

# **REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA INDUSTRIAL CON DOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA**

## **REINFORCEMENT OF AN INDUSTRIAL STRUCTURE WITH TWO TYPES OF ENERGY DISPENSERS**

**R. Aguiar<sup>1</sup>**

*Recibido 07/09/2016; Aprobado: 13/11/2016*

### **RESUMEN**

Se presenta en este artículo el reforzamiento de un silo de almacenamiento de harina afectado por el terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador, que tuvo una magnitud de momento de 7.8. Inmediatamente después del terremoto se colocó fibra de carbono en los elementos afectados y la mampostería de bloques fue cambiada con paredes livianas, de tal forma de seguir laborando. Se realizó un estudio de peligrosidad sísmica y se determinó dos espectros de peligro sísmico uniforme para 975 y 2475 años de período de retorno. Para reforzar esta estructura se propone colocar diagonales de acero en el subsuelo, de tal manera que las cargas que se generan van directamente a la cimentación. En la planta baja se colocará disipadores de energía tipo Shear-Link y en la siguiente planta alta disipadores TADAS. La estructura reforzada, fue analizada para los espectros obtenidos en Manta del terremoto del 16 de abril y para los dos sismos de peligro sísmico uniforme indicados.

**Palabras clave:** Disipadores de energía Shear Link, Disipadores de energía TADAS, Reforzamiento sísmico de una estructura industrial, Terremoto 16 de abril Ecuador

---

<sup>1</sup>*Investigador y profesor principal de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción y de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, Centro de Investigaciones en Ingeniería Sísmica. Ecuador. Correo: rraguiar@espe.edu.ec*

## ABSTRACT

This paper presents the reinforcement of a flour storage silo affected by the earthquake of April 16, 2016, in ECUADOR, which had a moment magnitude of 7.8. Immediately after the earthquake carbon fiber was placed in the affected elements and the block masonry was changed with light walls in such a way to continue working. A seismic hazard study was carried out and two uniform seismic hazard spectra were determined for 975 and 2475 years of return period. To reinforce this structure it is proposed to place steel diagonals in the subsoil, in such a way that the loads that are generated go directly to the foundation. On the ground floor will be placed Shear Link power dissipators and on the next floor high TADAS heat sinks. The reinforced structure was analyzed for the spectra obtained in Manta from the earthquake of April 16 and for the two earthquakes of uniform seismic hazard indicated.

**Keywords:** *Shear Link power dissipators, TADAS power dissipators, Seismic reinforcement of an industrial structure, Earthquake April 16 Ecuador.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El sábado 16 de abril de 2016 (16 A), a las 18:58:37 ocurrió un terremoto de magnitud de momento 7.8, registrado en las coordenadas 0,382oN y 79.222oW, a una profundidad focal de 20,6 km [1] causando gran daño en la costa norte del Ecuador, especialmente en las ciudades de Pedernales, Bahía de Caráquez, Manta, Portoviejo y Chone. Ahora bien, en la ciudad de Manta cerca del estadio Jockay, se encuentran las instalaciones de la Corporación Superior S.A., entre ellas se tienen tres cuerpos estructurales de silos que por su función se denominan: Trigo, Molino y Harina, afectadas por el movimiento telúrico. En este artículo se analiza el bloque estructural de harina siendo una estructura especial difícil de describir, si bien es cierto tiene una configuración que puede asemejarse a un edificio, como se observa en la Figura 1a, pero no lo es ya que en la parte intermedia del existen muros de corte que actúan como paredes del almacenamiento de la harina.

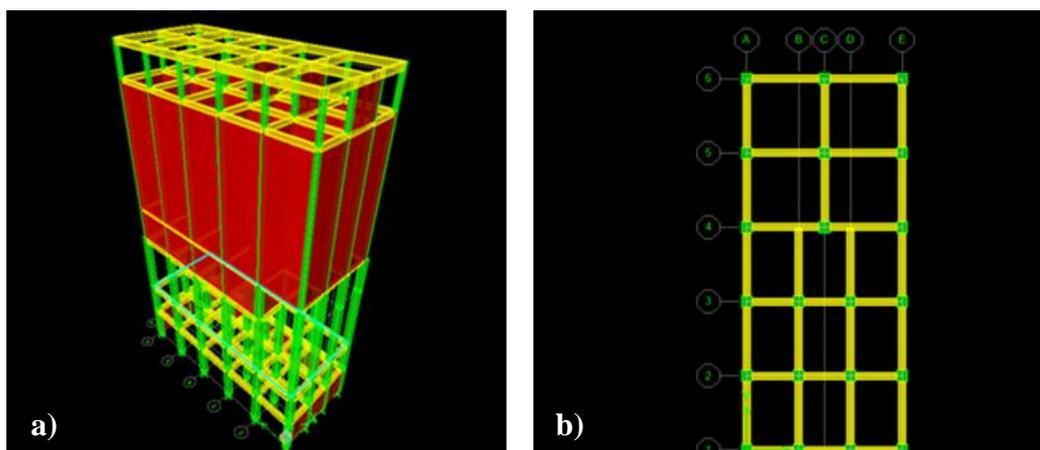
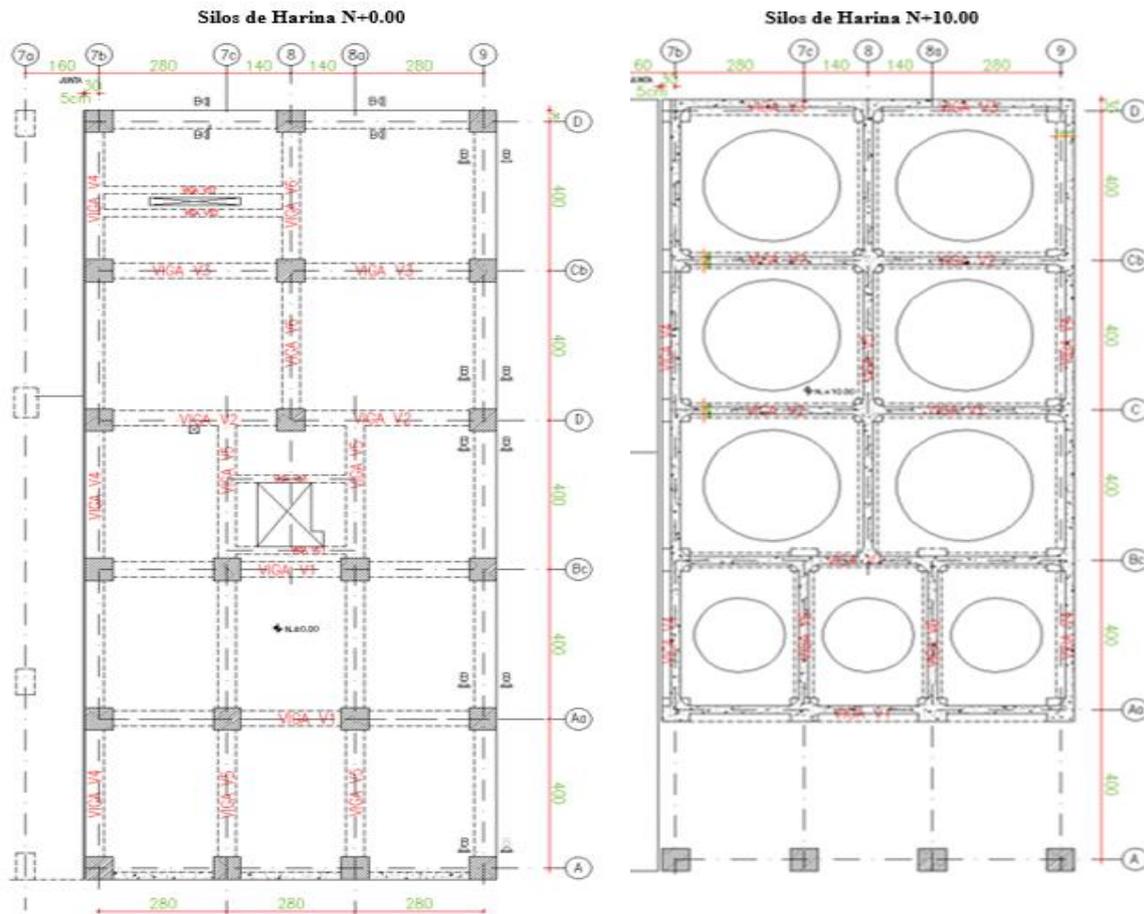


Figura 1. Estructura de silos de Harina: a) vista en elevación; b) vista en planta

En la Figura 1b, se presenta la planta del edificio, en la fachada principal se tienen 3 columnas en el sentido transversal y 4 columnas en la fachada posterior, con lo que el centro de rigidez se encuentra desfasado hacia la parte posterior ya que todas las columnas en los primeros

pisos son de 60/60 cm. En el sentido longitudinal se cuenta con 6 ejes de columnas, con luces de 4,00 m, y vigas de 40/60 cm, de hormigón armado, con una resistencia a la compresión de 240 kgf/cm<sup>2</sup>.

