

DISEÑO ESTRUCTURAL,SU ENSEÑANZA Y EL EMPLEO DE SOFTWARE

**Ruben Edelstein
Ingeniero Civil
Córdoba**

Ex-Profesor Titular de Estructuras II de F.A.U.D. y Ex-Profesor Adjunto de Construcciones de Hormigon Armado de la F.C.E.F y N. ambas de la U.N.C.-Profesor Visitante en el Depto.Ingeniería Civil de la University of Southern California (L.A.,U.S.A.). Autor de 4 libros sobre Diseño y Cálculo Estructural, y de cerca de 40 trabajos publicados en Congresos de Estructuras.-Director de varios Proyectos de Investigación en U.N.C.-Su actividad profesional se desarrolla en el Diseño y Cálculo Estructural .-

Resumen

Este trabajo tiene doble objetivo, primero enfatizar la importancia del Diseño Estructural a los efectos del logro de la Creatividad Estructural,formulando como metodología, el estudio de obras de arquitectura,con sistemas resistentes de relevancia estructural,y el segundo la necesidad de priorizar el conocimiento de la Ciencia de las Estructuras en relación al mero empleo de software.-

Habiéndose elegido,para el primer objetivo, las siguientes obras:

- 1.-Centro Cultural G.Pompidou,para evidenciar el recurso empleado para aumentar la rigidez, mediante el pretensado de la estructura,por acción gravitatoria.-
- 2.-The Century Tower, para analizar el recurso de reducir luces y simplificar el problema constructivo mediante el diseño arquitectónico-estructural.-
- 3.-El Commerzbank,el uso de sistemas aporricados,con vigas Vierendeel de varios pisos,con el objeto solucionar grandes luces y su sistema particular de fundaciones y la necesidad profundizar la investigación del mismo.-
- 4.-Edificio en Caracas,de multipisos,con empleo de macro-pórticos,con el objeto de incrementar,su rigidez lateral.-

A los efectos segundo objetivo,prioridad del conocimiento de la Ciencia de las Estructuras, en relación al mero empleo de software,se examinaran dos aspectos de sendos programas de computación,a saber:

- 1.-Programa de computación,a los efectos de estudiar colisión de estructuras por efecto sísmico.-
- 2.-El empleo de SAP 2000,la acción simultánea de acciones gravitatorias y sísmicas, a los efectos de evidenciar necesidad del empleo criterioso en la selección de parámetros como el número de pasos,de procesos iterativos,para lograr la convergencia del problema matemático.-

STRUCTURAL DESIGN,TEACHING AND USING SOFTWARE.

Ruben Edelstein
Civil Engineer
Córdoba

Ex- Titular Professor of Structures II at F.A.U.D and Adjunct Professor of Reinforced Concrete Construccions at F.C.E.F.y N.both at U.N.C..-Visiting Professor at the Civil Engineering Department, University of Southern California.-Author about 4 books related to Analysis and Structural Design,and wrote nearly 40 research paper works published at Structures Congress.-Director of several Research Works at U.N.C.- Professional activity about Analysis and Structural Design.-Plenary Member at A.I.E. -

Summary

This research has a double purpose,first to emphasize Structural Design importance in order to achieve Structural Creativity,by using as a Metodology by means of studying architectural designs which have relevance structural systems,and second the necesity of knowing Structural Science instead of handling software as a black box.-

It was choosed to study the followings cases,in order to get the first aim:

- 1.-The Cultural Centre G.Pompidou,in order to show a way to increase structural stiffnes,by structtural prestressing, by means of gravity loads.-*
- 2.-The Century Tower,to study the way to reduce span values and to solve construc tion problems by choosing adequate architectural and structural decisions.-*
- 3.-The Commerzbank,to study the way to solve large spans by using frames with Vierendeel beams,and its particular foundations system,where piles and mats works as a whole system,and the necessity of increase knowledge about its behaviour.-*
- 4.-Multistory building at Caracas,by using macroframe solution in order to increase lateral stiffness.-*

In order to get the second purpose,as a way top give priority of knowing Structural Science instead of handling software as a black box,it will be examined two as pects about some software.-

- 1.-Software in order to study structural pounding due to seismic effects.-*
- 2.-Using SAP 2000,simultaneously gravity with seismic actions,in order to show the necessity of judgment to choose some parameters related to step numbers,iterative process to get mathematical stability.-*

DISEÑO ESTRUCTURAL,SU ENSEÑANZA Y EL EMPLEO DE SOFTWARE

1.-Introducción:

Este trabajo tiene doble objetivo, primero enfatizar la importancia del Diseño Estructural a los efectos del logro de la Creatividad Estructural, formulando como metodología, el estudio de obras de arquitectura, con sistemas resistentes de relevancia estructural, y el segundo la necesidad de priorizar el conocimiento de la Ciencia de las Estructuras en relación al mero empleo de software.-

2.-Diseño y Creatividad Estructural:

2.1.-El Centro Cultural G.Pompidou ,edificio en 6 niveles,partido rectangular, estructura metálica,con 4 planos resistentes verticales (P.R.V.) uno en cada lado del rectángulo,siendo 2 de ellos según Figura N°1,y 2 según Figura N°2.-La planta tipo,organizada con una modulación de 12,90 m y distancia entre columnas internas,de sección anular, de 48,00 m, segun se indica en Figura N°5,y constituye plano resistente horizontal (P.R.H.).-

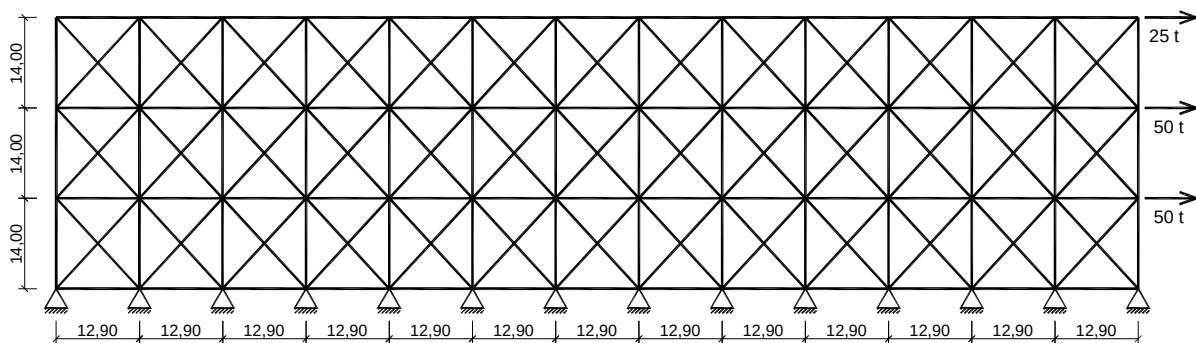


Figura N°1

El P.R.V. de Figura N°1, sus elementos verticales (E.V.), son cables y simultáneamente son las "columnas" externas de los P.R.V. de Figura N°2 y N°3, y en razón de su esbeltez, aptos para soportar exclusivamente esfuerzos de tracción.-

