuelo hasta el cuarto piso. Para que la estructura que soporta al montacargas, desde el subsuelo, se pueda desplazar lateralmente como lo va hacer el piso de aislación; dicha estructura debe sostenerse en las vigas de la losa de aislación y a más de ello debe ser una estructura muy rígida. En la Figura 41 se muestra el recorrido del monta-carga en todos los niveles, se nota claramente que es necesario que todo se mueva como un cuerpo rígido, especialmente la parte de la estructura que se halla en el subsuelo. También se dejó un espacio de 0.6m, que es el GAP.



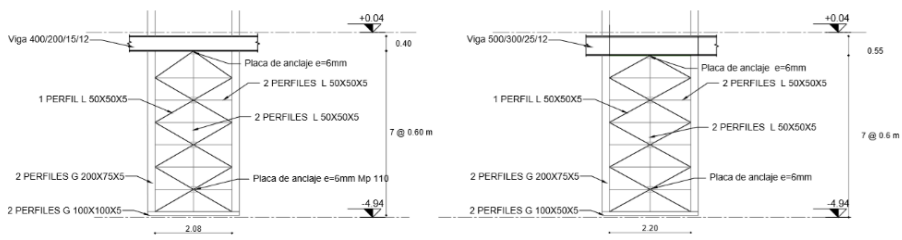
**Figura 41** Esquema del funcionamiento del montacarga.

En la Figura 42 se presenta la vista en planta del montacargas, se aprecia las vigas primarias, secundarias, terciarias de la estructura del Bloque Estructural, donde estará apoyada la estructura del montacarga y las columnas, unión con dos perfiles G, en el desarrollo de todos los niveles del bloque estructural.

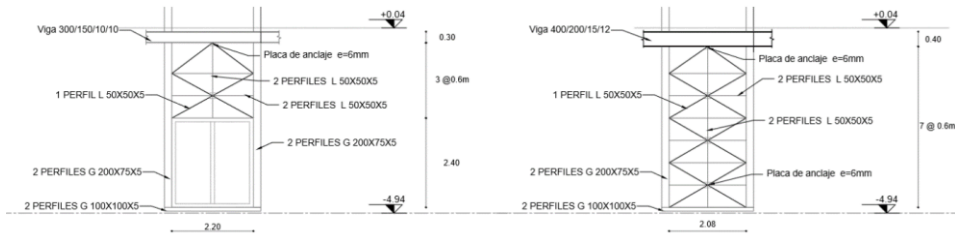


**Figura 42** Vista en planta de la estructura de apoyo del montacarga.

En las Figura 43 y 44 se observan todas las elevaciones de la estructura del montacargas y el armado que tuvo por objeto tener una estructura muy rígida. Se puede notar que la estructura del montacargas, en el subsuelo, está suspendida en la losa de aislamiento que se encuentra en el primer piso, dejando un espacio de 6 cm entre la estructura y en nivel N-4.94, para que no llegue hasta el suelo. Con este detalle la estructura se puede desplazar horizontalmente como cuerpo rígido igual que el sistema de aislamiento.

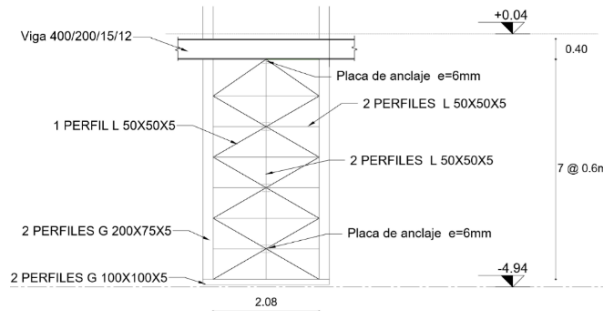


**Figura 43** Elevación de montacarga en vistas 1 y 2. Las vistas se encuentran indicadas en la figura 41.



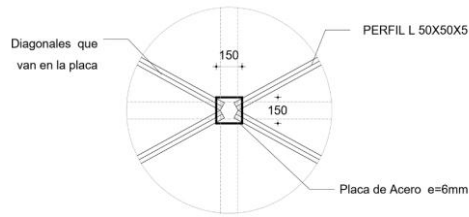
**Figura 44** Elevación montacarga en vistas 4 y 3. Las vistas se hallan indicadas en la figura 41.