En la Figura 2 se presenta la losa del Nivel 0,00 m, sobre el subsuelo, es maciza de 20,00 cm, de espesor. A la derecha de la mencionada Figura se aprecia la losa del nivel 10,00 m, en el que se observan los ductos de los silos de harina y las paredes de hormigón armado de 20,00 cm de espesor.



**Figura 2.** Vista en planta de las vigas, columnas y ductos de los niveles N 0,00 y N 10,00 m.

Nótese que en este nivel las paredes del muro de los silos no llegan al eje A, de tal manera, que entre los ejes Aa-A es vacío en este nivel 10,00 m. En un nivel inferior N+8,00 m, existe un mezanine solo en este sector (Ejes Aa-A), la misma que posteriormente se indica en la Figura 3.

No se ha indicado la losa que existe en el nivel 3,50 m, se especificará posteriormente. La harina se almacena desde el nivel 10,00 m, hasta el nivel 25,50 m, en una estructura cuyos ejes que van desde el D al Aa.

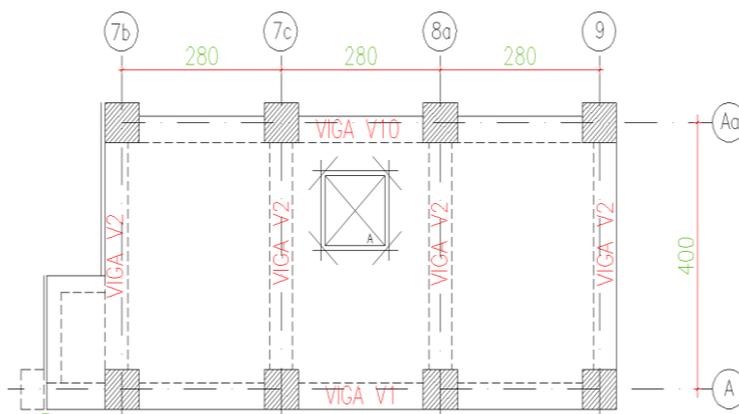


Figura 3. Losa de Mezanine de nivel 8.00

En el último tramo del eje Aa al A, la harina se almacena a partir del nivel 13.50 m al 25.50 m, como se observa en la Figura 4. Es importante conocer exactamente donde se almacena la harina, ya que la respuesta sísmica es función de la cantidad de harina almacenada.

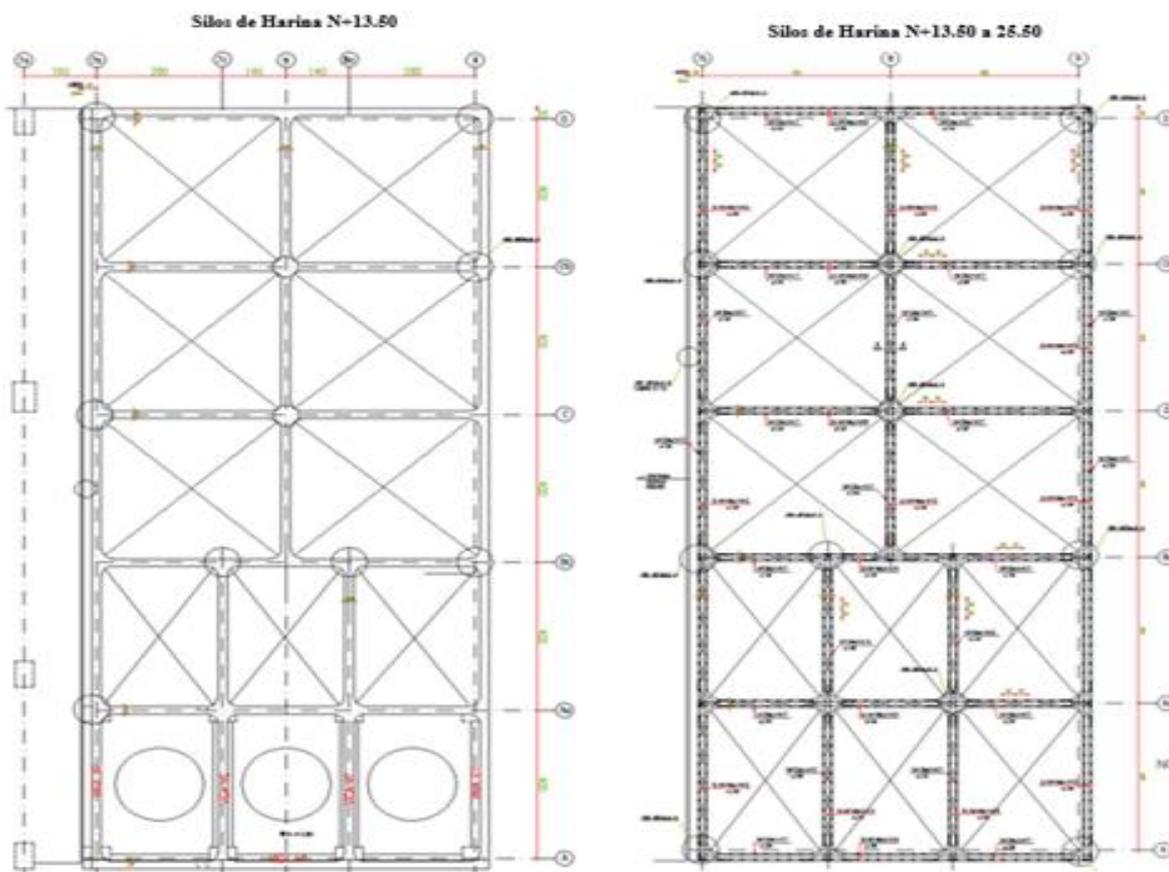


Figura 4. Silos de harina desde nivel 13.50m a 25.50m

Es una estructura especial cuya carga viva es variable, la harina, se almacena en los silos que tienen muros de corte y se encuentran en la parte intermedia de la estructura, de tal forma que se tiene un piso blando bajo los silos y un piso flexible sobre los mismos que va desde el nivel 25,50 m, al 28,45 m, con columnas de 30/30 cm y vigas de cubierta de 30/50, de tal manera que las vigas en este piso son más fuertes que las columnas.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL DAÑO DURANTE TERREMOTO

La mampostería tuvo un daño extensivo como se aprecia en la Figura 5a correspondiente al eje 9 (ver Figuras 2 a 4), y en la Figura 5b se visualiza el eje transversal D. En el terremoto del 16 A, hubo gran daño en la mampostería de las estructuras de Manta y de todas las ciudades que fueron afectadas [3]. Las paredes fueron construidas con bloques de hormigón que estallan cuando ingresan al rango no lineal, por lo que la reconstrucción se realizó con paredes livianas flexibles, disminuyendo considerablemente el peso [4, 5].