Las diagonales dobles (D.D.) que se observan en Figura N°1, también son cables y en razón de su esbeltez, aptos para soportar exclusivamente esfuerzos de tracción.-

Todos los nudos del P.R.V. de Figura N°1, se hallan articulados, debido al sistema constructivo, y se han indicado las fuerzas horizontales debidas a la acción eólica.-

El P.R.V. de Figura N°3, que considerado aisladamente es inestable, permite generar el P.R.V. de Figura N°2, mediante la adición de 2 sistemas de D.D. en planta baja y 15 "V" invertidas, en los pisos superiores, y con ello lograr su rigidización.-

El P.R.V. de Figura N°3 es estable debido a la acción conjunta de los 4 P.R.V. de fechada y de los P.R.H. que se indican en Figura N°5.-

El P.R.V. de Figura N°3, permite distinguir la presencia de una viga Gerber en cada uno de sus niveles, la cual, se grafica en detalle en la Figura N°4, y que atento a la magnitud de las luces y de las cargas producidas por el peso propio (sin sobrecargas útiles), hace necesario que el tramo central de cada una de ellas, de 44,80 m de luz, sea de tipo reticulado.-

(1Ton=9810 N)

Los cordones y diagonales de estas vigas reticuladas, son de sección anular.-

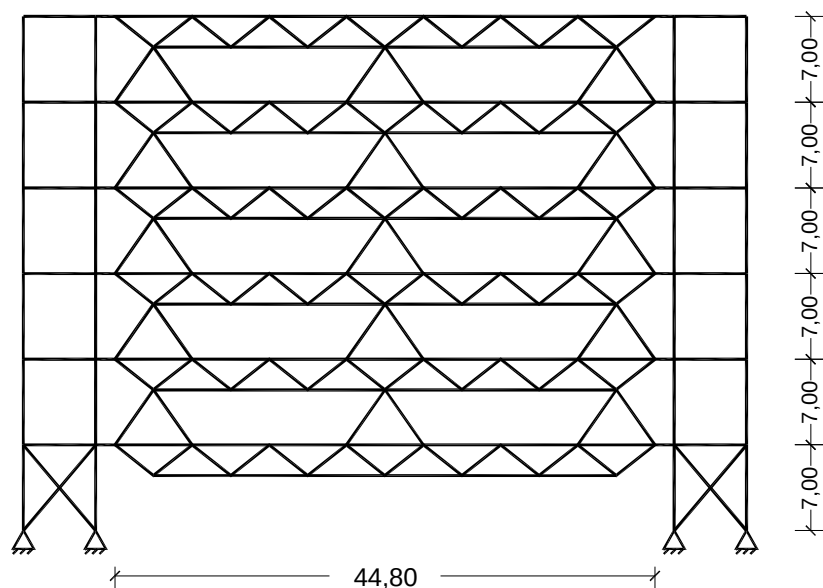


Figura N° 2

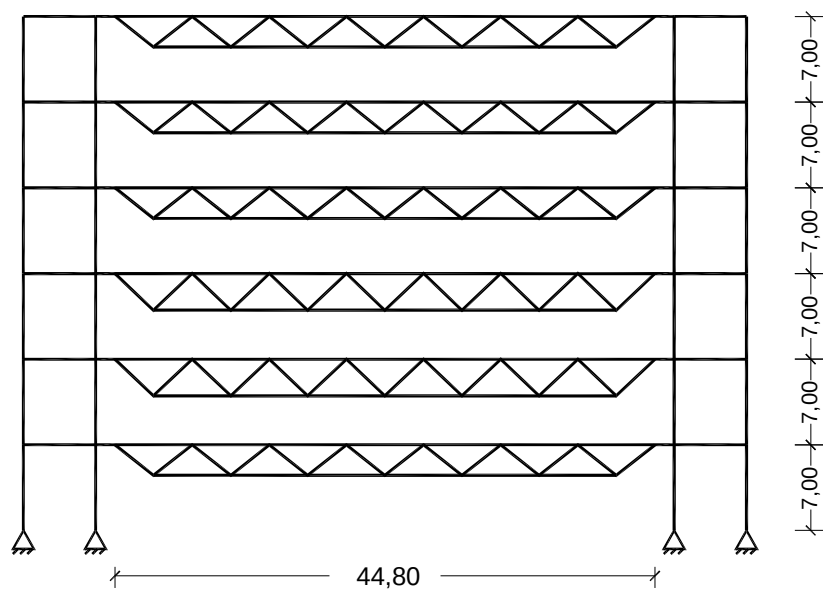


Figura N° 3

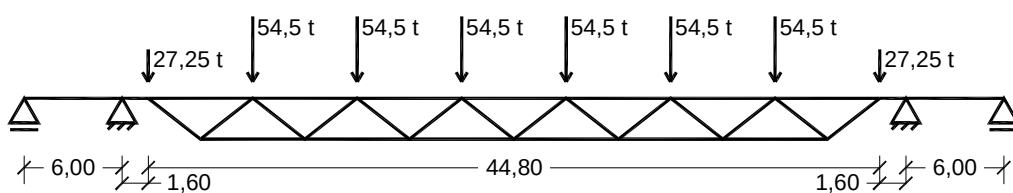


Figura N° 4

De la viga Gerber de Figura N° 4, se deduce fácilmente, que las reacciones en los apoyos externos, son “hacia abajo”, es decir producen un trabajo de tracción en los E.V. de Figura N° 3 y N° 1 y en consecuencia, también resultan solicitadas a tracción las D.D., toda vez que concurren a los nudos en que se articulan estas D.D.-

De manera que queda demostrado que las cargas gravitatorias ¹ implican un estado de pretensado de los P.R.V. del tipo de Figura N° 1 .-

Al actuar las cargas de origen eólico indicadas en dicha Figura N° 1, producen tracción y compresión en las D.D., que teniendo en cuenta de su esbeltez, se hubieran pandeado, pero el grado de pretensado es tal, que la superposición de cargas gravitatorias y eólicas, produce siempre en las D.D. una sollicitación de tracción.-