En la Figura 45 se describe el armado en detalle de la estructura que conforma el monta carga, donde se observa el Deck encima de la viga secundaria de 400/200/15/12, la estructura tiene en las 4 esquinas dos perfiles G de 200/75/6mm, formando cuatro columnas de 200/150 mm y 6 mm de espesor. Para rigidizar la estructura se ha colocado perfiles tipo L de 50/50/5 mm, soldadas transversalmente y diagonalmente en cada una de las caras de la estructura del monta-carga como se muestra en la figura 5.9 [40].



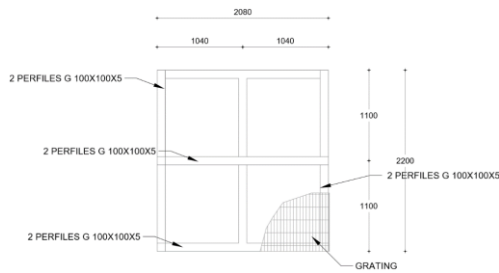
**Figura 45** Armado de la estructura del monta carga.

En la Figura 46 se indica la placa metálica de 150/150/6 mm en la cual se realiza la unión de los perfiles tipo L, que están soldados en cada una de las caras del monta-carga, en las direcciones antes mencionadas. Esto facilita el empernado de todas las diagonales que llegan a un mismo punto.



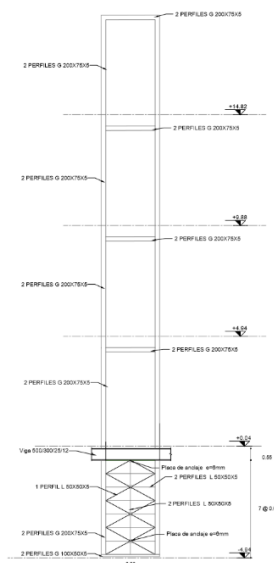
**Figura 46** Placa de acero montacarga.

En la parte inferior del montacargas, se conforma un piso por cuatro vigas de 100/200 mm y 6 mm de espesor, con una viga transversal en cada lado, formando una cruz, con la misma medida de la viga anterior. Encima de la superficie se coloca acero grating. Como se observa en la Figura 47.



**Figura 47** Planta del piso montacarga.

En la parte superior de la estructura del monta carga, sobre la losa de aislación, solo se tienen las 4 columnas de 200/150/5 mm, formadas por 2 G de 200/75/5mm, y las vigas de 200/150/5 mm, a nivel de entrepiso. Como se indica en la Figura 48.



**Figura 48** Estructura completa montacarga.



## 5. DETALLE DE PUENTE ENTRE BLOQUES 2 Y 3

El proyecto arquitectónico, contempla que entre los Bloques Estructurales 2 y 3 se tenga una separación de 3 m, pero se comunican entre sí por medio de un puente de 2.20 m, de ancho, que nace en cada losa; el problema surge en estos bloques que están aislados con el puente que les une, ya que al moverse este puente no les va a permitir desplazarse libremente y muy probablemente colapse el puente. Por ese motivo, es interesante la forma como se resolvió esto.

### 5.1 Descripción de puente

Para tener la accesibilidad los Bloques 2 y 3, se construirá puentes peatonales en los niveles N+0.04 y N +4.96, ver Figura 49, las vigas que forman esta estructura estarán en voladizo desde las vigas principales de cada Bloque Estructural, y se tendrá un detalle para mantener el mismo nivel entre los dos bloques, sin que esto los haga chocar, durante un sismo.