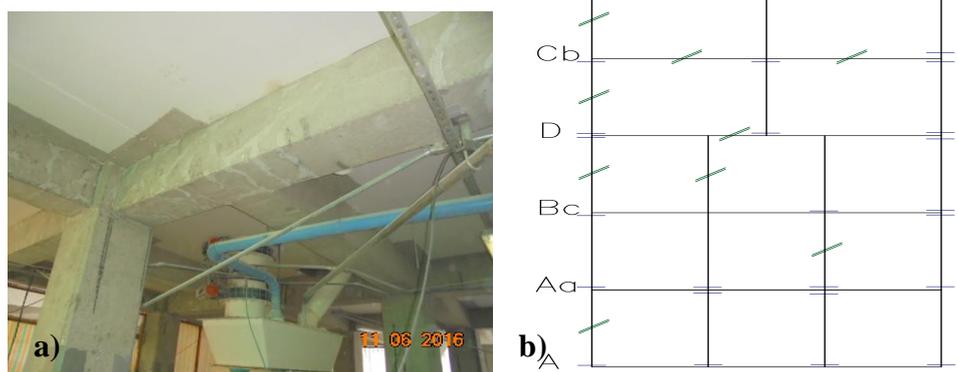


**Figura 5.** Daño en mampostería en niveles: a) 0,0 m, b) 3.50 m. Fuente: W. Mera [2]

En la Figura 5a, se observa que en el Bloque Estructural de Molinos existe una viga y losa en voladizo, la cual impactó a la columna del eje 7b del Bloque de Harina en su parte inferior. Esto se debe evitar, cortando un poco la viga y losa para que tenga una junta de construcción de 10,00 cm, por lo menos. Para el primer primer piso alto, denominado este a la parte de la estructura que va desde la losa de nivel 0,00 m hasta la losa del nivel 3.50 m, se observa en las imágenes de la Figura 6 a las vigas descolgadas de la losa del nivel 3.50 m, mostrando fisuras inclinadas (Figura 6a) y fisuras verticales (Figuras 6b y 7a) en este piso no se observó daño en columnas. En la Figura 7b, se presenta un esquema de las fisuras encontradas en este piso.

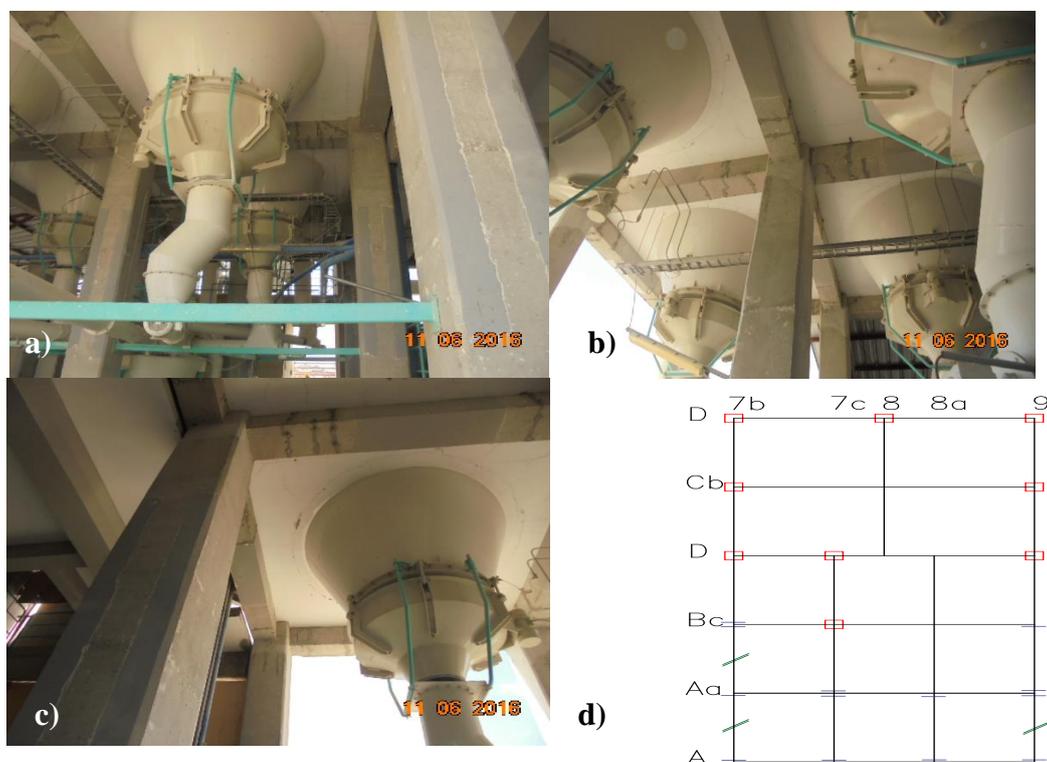


**Figura 6a y 6b.** Daño en vigas de primer piso alto, de Silos de Harina. Nivel 3.50 m.



**Figura 7a y 7b.** Daño en vigas de primer piso alto, de Silos de Harina. Nivel 3.50 m. y esquema de fisuras

Se aprecia que se ha inyectado SIKADUR 52 previa la colocación del adhesivo SIKADUR 31; la inyección ingresa en todas las fisuras por más pequeña que ésta sea, debido a que es un líquido que al secarse seca tiene resistencias muy altas. El piso que más daño sufrió durante el 16 A, fue el segundo piso alto que va desde la losa del nivel 3.50 m a la losa del nivel 10,00 m. El daño se debe a dos motivos: el primero, debido a que es un piso blando por la gran altura de sus columnas (6.50 m), y el segundo que al deformarse lateralmente la estructura resiste un gran peso proveniente de los muros de hormigón armado y harina de los silos. En la Figura 8 a, b y c, se observa que las vigas de la losa del nivel 10,00 m han sido inyectadas SIKADUR 52.



**Figura 8.** Daño en elementos estructurales del segundo piso alto de Silos de Harina.

También se visualiza daño ligero en la cabeza de las columnas pero en forma más clara se ve en las fotografías de la Figura 9. Se puede decir que las columnas tuvieron un daño estructural leve, que implica reducción de su rigidez y de su capacidad resistente (FEMA 305, 306). De tal manera que fue acertada las inyecciones realizadas con SIKADUR 52 y el posterior reforzamiento con SIKAWRAP 600C. Es importante destacar que la fibra de carbono incrementa la resistencia pero no la rigidez de la estructura. La losa del Nivel 8,00 también se vio afectada durante el 16 A. En efecto a la izquierda de la Figura se aprecia daño en vigas y en el nudo. A la derecha se presenta daño a nivel de viga.



**Figura 9.** Inicio de daño estructural en cabeza de columnas de segundo piso del Bloque de Harina. Fuente: [6].

En la Figura 10 se aprecia una de las zonas con más daño del Bloque Estructural de Harina y es el Mezanine. Se aprecia que las vigas y el nudo ingresaron al rango no lineal, esto se dio en todos los elementos horizontales que llegan al nudo de la losa del nivel.



**Figura 10,** Daño en losa de Mezanine del Bloque de Harina. Nivel 8.0 m.

### 3. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DURANTE 16 A

El registro de aceleraciones de Manta, fue obtenido en el sector de Umiña, en un perfil de suelo tipo C, de acuerdo a la clasificación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015, NEC-15. El tipo de suelo, influye notablemente en la forma de los registros [7, 8, 9]. Se desea tener una idea del comportamiento que tuvo la estructura de Harina durante el 16 A, por eso se utilizan los espectros que se obtuvieron en Manta, los mismos que se indican en la

Figura 11. Se tiene conocimiento que los resultados son aproximados, sin embargo son de utilidad a fin de conocer los lugares donde se necesita colocar sólo diagonales de acero y los disipadores de energía [10].

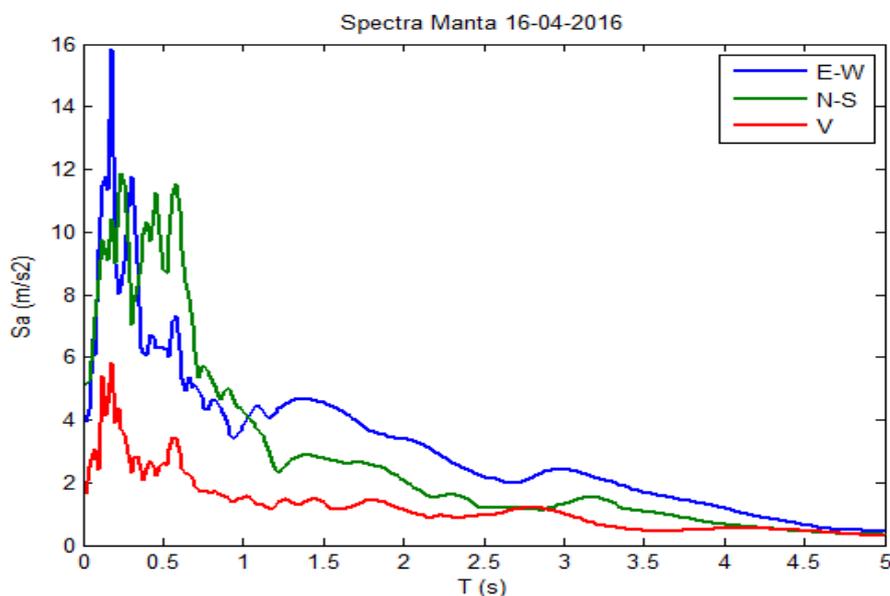


Figura 7. Espectros obtenidos en Manta, en estación de Umiña, durante el terremoto del 16 A. Fuente: [11]

### 3.1. Modelaje de los Pórticos

Se realizó un análisis espectral, considerando que las losas son completamente rígidas en el plano. Por lo tanto, se modela como un sistema de tres grados de libertad por planta: dos componentes de desplazamiento horizontal, y una rotación de piso con respecto a un eje perpendicular a la losa [12, 13, 5, 14,15]. Se tienen 7 losas en total, en función de esto se trabaja con un modelo de 21 grados de libertad; la modelación de los pórticos se indica en la Figura 12 para los pórticos en sentido transversal, y en la Figura 13 para los pórticos en sentido longitudinal. Los elementos diagonales en forma de “X” sirven para modelar los muros de hormigón armado que tiene la estructura.