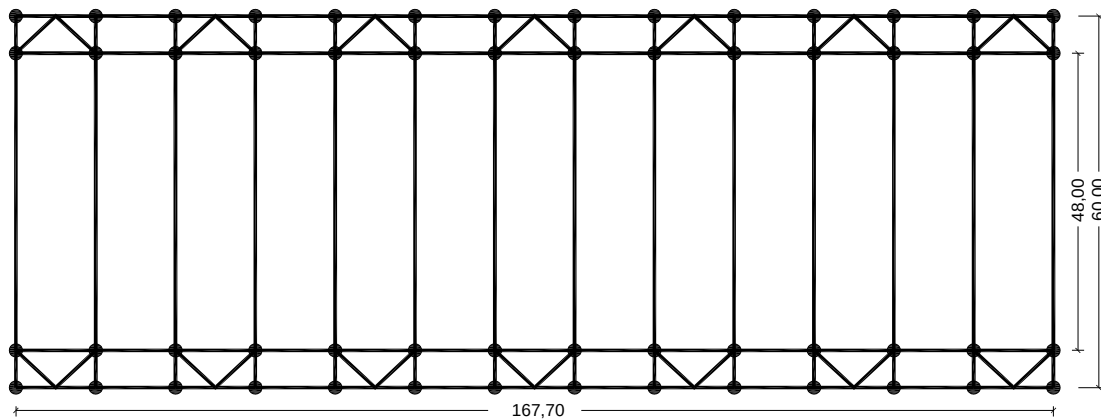


Figura N° 5

2.2.-The Century Tower, edificio de multipisos, de cuya organización estructural, interesa examinar exclusivamente los 4 P.R.V. paralelos al eje de la calle, por cuanto su imagen, según Figura N° 6 pone en evidencia la participación de la estructura en la expresión del edificio.-



Figura N° 6

La Figura N°6 demuestra la repetición en altura de un pórtico básico, con columnas extremas y diagonales (P.B.c.C.y D.), cuya imagen se indica en Figura N°7.-

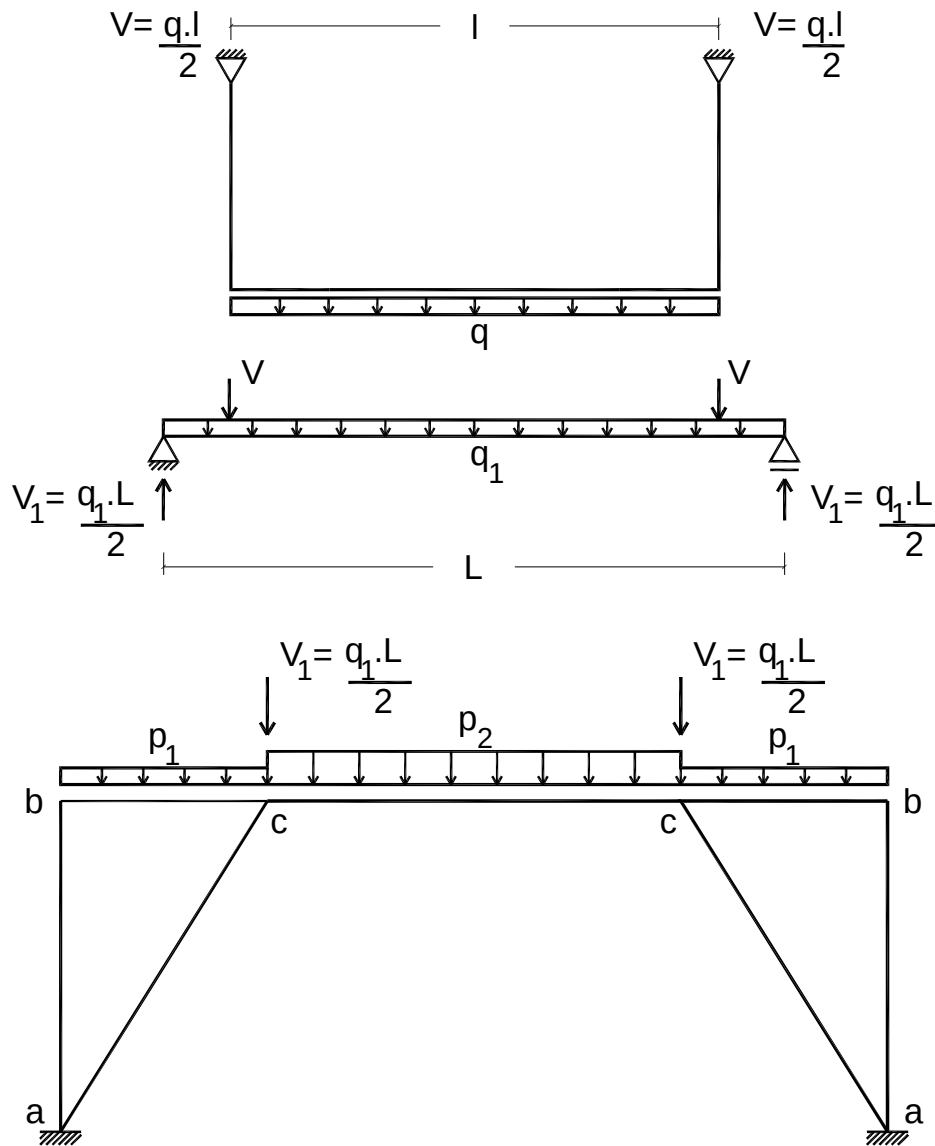


Figura N°7

Las diagonales tienen un doble objetivo a saber, reducir la luz de la viga de pórtico del P.B.c.C.y D. y colaborar en el equilibrio de las fuerzas horizontales.-

Los subsistemas estructurales que se grafican en Figura N°7 son secuencialmente: El pórtico invertido (P.I.), que básicamente es una estructura de transición, cuyas acciones V se transfieren a la viga de reacción (V.R.) y las acciones de esta V.R., V_1 se descargan en la viga de pórtico (V.P.) que integra el P.B.c.C.y D.-

Debido a la magnitud de la luz y cargas actuantes en esta V.P., se justifica, la presencia de las diagonales.-

El P.B.c.C.y D. es de doble altura y el P.I. es de simple altura, de manera que su repetición en altura, genera el diseño estructural que se observa en Figura N°6.-

El P.I. se ubica en un plano vertical perpendicular al plano que contiene P.B.c.C. y D. Este P.I. en número de 2, forma parte del sistema sustentante del entrepiso tipo que se grafica en Figura N°9, y que se alterna, en altura, con el entrepiso tipo de Figura N°8, que se ubica en correspondencia de cada una de las V.P.-