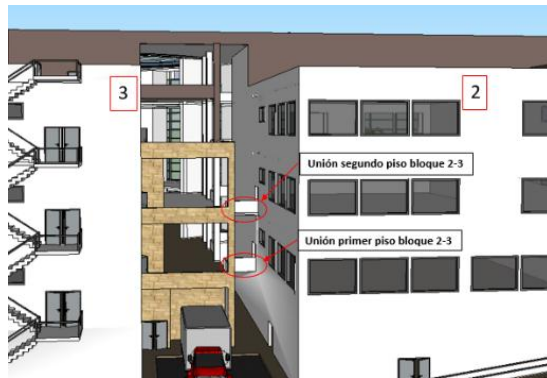
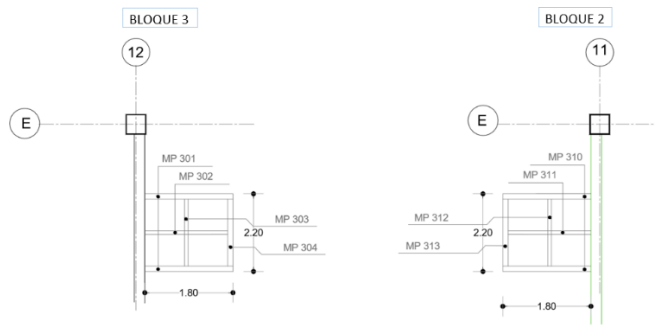


Figura 49 Unión entre bloque 2 y 3.

### 5.2 Solución adoptada

El puente, nace de las Vigas Principales de cada Bloque Estructural (Viga "1" de 550/300/20/12.5 mm) con vigas que van a trabajar en voladizo y que tienen 1.80 m, de longitud pero construidas a diferente nivel (una sobre la otra) para que puedan desplazarse libremente. En la Figura 50 se dibujan dos losas de 2.20 m, de ancho y 1.80 m, de largo, que corresponden a los tramos que salen de cada bloque para cubrir los 3.00 m, de separación; en una longitud de 0.30 m, las dos losas se superponen y se encuentran a diferente nivel.



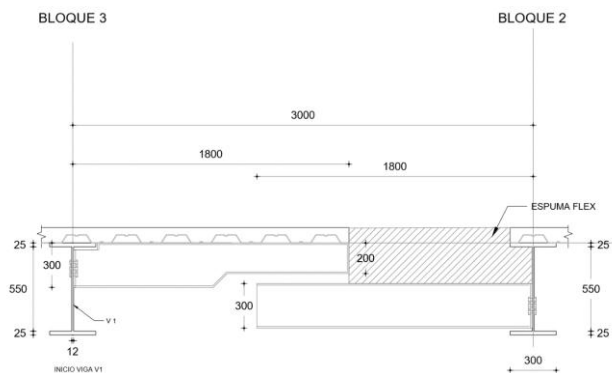
**Figura 50** Vista en planta unión bloque 2 y 3

En el Bloque 3, la viga “I” 550/300/25/12 mm, se encuentra en el eje 12, es la que soporta las vigas transversales en voladizo, que forma el puente de este lado.

La estructura en voladizo está formada por 3 vigas “I” 300/150/10/10 mm perimetrales, que se muestran en la figura 6.2. (MP 301 y MP 304); cabe resaltar que estas vigas MP 301 son a carteladas y termina con una medida de 200/150/10/10 mm. Adicionalmente, 2 vigas “I” 200/100/6/6mm que se cruzan son MP 303 y MP 302.

De forma similar en el Bloque 2, la viga “I” de 550/300/25/12 mm que se encuentra en el eje 11, es la que soporta las vigas transversales en voladizo y forma el puente de este otro lado. La estructura del lado derecho tiene el mismo armado que la del sector izquierdo con diferente nomenclatura.