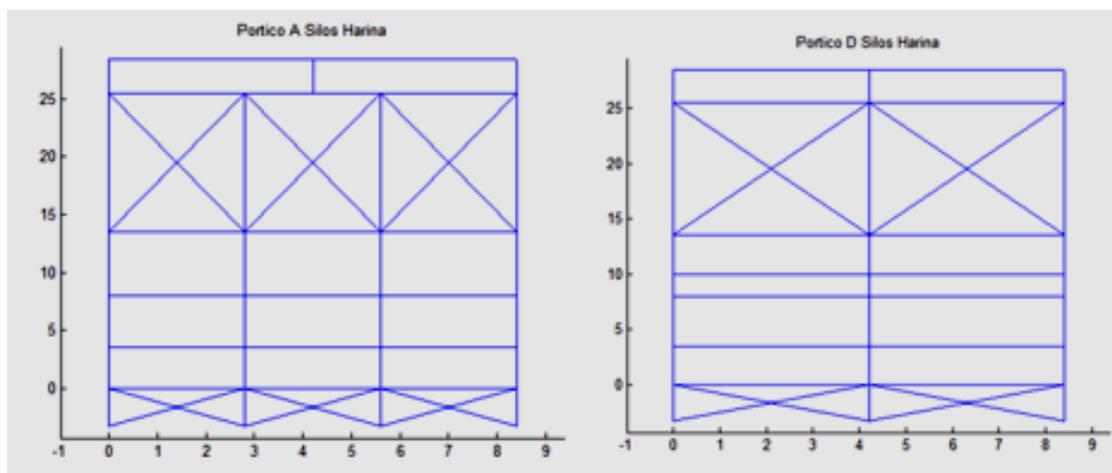
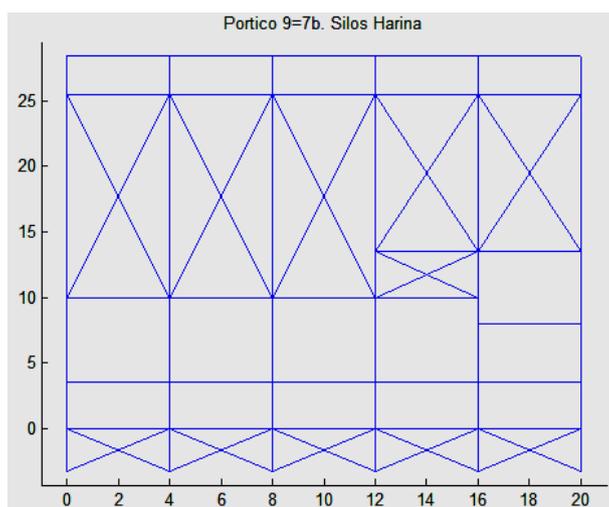


Figura 8. Modelos para pórticos en sentido transversal, exteriores del Bloque Estructural de Harina.



**Figura 9.** Modelos para pórticos en sentido longitudinal, exteriores del Bloque Estructural de Harina.

Cuando los silos se encuentran al 50% de su capacidad el período fundamental de vibración es 2,85 s, y cuando se halla al 80% de su capacidad el período fundamental es 3,15 s (ver Tabla 1)

**Tabla 1.** Períodos de vibración en segundos en función del porcentaje de almacenamiento de harina.

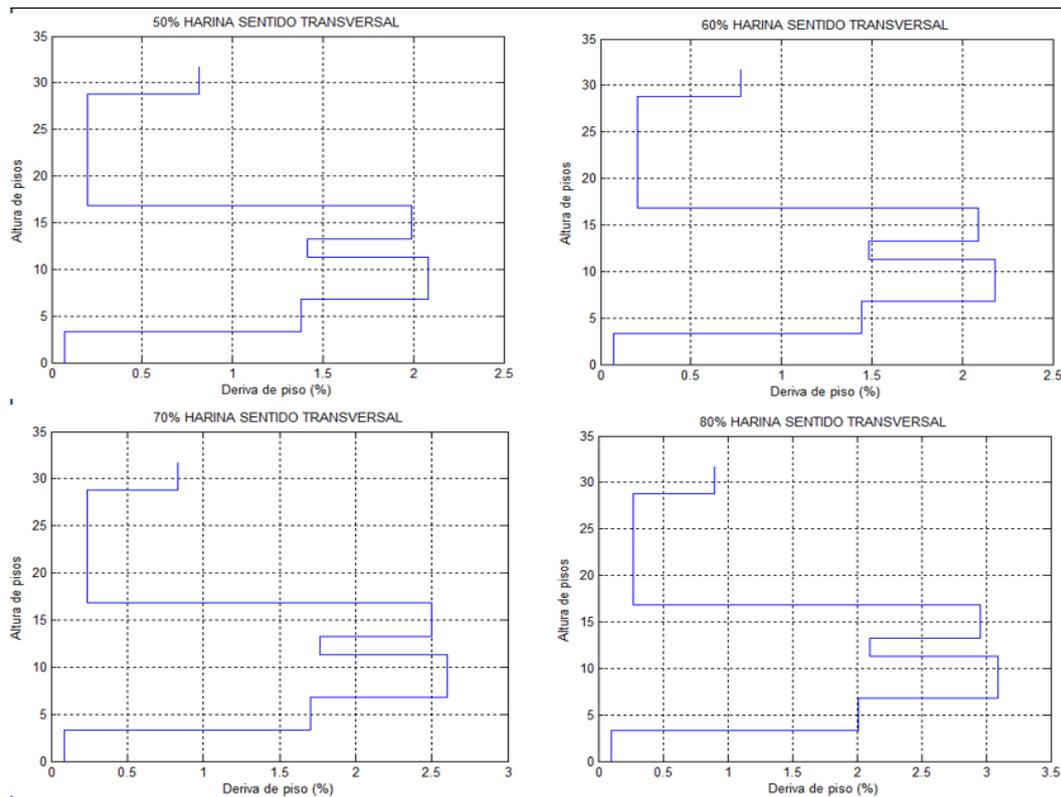
Modo de vibración	50%	60%	70%	80%
1	2,85	2,95	3,05	3,15
2	2,77	2,86	2,95	3,04
3	1,88	1,94	2,00	2,06

### 3.2. Desplazamientos Laterales y Derivas de Piso en Sentido Transversal

Se realizó el análisis sísmico utilizando el sistema de computación CEINCI-LAB [13, 14], empleando la combinación cuadrática completa CQC [16], para la combinación de los criterios de combinación modal. En la Tabla 2 se presentan solamente los desplazamientos laterales en sentido transversal (paralelo a los pórticos con letras) y en la Figura 14 las derivas de piso. Los desplazamientos laterales y derivas de piso, fueron obtenidos en el centro de masas. Como era de esperarse, a medida que se incrementa la capacidad de almacenamiento de harina, se incrementa el desplazamiento lateral y derivas de piso.

**Tabla 2.** Desplazamientos laterales en centímetros en sentido transversal en función de la capacidad de almacenamiento de harina.