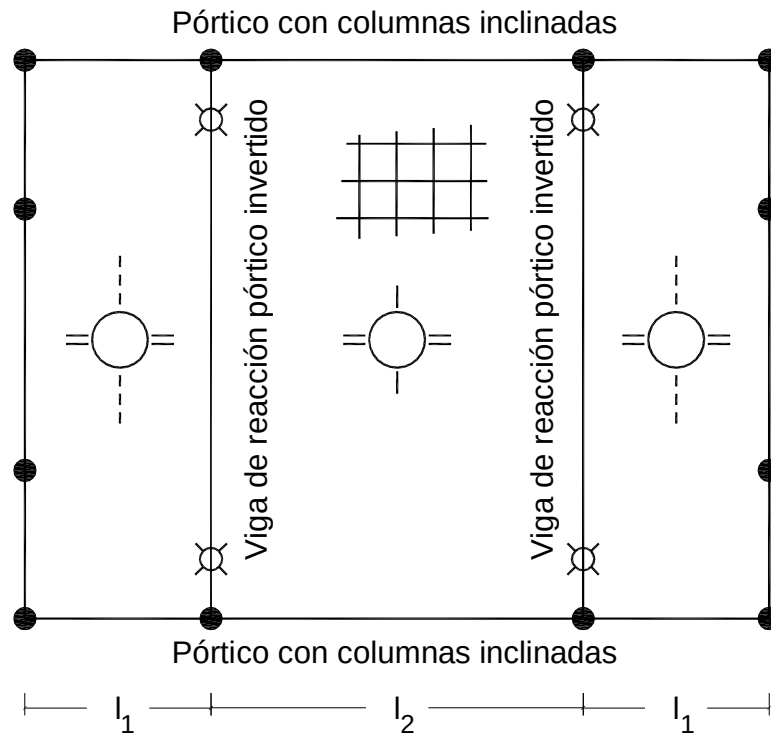


Figura N°8

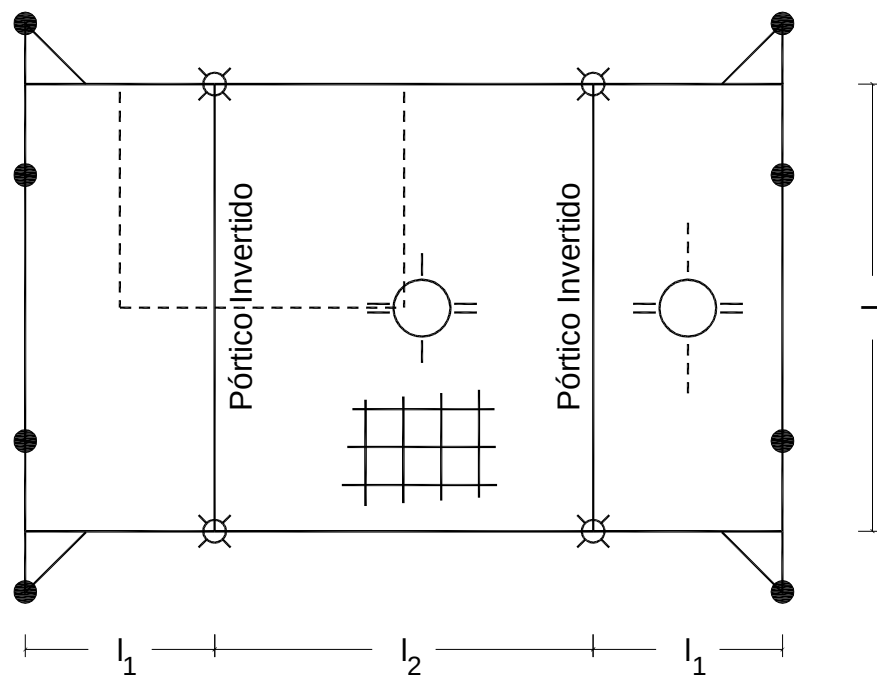


Figura N°9

Se destacan algunas decisiones de Diseño Estructural que hacen a la calidad del mismo.-Entre ellas, las escotaduras de la planta tipo de Figura N°9², son el resultado de la necesidad que el nudo, determinado por la intersección de la diagonal y la V.P., no se encuentre conflictuado, bajo el punto de vista constructivo por la columna del P.I., en dicho nudo, implicando que la acción V del P.I. se ubique con un cierto brazo de palanca, que inducirá momento flector y esfuerzo de corte adicionales en la V.R. de manera que dicho brazo de palanca no puede ser muy grande, a los fines de no incrementar innecesariamente el momento flector.-Estas escotaduras en los entrepisos de Figura N°9, logran que no se perciban en fachada, donde se acusa la doble altura de cada uno de los P.B.c.C.y D, tal como se aprecia en Figura N°10.-

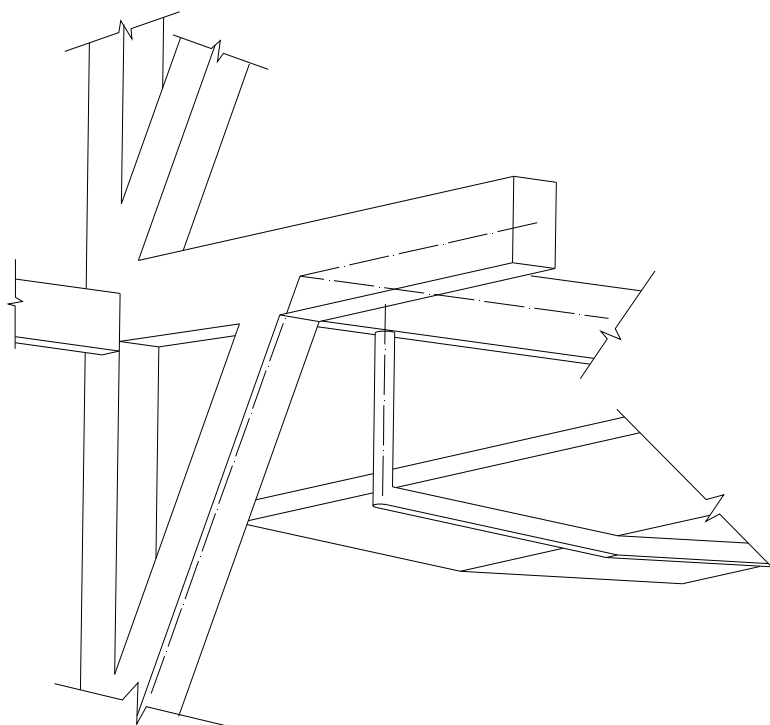


Figura N°10

Los P.B.c.C.y D. al igual que los P.I. son estructuras de acero de sección cajón, mientras que los entrepisos tanto los de Figura N°8 y N°9 son mixtos, es decir losas de hormigón armado sobre un emparillado de vigas metálicas de tipo doble "T".- Adviértase que la presencia de las 2 V.R. en los entrepisos de Figura N°8 al igual que ambas vigas de los P.I. permiten el trabajo de estas losas centrales en dos direcciones, con la ventaja de la reducción de las alturas de los entrepisos, y por lógica con secuencia, implica una reducción de cargas sobre la viga del P.B.c.C.y D., al extremo, tal como se refleja en la Figura N°6, ambos tramos laterales de la viga del P.B.c.C.y D. tienen altura variable.-