En la Figura 51 se muestra el detalle de unión entre el Bloque 2 y 3, necesario para que este puente no sufra daño, con algún desplazamiento horizontal de los bloques estructurales. Aquí se presenta de mejor manera la viga en voladizo acartelada, mencionada anteriormente, que se sostiene en la viga principal “I” del bloque 3, esto sirve para que las dos vigas no se topen en ninguna circunstancia. Por otro lado, la viga en voladizo que nace del bloque 2, no varía su altura a lo largo de la misma.



**Figura 51** Detalle constructivo de vigas de unión entre Bloques 2 y 3.

Ahora para tener el mismo nivel en este puente o unión, se decidió rellenar el vacío, generado por la diferencia de altura de las vigas transversales, con espuma flex y un adecuado revestimiento, como se observa en la Figura 51. Este relleno permite solucionar el desnivel para evitar tener una grada que sería molesto para la circulación; durante un sismo se tiene previsto que la espuma flex se dañe.

## 6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Al inicio de este artículo se indicó el grupo de calculistas de los nuevos bloques estructurales, con aisladores sísmicos, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, quienes dieron soluciones ingeniosas para hacer posible que los aisladores colocados puedan desplazarse horizontalmente, sin impactarse con otra estructuras durante un sismo severo.

Esas soluciones ingeniosas tenían que ser publicadas, para que otros proyectistas estructurales puedan aplicarlas en construcciones similares con aisladores sísmicos, o simplemente que conozcan lo difícil que es construir un ascensor en la subestructura cuando los aisladores se hallan ubicados sobre las columnas. A lo mejor este conocimiento le conduce a diseñar la estructura sin subestructuras.

De igual manera es interesante la solución que se dio en los bloques estructurales de acceso, que fueron diseñados sin aisladores sísmicos en la unión con los bloques que tienen aislación sísmica.

Se espera que estas experiencias sean de utilidad para los Proyectistas Estructurales y así haber aportado al desarrollo de la Ingeniería Sismo Indiferente por la presencia de los aisladores sísmicos.

## REFERENCIAS

- [1] Aguiar Roberto (2014) [Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB, Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Cuarta Edición, 676 p.](#)
- [2] Aguiar Roberto (2012) Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH. Segunda edición, 416 p., Quito.
- [3] Bahar A., Pozo F., Acho L., Rodellar J., Barbat A., (2009), "Semi-active control of base-isolated structure using a new inverse model of M R dampers", *Proceedings of the European Control Conference*, 1065-1070, Budapest, Hungary.
- [4] López Almansa F., Barbat A. Rodellar J., (1998), "SSP algorithm for linear and non-linear dynamic response simulation", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 26(12), 2687-2706.

- [5] Barbat A., and Bozzo L., (1997), "Seismic analysis of base isolated buildings", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 4(2), 153-192.
- [6] Molins C., Roca P., and Barbat A., (1998), "Flexibility-based linear dynamic analysis of complex structures with curved-3D members", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27(7), 731-747.
- [7] Aguiar Roberto, Andrade Valeria, Guaygua Byron y Piedra Pablo, (2016), "Aplicación del método espectral en los Bloques 6 y 7 con aisladores sísmicos de la UFA-ESPE en Ecuador", *Revista Ciencia*, **18 (1)**, 67-92. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [8] Aguiar Roberto, Mejía Rodrigo y Morales Edison, (2016), "Análisis sísmico espacial y plano del Bloque Estructural 8 de la UFA-ESPE con aisladores de triple péndulo de fricción", *Revista Ciencia*, **18 (1)**, 93-120. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [9] Aguiar Roberto, Bozzo Luis, Coyago Henry y Cristina Andino, (2016), "Análisis sísmico del Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo", *Revista Ciencia*, **18 (2)**, 123-160. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [10] Aguiar Roberto, Erika Llerena y Luis Jiménez, (2016), "Análisis sísmico de Auditorio de UFA-ESPE con vigas San Andrés y disipadores de energía Shear Link Bozzo", *Revista Ciencia*, **18 (2)**, 173-200. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [11] Salomón O., Oller S., and Barbat A., "Finite element analysis of base isolated buildings subjected to earthquake loads", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 46(10), 1999, 1741-1761.
- [12] Mata P., Barbat A., Oller S., and Boroschek R., "Constitutive and geometric nonlinear models for the seismic analysis of RC structures with energy dissipators", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 15, 2008, 489-539.
- [13] Faleiro J., Oller S., and Barbat A., "Plastic-damage analysis of reinforced concrete frames", *Engineering Computations*, 27(1), 2010, 57-83.
- [14] Lantada N., Irrizari J., Barbat A., Goula X., Roca A., Susagna T., and Pujades L., "Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 2010, 201-229.
- [15] Caiza Pablo, Aguiar Roberto, (2015), "Cimentaciones de los Bloques Estructurales: 1, 2 y 3 del nuevo Centro de Investigaciones Científicas y Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE", *Revista Ciencia* **17 (3)**, 385-406. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)