Nivel (m)	50%	60%	70%	80%
0,00	2,3	2,4	2,9	3,3
3,50	5,06	5,29	6,25	7,39
8,00	14,43	15,11	17,96	21,30
10,00	17,25	18,07	21,49	25,50
13,50	24,23	25,39	30,25	35,85
25,50	26,59	27,81	33,09	39,12
28,45	29,00	30,09	35,55	41,78



**Figura 104.** Derivas de piso en sentido transversal para diferentes porcentajes de almacenamiento de harina.

La altura 0,00 m no corresponde al Nivel de piso 0,0, sino al nivel inferior del piso de subsuelo, de tal manera que la altura 4,80 m, presentada en la Figura 14 está asociada al nivel 4,80 m. Las derivas de piso encontradas, se asocian bien con el daño observado en la estructura de Harina. En efecto en el subsuelo, zona de muros la deriva de piso es menor al 0,5%. En base al daño observado, lo más probable es que el porcentaje de almacenamiento de harina, durante el 16 A, fue del 50%, en que la máxima deriva de piso superó ligeramente el 2% en el segundo nivel que fue el más afectado.

A pesar de que los desplazamientos laterales en sentido longitudinal, al considerar que sólo actúa el sismo en sentido transversal, son nulos, existe torsión debido a que hay rotación de piso. Pero la torsión es más crítica para el análisis sísmico en sentido longitudinal, detallado en el siguiente apartado.

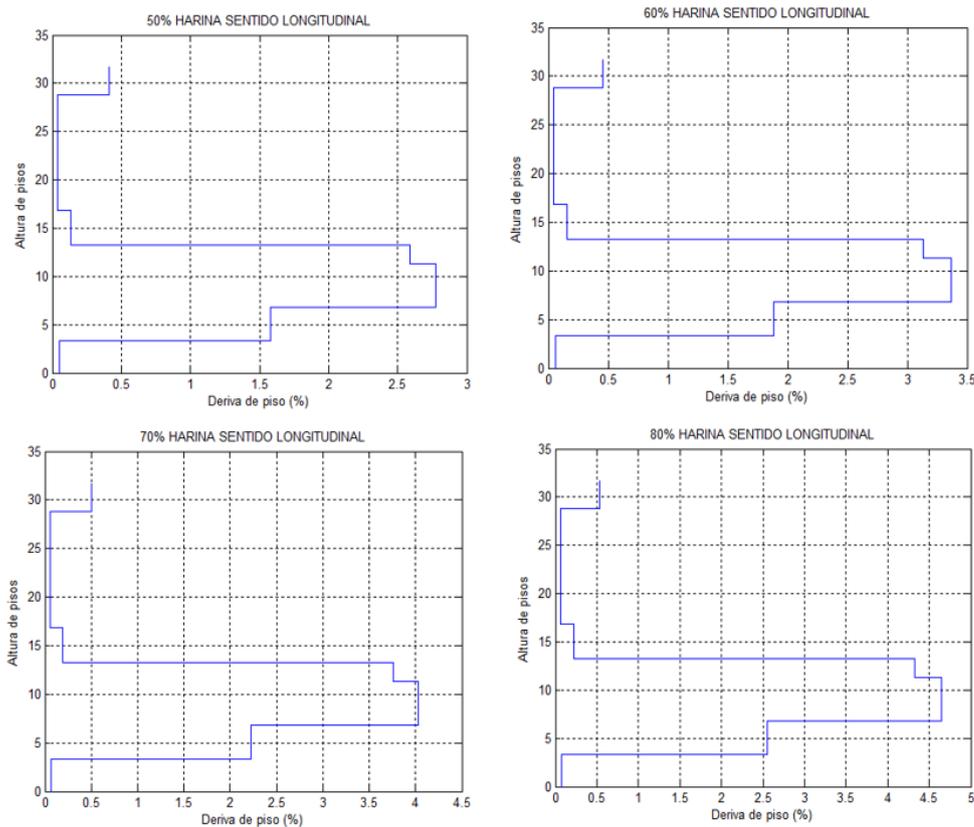
### 3.3. Desplazamientos Laterales y Derivas de Piso en Sentido Longitudinal

En la Tabla 3 se presentan los desplazamientos laterales en el centro de masas en centímetros, en sentido longitudinal. Los desplazamientos laterales son mayores a los hallados en sentido transversal, debido a que en sentido longitudinal existen 3 líneas resistentes que luego se transforman en cuatro (sentidos paralelos a los pórticos con números). Además de esto, se tiene el mezanine.

**Tabla 3.** Desplazamientos laterales en centímetros en sentido transversal en función de la capacidad de almacenamiento de harina.

Nivel (m)	50%	60%	70%	80%
0,00	0,52	0,53	0,56	0,56
3,50	6,79	7,19	8,29	9,23
8,00	19,19	19,91	23,61	25,96
10,00	24,10	24,91	29,26	31,75
13,50	38,89	39,81	45,49	47,75
25,50	44,35	45,20	51,12	53,14
28,45	50,33	50,75	56,46	57,84

Las derivas de piso, se presentan en la Figura 15, los valores obtenidos son elevados y no están en concordancia con el daño registrado durante el 16 A. Sin embargo, se puede concluir que el segundo piso alto y en el piso del mezanine se tiene derivas de piso muy altas. En base a los resultados en este apartado se tiene una idea del comportamiento de la estructura, ya que las señales sísmicas con las que se determinaron los espectros fueron obtenidas en Umiña y en un suelo tipo C. Eso por un lado, y por otro, se debe tener muy en cuenta que la respuesta sísmica depende de los períodos de vibración de la estructura.

**Figura 15.** Derivas de piso en sentido longitudinal para diferentes porcentajes de almacenamiento de harina.

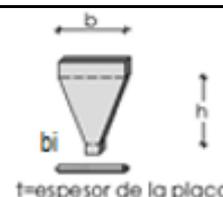
#### 4. DISIPADORES DE ENERGÍA

En la última década de los años ochenta y noventa, fueron desarrollados dos disipadores de energía por fluencia del material, que tienen un comportamiento histerético bastante similar y

son los denominados ADAS y TADAS [17, 18, 19, 20]. Pero en los últimos años, se ha publicado el disipador tipo Shear-Link de Bozzo de tercera generación. Por lo que, se decidió utilizar los dos tipos de disipadores, el TADAS que tiene un costo elevado, y el Shear-Link de Bozzo cuyo costo es aproximadamente diez veces menor. Se colocarán dos disipadores TADAS de 6 placas cada uno, de las dimensiones indicadas en la Tabla 4; sobre contravientos en forma de V invertida desde el nivel 3,50 m, hasta el nivel 10,00 m, en los lugares que se indicarán posteriormente. Con este disipador se puede obtener fuerzas de corte de 30,00 t, y desplazamientos laterales de 4,00 cm.

Tabla 4. Geometría del disipador TADAS de 6 placas

Tipo	$b$ (cm)	$h$ (cm)	$t$ (cm)	$b_i$ (cm)	$N$ placas
A	20	20	3,2	5.0	6



En la Figura 16 se indica la geometría del disipador SLB40\_5 que se utilizará entre los niveles 0,00 m, y 3,50 m. Ante acciones sísmicas se espera que la disipación de energía se dé por las ventanas; el marco del disipador no debe dañarse. El principal inconveniente que se tiene, es el de abolladura del material, para evitar esta falla la altura de las ventanas tienen una dimensión muy pequeña de 2,30 cm.