La necesidad del diseño del P.I. como pórtico, es a los efectos de otorgarle rigidez de

nudo, y que no se puede lograr con los clásicos tensores.-

2.3.-El Commerzbank ubicado en Frankfurt ³, es un edificio multipisos, con partido triangular y triángulo interior concéntrico, donde 6 de sus P.R.V. se ubican según los lados de ambos triángulos, es decir 3 en cada uno de ellos.-

En la Figura N° 11 se muestra una imagen del edificio, donde se pone en evidencia en sus fachadas, la resolución estructural y el efecto de jardines intercalados cada cierto número de pisos y en forma espiralada en sus 3 fachadas, de modo de generar un sistema de iluminación y ventilación natural.-



Figura N° 11

De la observación de la imagen de Figura N° 11, se deduce que las columnas perimetrales se interrumpen cada cierto número de pisos, de manera que a los efectos de explicar su comportamiento estructural, son necesarias vigas de tipo Vierendeel cuya altura está dada por la altura total del número de pisos que integran cada uno de es

tos “paquetes”, y el funcionamiento de viga Vierendeel (V.V.) implica lograr la rigidez de nudo, en cada cruce de columnas (montantes) con las vigas (cordones) de piso. En la Figura N° 12 se tiene la planta tipo, donde además de los montantes que integran las vigas Vierendeel perimetrales, se ubican 2 grandes pantallas en cada lado del triángulo exterior, que le brindan empotramiento elástico a las V.V.-

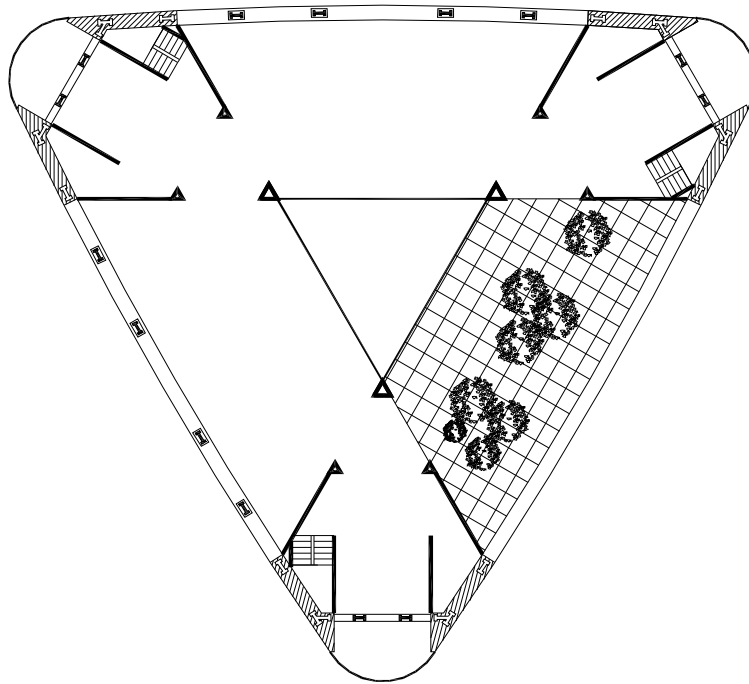


Figura N° 12

En cada vértice del triángulo interno, se dispone de una columna y vigas según los lados de dicho triángulo de manera de conformar pórticos de un solo tramo (P.1.T), lo cual libera de columnas el perímetro interior.-

Las losas de hormigón liviano vertido sobre un deck metálico, y a su vez apoyado sobre vigas metálicas transversales, que entregan su carga a las V.V. del perímetro exterior y a los P.1.T. del perímetro interior.-

El comportamiento de las V.V. con cargas verticales, puede sintetizarse según las Figuras N° 13, 14 y 15.-

En la Figura N° 13 se indica una V.V. bi-empotrada elásticamente, es decir empotramientos imperfectos, de un tramo y de altura del triple de un piso, que puede generalizarse para cualquier número de pisos y 4 montantes, con cargas verticales concentradas.-

En la Figura N° 14 y 15 se indican dos diagramas de momento flector límites, según sea la relación de rigideces flexionales entre montantes y cordones.-

En las Figuras N° 14 y N° 15, se tiene un diagrama de tipo poligonal, que representa el diagrama de momento de una viga bi-empotrada elásticamente, pero maciza, y se ha superpuesto con ellos, los la suma de los diagramas de momentos de tipo escalonado, que representan los momentos generados por los esfuerzos normales obrantes en cada par de cordones, que integran la V.V.-

En las Figuras N° 14 y N° 15, los diagramas rayados, representan la suma de los momentos actuantes en los cordones.-

En la Figura N° 14 se tiene el caso donde la relación de rigideces entre montantes y cordones es muy grande.-

En la Figura N° 15 se tiene el caso donde la relación de rigideces entre montantes y cordones es muy pequeña.-

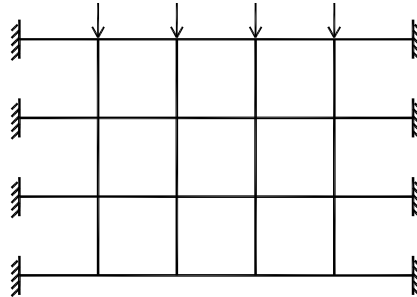


Figura N° 13

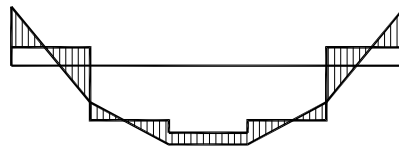


Figura N° 14

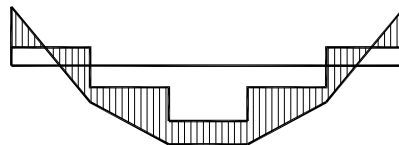


Figura N° 15

En consecuencia, resulta lógico, que el área rayada resulte más grande en la Figura N° 15 que en la N° 14, debido a que en la N° 15 la rigidez de los montantes es notablemente menor que la rigidez de cordones, haciéndose cargo los cordones de los momentos de mayor magnitud.-

El sistema de fundación del edificio Commerzbank, es de tipo mixto, integrado por un conjunto de cilindros de fundación, vinculados con una platea, de manera que se pretende un trabajo conjunto de ambas tipologías.-

Esta situación no convencional, por cuanto la platea requiere la capacidad de reacción de los estratos superficiales, en contacto con la misma, en tanto que los cilindros de fundación movilizarán la capacidad resistente friccional y de punta de los mismos. En general este tipo de fundación mixta, es factible siempre y cuando el horizonte sobre el que apoya la platea, tenga cierta resistencia, pero estén previstas deformaciones importantes, resultando necesario la inclusión de los cilindros de fundación a los

finés de reducir esas deformaciones, evitar desplazamientos diferenciales y elevar la capacidad portante.-