- [16] Aguiar Roberto, Guaygua Byron, (2015), "Análisis de dos alternativas en el Bloque Estructural dos con aisladores FPS de la tercera generación del nuevo Centro de Investigaciones de la UFA-ESPE", *Revista Ciencia*, **17 (3)**, 407-423. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [17] Aguiar Roberto, Guaygua Byron, (2015), "Análisis sísmico de Bloque Estructural 3 del nuevo Centro de Investigaciones de la UFA-ESPE, con aisladores FPS de tercera generación", **17 (3)**, 425-440.
- [18] Aguiar Roberto, Caiza Pablo, Rodríguez Michael, (2016), "Aplicaciones del cálculo de mallas espaciales en dos estructuras del Centro de Investigaciones Científicas de la UFA-ESPE, con **CEINCI-LAB**", *Revista Ciencia* 18 (1), 1-19. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [19] Vargas Y., Pujades L., Barbat A., y Hurtado J., "Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico en edificios de hormigón armado", *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 29(2), 2013, 63-78.
- [20] Vargas Y., Pujades L., Barbat A., and Hurtado J., "Capacity, fragility and damage in reinforced concrete buildings: a probabilistic approach", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(6), 2013, 2007-2032.
- [21] Constantinou Michael, Aguiar Roberto, Morales Enrique, Caiza Pablo, (2016), "Desempeño del aislador FPT8833/12-12/8-5 en el análisis sísmico del Centro de Investigaciones y de Post Grado de la UFA-ESPE", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (1)**, 1-25 Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
- [22] Aguiar Roberto, Morales Enrique, Guaygua Byron, López Eduardo, Tipanluisa Evelyn, (2016), "Cálculo de la torsión en aisladores FPT en el análisis simplificado lineal y en el espectral. Aplicación al Bloque tres del Centro de Investigaciones de la UFA-ESPE", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (1)**, 27-43. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
- [23] Aguiar Roberto, Morales Enrique, (2016), "Desempeño del aislador FPT8833/12-12/8-6 empleado en la construcción del Centro de Investigaciones de UFA-ESPE mediante análisis no lineal", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **21 (1)**, 79-104. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
- [24] Aguiar Roberto, Arias Majorie, Pachacamac Gregory, Iza Evelyn, (2015), "Respuesta en el tiempo de Bloque Estructural 3 con aisladores FPT de UFA-ESPE ante sismos interplaca tipo thrust", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, En etapa de revisión, 52 páginas. Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
- [25] EPS (2015), *Production Bearing test results for Ecuador University Building (ESPE). Production Bearings Tested, Triple Pendulum Bearing*