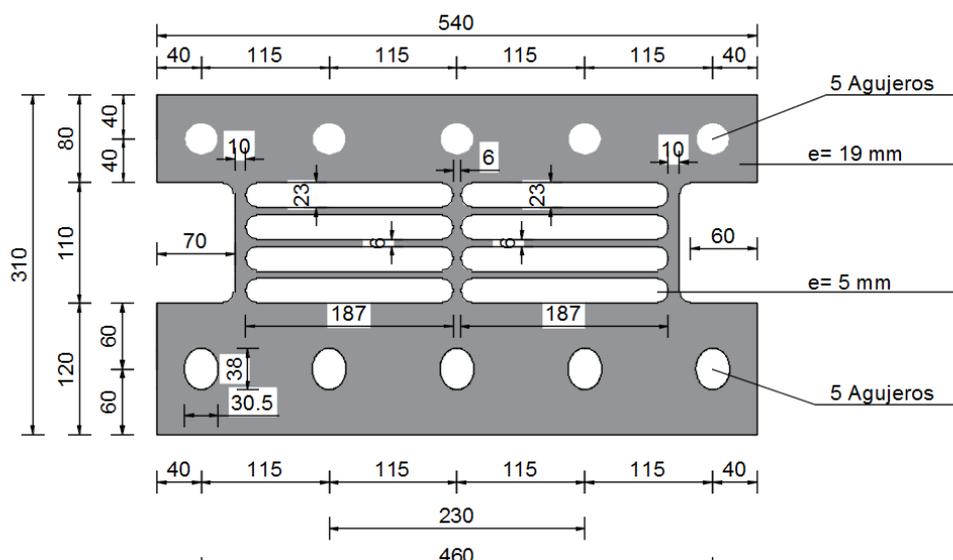
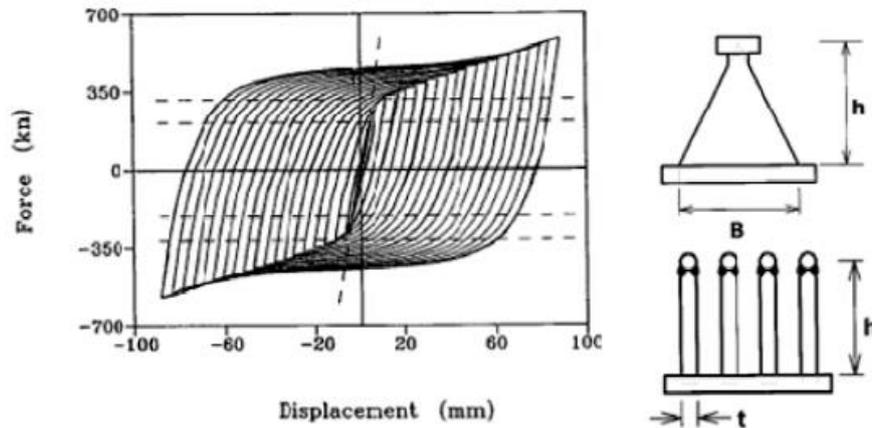


Figura 16. Disipador de energía tipo Shear Link de Bozzo SLB40\_5

#### 4.1. Validación Experimental y Numérica

Es conveniente ensayar por los menos dos disipadores tipo TADAS, con las dimensiones indicadas en la Tabla 4 y ver su curva constitutiva. En la Figura 17 se ofrece el

comportamiento de un disipador de dimensiones un poco mayores al que se va a utilizar, apreciándose que llega a un desplazamiento lateral de 6,00 cm, y una fuerza de corte mayor a las 40,00 T. Se aprecia inclusive, que no hay degradación de rigidez en la descarga, y la resistencia se incrementa en cada ciclo de carga. A la derecha de la Figura mencionada se presenta la placa triangular y la peinetas en la cual van insertas las placas del disipador.



**Figura 17.** Curva constitutiva de un disipador TADAS con dimensiones similares al empleado en este estudio. Fuente: [19]

De igual manera es importante ensayar 2 disipadores SLB40\_5 para ver sus constitutivas. En la parte superior de la Figura 18, se presenta un disipador SLB 30\_2, es más pequeño que el que se va a utilizar en el reforzamiento de las estructuras de Molinos superior.



**Figura 18.** Disipador SLB 30\_2 de la segunda generación antes del ensayo. Fuente [18]

En la Figura 19 se aprecia que las fuerzas de corte llegan a las 20,00 t, y el desplazamiento lateral máximo está en el orden de los 2 cm. Con el disipador SLB40\_5 se tendrá mayor cortante y desplazamiento. Al examinar la curva constitutiva se aprecia que existe degradación de rigidez en la descarga e incremento de la resistencia hasta una deformación lateral de 1,00 cm, luego existe pérdida de resistencia. La disipación de energía de este dispositivo es importante.

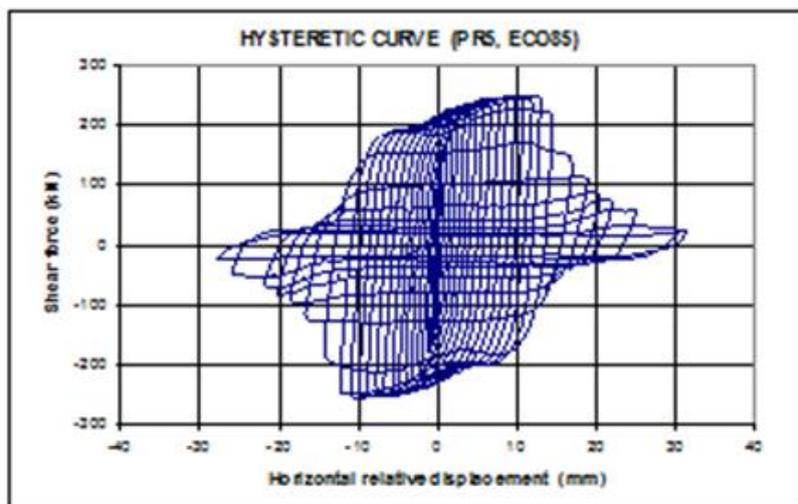


Figura 19. Disipador SLB 30\_2 de la segunda generación. Curva constitutiva. Fuente [18]

#### 4.2. Colocación de disipador en contraviento en forma de V invertida

En la Figura 20 se presenta un esquema de la colocación de un disipador sobre un contraviento en forma de V invertida, a fin de ilustrar que se van a colocar en dicha posición, ya que en la gráfica se tiene 1 disipador SLB de la segunda generación; en el Bloque de Harina se colocarán dos SLB 40\_5 de la tercera generación sobre la viga, la misma tendrá una forma de “T” de 200/400/18/12 mm; el peralte es de 200,00 mm y el ancho es de 400,00 mm, para que se asienten los disipadores de energía TADAS o Shear-Link (ver Figura 21) La longitud de esta viga es de 1,00 m.

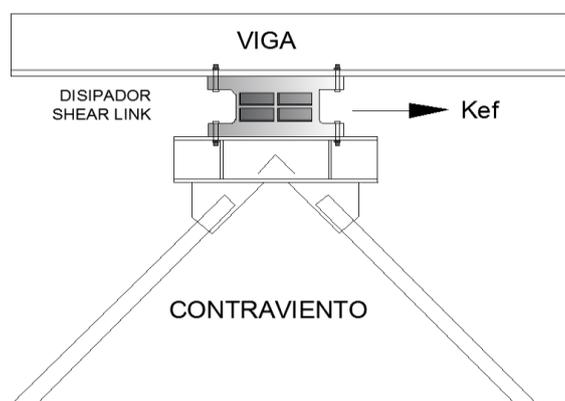


Figura 20, Colocación disipador Shear Link Bozzo, sobre contraviento en forma de V invertida. Fuente: [17].

Las vigas y diagonales del contraviento son de acero A36, construidas con una plancha de acero, para que tengan la geometría indicada en la Figura 21. Las diagonales son circulares de 320,00 mm, de diámetro y 20,00 mm de espesor.

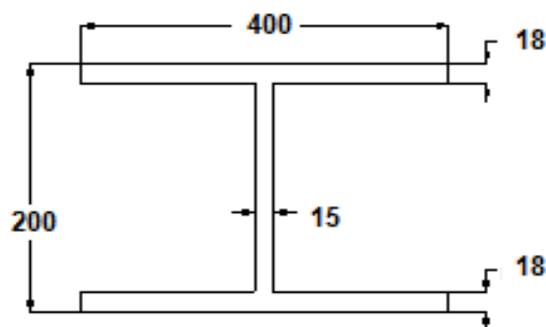


Figura 21. Perfil de acero de vigas y diagonales de Contraviento.