El comportamiento de esta fundación mixta, puede analizarse en base a 4 tipos de interacciones, a saber: interacción entre 2 cilindros adyacentes, según Figura N° 16, interacción entre un elemento de platea y el cilindro, según Figura N° 17, interacción entre el cilindro y un elemento de platea, según Figura N° 18, e interacción entre 2 elementos de platea adyacentes, según Figura N° 19. -

En estas Figuras se tienen los siguientes significados: $P=1$ ton, $q=1$ ton/m², s =separación entre 2 cilindros adyacentes.-

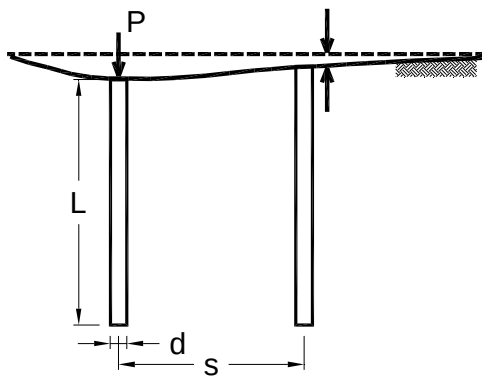


Figura N° 16

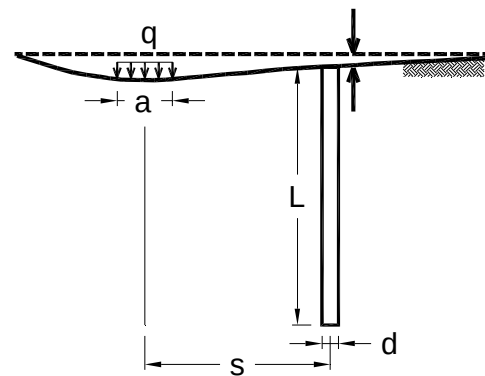


Figura N° 17

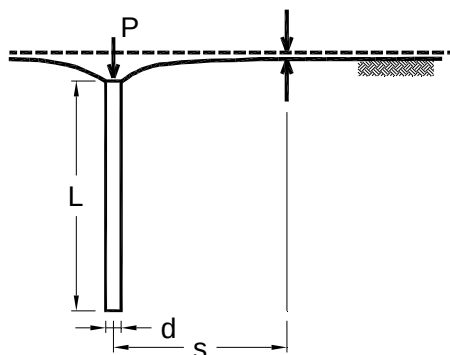


Figura N° 18

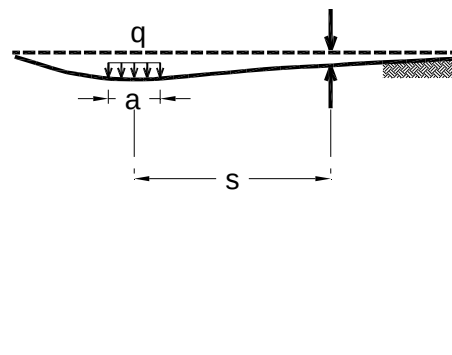


Figura N° 19

La interacción en los 4 casos presentados, produce deformaciones adicionales, que se evalúan por los coeficientes, que representan la relación entre la deformación adicional producida por el elemento adyacente, en el elemento considerado.-

En consecuencia se definen :

α_{cp} =relación entre el desplazamiento adicional en el cilindro debido a una carga unitaria en el elemento de platea adyacente y el desplazamiento en el cilindro debido a una carga unitaria.-

α_{pc} =relación entre el desplazamiento adicional en el elemento de platea debido a una carga unitaria en el cilindro adyacente y el desplazamiento en el elemento de platea debido a una carga unitaria.-

K_c =Rigidez de un grupo de cilindros, distribuidos de modo uniforme debajo de la placa.-

K_p =Rigidez de platea.-

P_c =Parte de la carga total que soporta el grupo de cilindros.-

P_p =Parte de la carga total que soporta la platea.-

δ_c =Desplazamiento medio en el grupo de cilindros.-

δ_p =Desplazamiento medio en la platea.-

En consecuencia se puede establecer que:

$$\delta_c = P_c / K_c + \alpha_{cp} P_p / K_p \quad (1)$$

$$\delta_p = \alpha_{pc} P_c / K_c + P_p / K_p \quad (2)$$

En la hipótesis que no hay asentamientos diferenciales, y que el valor de $\alpha_{pc}=0,8$ lo cual es cierto para un número grande de cilindros, se puede anticipar que la relación P_p / P_c varía entre 0,3 a 0,5 y dependiendo de la relación de rigideces K_p / K_c .

Es importante destacar que los valores de K_p / K_c deben tomar en consideración la influencia del tiempo de permanencia bajo carga.-

2.4.-Edificio en Caracas: edificio multipisos, en zona de alta sismicidad, partido en cruz donde los ejes de las ramas de la cruz se ubican según las diagonales de un cuadrado, se han proyectado 4 pórticos de varios tramos, y a los efectos de incrementar su rigidez, y participar en la expresión del edificio, se los conecta con 4 cajas de circulación vertical ubicadas en los vértices, que además soportan, en los dos últimos niveles, 4 vigas perimetrales de 26 metros de luz, tal como se observa en Figura N° 20.



Figura N° 20

En la Figura N° 21 se tiene la planta tipo, donde se reconoce el partido en cruz, según

las diagonales del cuadrado envolvente, y donde los P.R.V., se disponen según las diagonales mayores de dicho cuadrado.-