- [FTP8833/12-12/8-6](#) . Serial Numbers 01-81, Earthquake Protection Systems, Inc., 94 p. Vallejo, California.
- [26] Fadi F., and Constantinou M. (2010), "Evaluation of simplified methods of analysis for structures with triple friction pendulum isolators", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 5-22.
- [27] Fenz D., Constantinou M., (2007), Mechanical behavior of multi-spherical sliding bearings, Technical Report **MCEER-08-0007**, *Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research*. Available at <http://mceer.buffalo.edu/publications/catalog/reports/Mechanical-Behavior-of-Multi-Spherical-Sliding-Bearings-MCEER-08-0007.html>
- [28] Fenz, D.M. and Constantinou, M.C., (2008), *Development, implementation and verification of Dynamic Analysis Models for Multi-Spherical sliding bearings*. Report No. **MCEER-08-0018**, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY. Available at <http://mceer.buffalo.edu/publications/catalog/reports/Development-Implementation-and-Verification-of-Dynamic-Analysis-Models-for-Multi-Spherical-Sliding-Bearings-MCEER-08-0018.html>
- [29] Bonifaz Hugo, (2015), *Informe de suelos. Edificio de Investigaciones*. Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM-ESPE, 33 p., Sangolquí.
- [30] Aguiar R., (2015), *Espectros de Control para la ciudad de Quito-Ecuador*, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería CIMNE, Universidad Politécnica de Cataluña, **IS-71**, 104 p., Barcelona, España.
- [31] ASCE 7-10, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, 608 p.
- [32] NEC-SE-DS (2015) Cargas Sísmicas, Diseño Sismo Resistente. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- [33] Winters C. W., and Constantinou M., (1993), *Evaluation of Static and Response Spectrum Analysis Procedures of SEAOC/UBC for Seismic Isolated Structures*. National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo. Technical Report NCEER-93-0004.
- [34] Wolff E. D., Ipek C., Constantinou M.C., Morillas L., (2014), "Torsional response of seismically isolated structures revisited", *Engineering Structures*, **59**, 462-468.
- [35] Hurtado F., Bozzo L., (2008), "Numerical and experimental analysis of a shear-link energy dissipator for seismic protection of building", *The 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, 8 p., Beijing, China.

- [36] Nuzzo Iolanda, Losanno Daniele, Serino Giorgio, Bozzo Luis, (2015), "A seismic-resistant Precast r.c. System equipped with Shear Link Dissipators for Residential Building", *International Journal of Civil and Structures Engineering, IJCSE*, **2 (1)**, 270-275.
- [37] Aguiar Roberto, (2006), *Análisis Estático de Estructuras*, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Editor: Obreval, 160 p. Quito.
- [38] McVitty, W.J. and Constantinou, M.C., (2015), *Property modification factors for seismic isolators: Design Guidance for Buildings*, Technical Report No. **MCEER-15-0005**, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY, 2015. Available at <http://mceer.buffalo.edu/publications/catalog/reports/Property-Modification-Factors-for-Seismic-Isolators-Design-Guidance-for-Buildings-MCEER-15-0005.html>
- [39] Caiza Pablo, Rodríguez Michael (2015), *Cálculo estructural de las gradas*, Memoria de cálculo, Sangolquí.
- [40] Caiza Pablo, (2015), *Análisis de los Bloques Estructurales de los nuevos Centros de Investigación y de Post Grado de la UFA-ESPE en SAP 2000*, Memoria de cálculo, Sangolquí.
- [41] Vielma Juan Pablo, Cando Manuel, (2014), "Evaluación de estructuras metálicas proyectadas conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción mediante análisis no lineal", *Revista Ciencia*, **16 (2)**, 175-191. Disponible en: [http://www.revista\\_ciencia.espe.edu.ec](http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec)
- [42] Sánchez Telmo, (2015), *Conexión Viga Columna en estructuras de acero*, Documento entregado a Proyectistas Estructurales de los Bloques de los Nuevos Centros de Investigación Científica y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

ANEXO 1



**Bloque 7:** Aula magna con gradas inclinadas.



**Bloque 8:** Colocación de la palca metalica en todos los pedestales.



**Bloque 6:** Construcción de muros de subsuelo.



**Bloque 1:** Colocación de hormigón en cadenas de amarre.