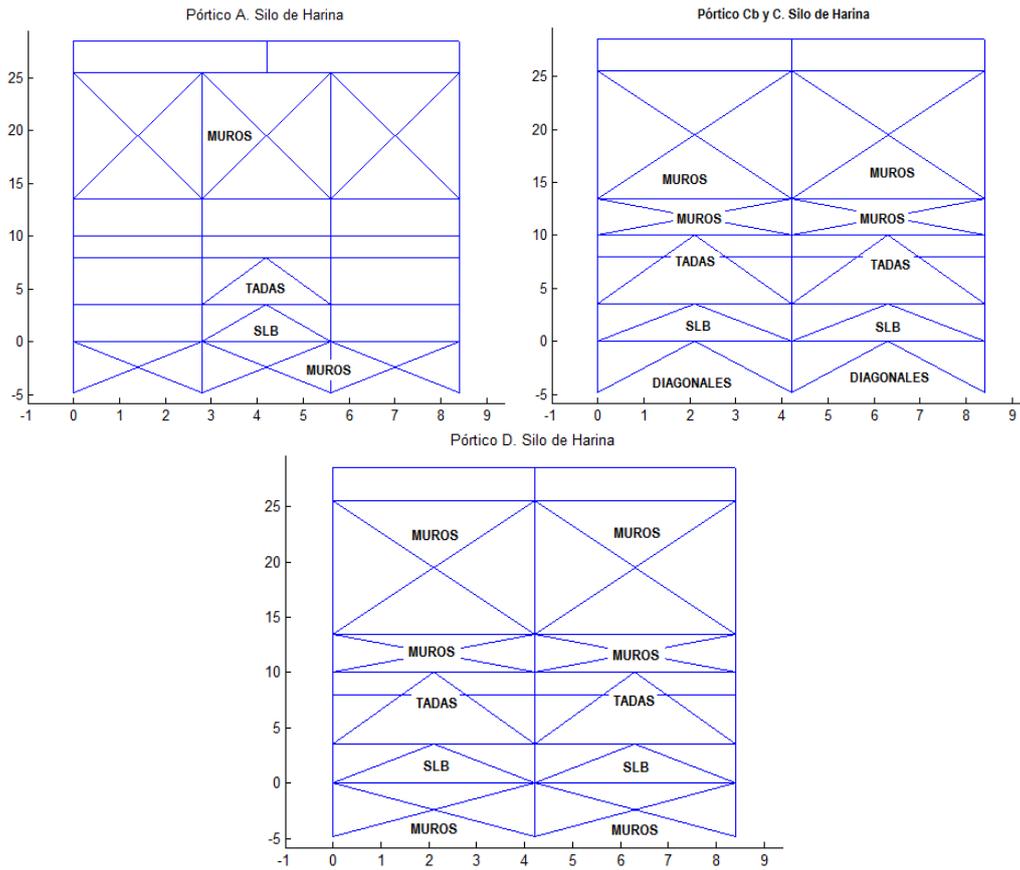
#### 4.3. Colocación de Disipadores

La colocación de los disipadores sobre los contravientos debe ubicarse en sitios que permitan seguir laborando sin cambios de ubicación de los equipos existentes en la zona. Inicialmente, se tenía previsto ubicar en el centro del vano en sentido longitudinal disipadores, pero allí se encuentran algunas tuberías y cables por lo que se decidió cambiar la ubicación a un vano adyacente. En la Figura 22 se ve el estado del Bloque de Harina en el mes de agosto de 2016, con paredes muy livianas en la fachada, esto es muy positivo. Los contravientos y disipadores se colocarán por la parte interior, de esa manera se les protege contra la corrosión del ambiente costero, a pesar de que originalmente vienen con tratamiento especial para este fin. Sólo en un sector se debe modificar ligeramente la forma de una grada metálica de pequeña longitud.



Figura 22. Bloque de Harina en el mes de agosto de 2016.

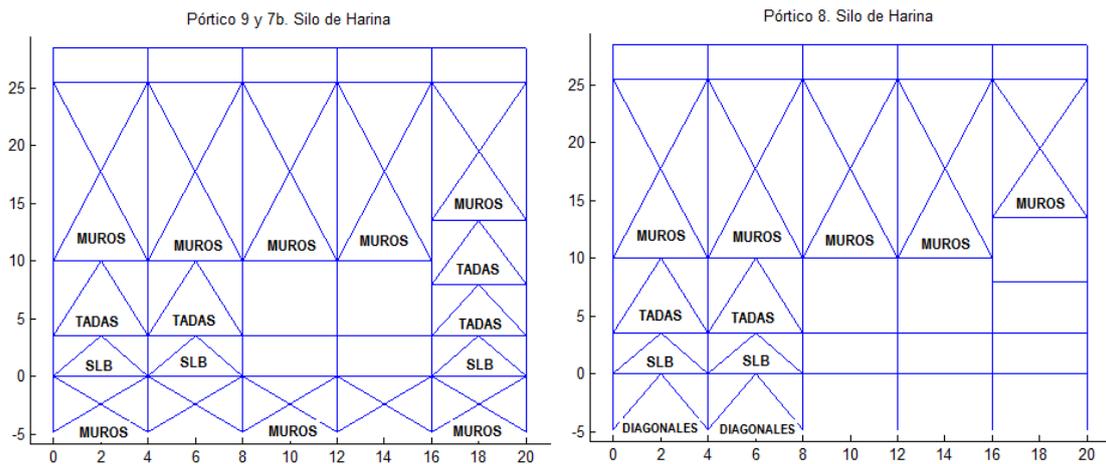
En algunos pórticos del subsuelo se colocarán diagonales de acero tubular de las mismas dimensiones de los contravientos, y del mismo material es decir de 320,00 mm de diámetro y 20,00 mm de espesor. En la Figura 23 se presentan los pórticos en sentido transversal en los que se colocarán: Diagonales, disipadores SLB y disipadores TADAS; los pórticos que no se indican permanecerán como están en la actualidad.



**Figura 113.** Pórticos en sentido transversal en los cuales se colocarán disipadores de energía SLB o TADAS.

Artículo de Investigación

En el sentido longitudinal se colocarán disipadores de energía en los tres pórticos que existen en sentido longitudinal. En la Figura 24 con una “V” se indica su ubicación, para los pórticos exteriores 9 y 7b. Para el pórtico 8 adicionalmente a los disipadores, se colocan diagonales de acero en el subsuelo



**Figura 24.** Ubicación de diagonales de acero, disipadores SLB y disipadores TADAS en pórticos en sentido longitudinal

En la Figura 25 se indica la ubicación en planta de los contravientos; esta gráfica es un complemento a las Figuras 23 y 24, a fin de observar la ubicación de los disipadores y diagonales de acero.



En la Tabla 5 se presenta los desplazamientos en centímetros y derivas de piso en porcentaje, de la estructura reforzada y como era de esperarse se mejora notablemente la respuesta sísmica con relación a la estructura no reforzada. Los desplazamientos laterales se reducen prácticamente a la mitad. Todas las derivas de piso son menores al 2% recomendadas por el NEC-15. Resta ahora observar el desempeño de la estructura ante los sismos de diseño DBE y máximo considerado MCE, encontrado en el estudio de Peligrosidad Sísmica.

**Tabla 4.** Desplazamientos y derivas de piso encontradas en estructura reforzada. Considerando 70% de almacenamiento de harina, ante espectro obtenido en Manta del terremoto 16 A

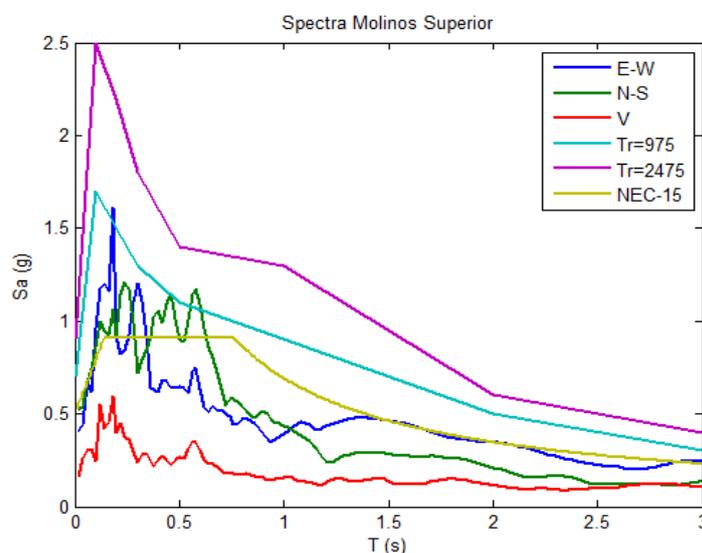
Nivel (m)	Sentido Transversal				Sentido Longitudinal			
	Componente E-W		Componente N-S		Componente E-W		Componente N-S	
	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)
0,00	0,39	0,08	0,28	0,06	0,30	0,06	0,22	0,05
3,50	4,34	1,12	3,03	0,79	3,67	0,96	2,69	0,71
8,00	10,93	1,46	7,64	1,03	9,48	1,29	6,82	0,92
10,00	13,03	1,05	9,12	0,74	10,14	0,32	7,43	0,30
13,50	15,18	0,61	10,63	0,43	18,47	2,37	12,91	1,56
25,50 m	18,80	0,30	13,25	0,22	12,22	-0,52	8,82	-0,34
28,45	24,60	1,96	17,91	1,58	13,70	0,50	9,82	0,34
T (s)	1,96							

### 5.1. Comportamiento ante Espectros DBE y MCE

Se denomina espectro de diseño DBE, al obtenido en el estudio de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 975 años, y espectro máximo considerado MCE al encontrado en el estudio de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 2475 años. La probabilidad de ocurrencia de estos terremotos es muy baja pero se debe considerar en el reforzamiento de una estructura. En la Figura 27 se presentan éstos espectros para períodos de retorno de 975 y 2475 años, también se indican los obtenidos con las registros sísmicos de Manta del terremoto del 16 A, apreciándose que el espectro cuyo período de retorno es de 975 años tiene ordenadas espectrales más altas que el obtenido en Manta, de tal manera que se trata de un terremoto más fuerte que el registrado el 16 A, en el sentido que se tiene mayores aceleraciones espectrales.

En la mencionada Figura, se observa que las ordenadas espectrales del terremoto cuyo período de retorno es de 2475 años, son considerablemente mayores que el espectro obtenido en Manta del terremoto del 16 A. Este si es un mega terremoto. Nótese que bajas son las ordenadas espectrales que se obtienen con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15

para un perfil de suelo tipo D, [21] (suelo de la empresa Molinos Superior) en la ciudad de Manta.



**Figura 14.** Espectros registrados en Manta del terremoto del A; espectros obtenidos de estudio de peligrosidad sísmica para períodos de retorno de 975 y 2475 años y espectro del NEC-15.

Una vez que conocidos los espectros para período de retorno es 975 años y del megaterremoto con período de retorno de 2475 años en la Tabla 6 se presenta el desempeño de la Estructura reforzada con fibra de carbono, diagonales y disipadores de energía. Los desplazamientos laterales y derivas de piso halladas ante un terremoto más fuerte que el registrado el 16 A, son considerablemente menores a las que tuvo la estructura sin reforzamiento en el mismo evento. Por lo tanto, su desempeño es muy satisfactorio. Ante el terremoto con período de retorno de 2475 años, los desplazamientos son ligeramente menores a los que tuvo la estructura el 16 A, con la salvedad que ahora las vigas y columnas tienen una mayor capacidad a flexión y corte por el reforzamiento con fibra de carbono.

**Tabla 5.** Desplazamientos y derivas de piso encontrados en estructura reforzada. Considerando 70% de almacenamiento de harina, ante espectro obtenidos en estudio de Peligrosidad Sísmica

Nivel (m)	Tr=975 años				Tr=2475 años			
	Sentido Transversal		Sentido Longitudinal		Sentido Transversal		Sentido Longitudinal	
	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)
0,00	0,51	0,10	0,41	0,08	0,66	0,13	0,53	0,11
3,50	5,59	1,45	4,92	1,29	7,21	1,87	6,40	1,67
8,00	14,13	1,89	12,64	1,72	18,24	2,45	16,41	2,22
10,00	16,87	1,36	13,61	0,48	21,78	1,77	17,67	0,63
13,50	19,68	0,80	24,33	3,06	25,42	1,04	31,58	3,97
25,50	24,48	0,40	16,34	-0,66	31,62	0,52	21,21	-0,86
28,45	32,79	2,81	18,57	0,75	42,39	3,65	24,11	0,98
<b>T (s)</b>	1,96							

## 6. CONCLUSIONES

Una de las lecciones brindadas por el terremoto del 16 de abril de 2016 de magnitud 7,8 en Ecuador, fue que las paredes construidas a base de ladrillos o bloques explotan durante un evento sísmico, y pueden causar daño a las personas, lo que no sucede cuando se emplea materiales livianos como el Gypsum. Las paredes livianas tuvieron un mejor comportamiento durante dicho terremoto, por lo que se decidió reconstruir las paredes en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí con Gypsum.

El primer edificio considerado para la reconstrucción fue el de la Facultad de Informática, que se ha analizado su comportamiento durante el terremoto en el presente artículo, observándose una deriva máxima inelástica de 0,95 % sin tener daño en los elementos estructurales, pero una avería que va de moderado a severo en la mampostería. Al cambiar el material de las paredes a Gypsum, se rigidiza la estructura y la deriva máxima inelástica ante el terremoto del 16 de abril de 2016 llegó a 0,90 %. Por lo tanto, en este estudio se ha visto que derivas de piso inelásticas menores a 1% no presentan daño en los elementos estructurales pero si un daño en la mampostería que va de moderado a severo.

## 7. REFERENCIAS

- [1] USGS, “M 7.8 – 27 km SSE of Muisne, Ecuador”, Earthquake Hazards Program, 2016.
- [2] W. Mera, “Estudio de la vulnerabilidad sísmica-estructural de los edificios de Molinos Superior de la ciudad de Manta”, Consultoría Estructural. Segundo Informe. Guayaquil, pp 27, 2016
- [3] R. Aguiar y J. Mieles, “Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016”, Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 21, n° 3, pp 275-285, 2016, Disponible en: <http://www.riie.espe.edu.ec>
- [4] R. Aguiar, F. Del Castillo, L. Mizobe, P. Mendoza, “Rehabilitación de edificio afectado por el terremoto del 16 de abril de 2016 de Ecuador en la ULEAM”, Revista Gaceta Técnica, vol. 15, n° 1, pp 9-22, 2016.
- [5] A. Filiatrault, “*Seismic design and analysis of nonstructural components, Chapter 5 Seismic performance of cold-formed steel framed Gypsum partition walls*” Material entregado en el XX Curso Internacional de Estructuras realizado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en Ecuador, 2015.
- [6] W. Mera, “Estudio de la vulnerabilidad sísmica-estructural de los edificios de Molinos Superior de la ciudad de Manta”, Consultoría Estructural. Primer informe. Guayaquil, pp 23, 2016.
- [7] K. Campbell, Y. Borzognia, “NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra” Earthquake Spectra, vol 30 n° 2, pp 1087-1115, 2014.
- [8] N. Abrahamson, W. Silva, and R. Kamai, “Summary of the ASK14 ground motion relation for active crystal regions”, Earthquake Spectra, vol 30 n° 3, pp 1025-1055,

- 2014.
- [9] B. Chiou, R. Youngs, "Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground and response spectra", *Earthquake Spectra*, vol. 30 n° 3, pp 1117-1153, 2014
- [10] R. Aguiar, M. Rodríguez, D. Mora, "Análisis sísmico de estructuras con disipadores ADAS o TADAS", *Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería Sísmica CIMNE, IS-73*, pp 174, 2016.
- [11] Instituto Geofísico, "Informes sobre el terremoto de Muisne del 16 de abril de 2016", *Escuela Politécnica Nacional, Quito*, 2016.
- [12] R. Aguiar, "Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB", *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Segunda Edición*, pp 416, 2012.
- [13] R. Aguiar, "Análisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB", *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Cuarta Edición*, pp 676, 2014.
- [14] A. Barbat, S. Oller, y J. C. Vielma, "Cálculo y diseño sísmo resistente de edificios. Aplicación de la Norma NCSE-02", *Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Monografía de Ingeniería Sísmica, IS 56*, pp 183, 2005.
- [15] J.C. Vielma y M. Cando, "Evaluación de estructuras metálicas, proyectadas conforme a Norma Ecuatoriana de la Construcción mediante análisis no lineal", *Revista Ciencia*, vol. 16, n°. 2, 175-191, 2014.
- [16] A. Chopra, "Dynamic of structures: Theory and applications to earthquake engineering", 2<sup>nd</sup> edn. Prentice Hall: Saddle River New York
- [17] R. Aguiar, D. Muñoz, S. Serrano, "Reforzamiento del Bloque Estructural del parqueadero de la ULEAM, afectada por el terremoto del 16 de abril de 2016", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, vol. 21 n°. 3, pp 301-317, 2016.
- [18] L. Bozzo, "Simulación numérica. Disipador Bozzo inserto en tubo", *Informe Técnico*, pp 16, Lima, 2016
- [19] K-C Tsai, H-W Chen, C-P Hong, Y-F Su, "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction", *Earthquake Spectra*, vol. 9, n°. 3, pp 505-528, 1993
- [20] A. Tena, H. J. Nanguillasmú-Hernández, "Assessment of seismic design parameters of moment resisting RC braced frames with metallic fuses", *Engineering Structures*, vol. 95, pp. 138-153, 2015.
- [21] NEC-15, "Norma Ecuatoriana de la Construcción", *Ministerio de la Vivienda MIDUVI*, 2015.