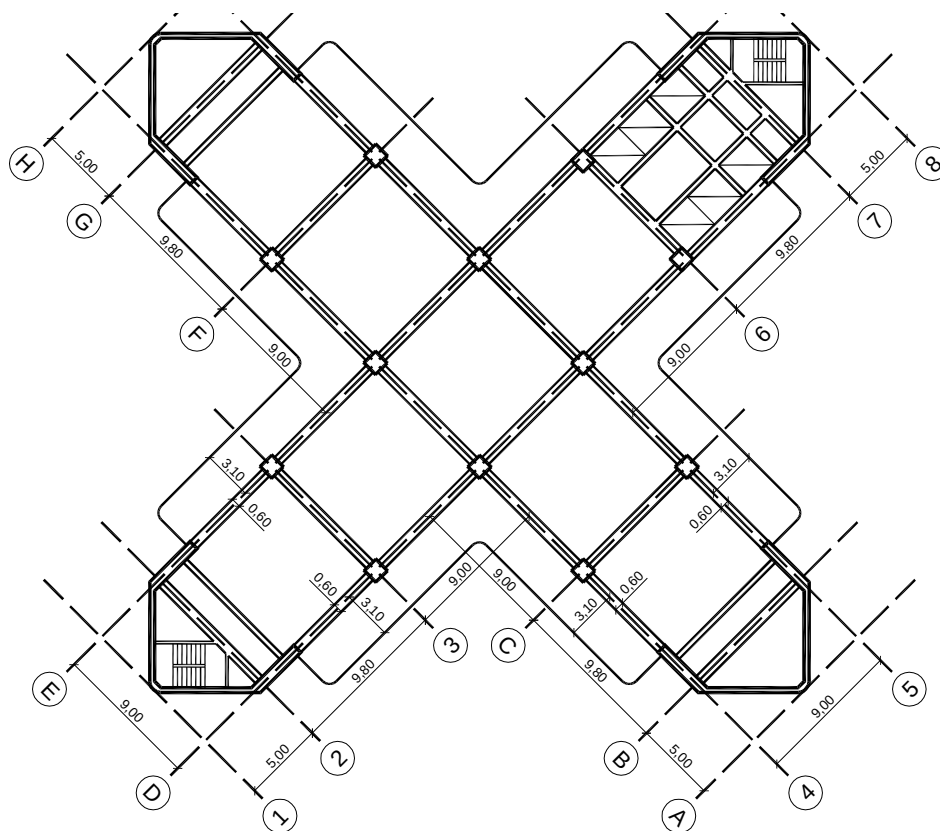


Figura N°21

En Figura N°21 se advierte 2 tipos de P.R.V., a saber los pórticos de un único tramo, y que en consecuencia son los de menor rigidez y los P.R.V., a saber los pórticos de varios tramos y que interactúan con los tabiques de cajas de escaleras y ascensores ya mencionados, y que lógicamente presentan mayor rigidez.-

Todos estos P.R.V. determinan una partición en módulos del orden de 9,00mx 9,00m y que resultan aptos para una solución de losas de hormigón armado, nervurada en las dos direcciones, atento a la magnitud de las luces.-

En la Figura N°22 se representa el corte según los P.R.V., pórticos de varios tramos, donde se tienen, en los dos últimos niveles, 4 vigas de 5,50m de altura, y que al resultar también conectadas con las 4 cajas esquineras, producen un aumento de rigidez a los P.R.V. de varios tramos, precisamente debido al efecto de estas vigas de importantes dimensiones, que brindará un empotramiento elástico a dichas cajas.-

A los fines de mejorar la conexión entre estas vigas de hormigón armado de 5,50m de altura con los tabiques que integran dichas cajas, se ubican cables de pretensado, desde el nivel 23 al 28.-

Todas estas decisiones permiten lograr, en especial mayor rigidez lateral, es decir una disminución de la deformación horizontal, bajo la acción de fuerzas horizontales producidas por el sismo.- De los 28 niveles, 5 se desarrollan debajo del nivel de calle.-

En la Figura N°23, se tiene la planta de los 2 últimos niveles, donde se grafican las 4 vigas perimetrales de acero, dispuestas según los 4 lados del cuadrado envolvente del partido en cruz, a los efectos de completar la sustentación de las losas integradas

tes, de estos 2 niveles.-

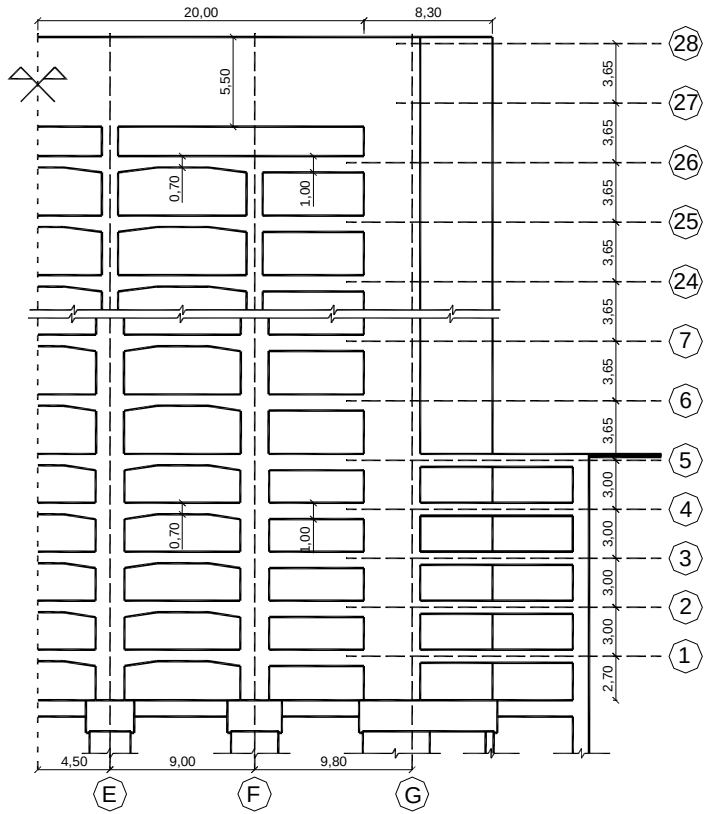


Figura N° 22

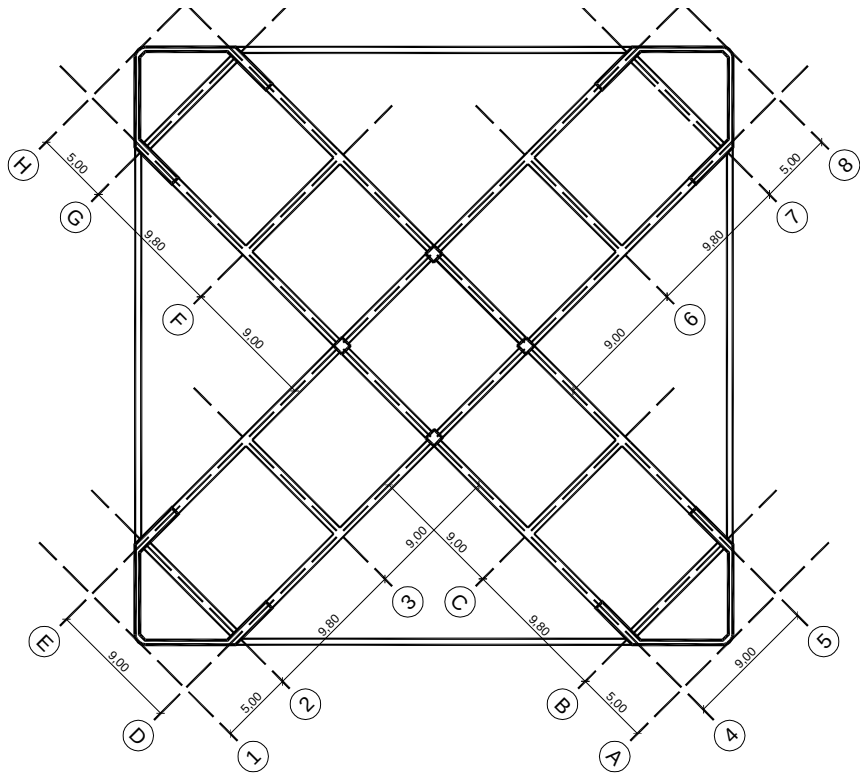


Figura N° 23

3.-Porqué priorizar el conocimiento de la Ciencia de las Estructuras en relación al mero empleo de software:

Destacados profesores como Ray W.Clough y Joseph Penzien han advertido de la importancia de lo métodos de resolución manual,pues si ellos son conocidos y entendidos,no hay inconvenientes en emplear software,pero es imposible usar a los programas de computación,ignorando los detalles de la Teoría implementada por la vía computacional.-

Esto no implica desconocer las ventajas del empleo del software,en especial en los casos que la solución manual es imposible.-

A continuación se examinarán dos casos de problemas estructurales,resueltos por aplicación de software,que demuestran la necesidad del conocimiento de la Ciencia de las Estructuras para interpretar los resultados correctamente,y conocer los límites de aplicabilidad de los valores hallados,evitando de ese modo, errores .-

3.1.-Estudio de la Colisión entre dos edificios por efecto sísmico:

Este tipo de estudios,puede realizarse por medio del Programa SLAM-2, donde se examina la colisión entre 2 edificios,separados por una junta,y bajo la acción de un registro sísmico.-

La colisión puede ser centrada,cuando el centro de gravedad de cada edificio y el punto de contacto entre ambos edificios se encuentre alineado y excéntrica,cuando estos 3 puntos no estan alineados.-

Interesa poner en evidencia,lo que sucede cuando se examina colisión excéntrica, donde a la salida del programa se tiene entre otros,las sollicitaciones dinámicas tales como el esfuerzo de corte directo,es decir el que se origina cuando la colisión es centrada,el corte producido por la torsión,como lógica consecuencia de la falta de alineación entre centros de gravedad y punto de contacto entre edificios.-

A continuación se reproduce la página del output correspondiente al esfuerzo de corte envolvente,con sus títulos y subtítulos en ingles.-

SHEAR ENVELOPES

BUILDING A

LEVEL	ID	DIRN	1	2	3	4
6	IV6	X	1.6020	.0000	1.0910	.0000
6	IV6	Y	1.6020	31.5399	1.0910	-18.6930
6	IV6	ROTN	1.7410	122.3593	1.5840	-114.9896
5	IV5	X	1.5670	.0000	2.1500	.0000
5	IV5	Y	1.5670	44.1191	2.1500	-27.9452
5	IV5	ROTN	1.7440	158.2741	2.6160	-137.8235
4	IV4	X	2.6820	.0000	2.2030	.0000
4	IV4	Y	2.6820	36.6081	2.2030	-37.2714
4	IV4	ROTN	1.7010	185.6145	2.0470	-138.4573
3	IV3	X	1.6920	.0000	2.2120	.0000
3	IV3	Y	1.6920	53.4851	2.2120	-46.3005
3	IV3	ROTN	1.6970	231.8927	2.0460	-161.7061
2	IV2	X	1.6790	.0000	2.1010	.0000
2	IV2	Y	1.6790	53.6890	2.1010	-49.6648
2	IV2	ROTN	1.7070	187.4698	2.1170	-158.7668
1	IV1	X	1.6140	.0000	3.0000	.0000
1	IV1	Y	1.6140	64.5740	3.0000	-62.1219
1	IV1	ROTN	1.6450	231.6695	2.0990	-191.2020

BUILDING B

LEVEL	ID	DIRN	1	2	3	4
4	IV4	X	2.6170	.0000	.9930	.0000
4	IV4	Y	2.6170	32.3597	.9930	-37.6416
4	IV4	ROTN	.0000	.0000	.0000	.0000
3	IV3	X	1.3070	.0000	.9810	.0000
3	IV3	Y	1.3070	38.1464	.9810	-46.6784
3	IV3	ROTN	.0000	.0000	.0000	.0000
2	IV2	X	1.3840	.0000	.9550	.0000
2	IV2	Y	1.3840	44.7328	.9550	-48.4476
2	IV2	ROTN	.0000	.0000	.0000	.0000
1	IV1	X	1.3840	.0000	.9120	.0000
1	IV1	Y	1.3840	63.3359	.9120	-55.9152
1	IV1	ROTN	.0000	.0000	.0000	.0000

En primer lugar se observa que el título "Shear envelopes", de su traducción literal resulta que serían los valores del esfuerzo de corte envolvente, indicándose además los instantes de tiempo, en que se registran.-

Del análisis de los valores precedentes se tiene que en correspondencia de cada nivel, se indican 3 valores de esfuerzo de corte envolvente para un mismo nivel.-

El primer renglón en cada nivel es en la dirección "X" que en todos los casos, tanto del edificio "A" como el "B" tiene valor nulo, lo cual resulta correcto, pues la dirección del movimiento y de la colisión es la "Y".-

En el caso del edificio "B" el tercer renglón de cada nivel, es nulo, lo cual es correcto, pues la excentricidad de la colisión se verifica en relación al edificio "A".-

En cambio produce una confusión, que siendo el título "Shear envelopes" del Programa SLAM-2⁴, en el caso del edificio "A", los valores del tercer renglón de cualquier nivel resultan siempre mayores, que los correspondientes del segundo renglón, que son los esfuerzos de corte directo en la dirección "Y".-

Esta situación no es correcta, pues si los valores del tercer renglón, fueran esfuerzo de corte debidos a la torsión, no hay explicación lógica, que pueda justificarlo, que los valores del tercer renglón de cada nivel resultan siempre mayores que los del segundo nivel.- Toda la confusión la ocasiona el título "Shear envelopes", pues los valores tercer renglón de cualquier nivel, de ningún modo son esfuerzos de corte, sino que representan los valores del momento torsor en dicho nivel, cuestión omitida.- Esta conclusión resulta totalmente confirmada, si en los datos de ingreso, se registran las magnitudes de excentricidad, en lugar de metros, en decímetros, e introduciendo la misma modificación en todas las unidades en que intervenga la dimensión longitud.-

Los resultados del momento torsor, que son los valores consignados en todos los terceros renglones de cada nivel, resultan amplificados por 10, lo cual se explica por el cambio de unidades, permaneciendo todos los otros valores, inalterados.-

La mera utilización del software sin el análisis precedente, induce a error.-

3.2.- El empleo de SAP 2000, la acción simultánea de acciones gravitatorias y sísmicas, y comportamiento no lineal, a los efectos de evidenciar necesidad del empleo criterioso en la selección de parámetros, como el número de pasos, y número de procesos iterativos, para lograr la convergencia del problema matemático:

En la Figuras N° 24 y N° 25 se representan estructuras aporticadas, ambas con transición en su planta baja, cuyas fundaciones tienen sistema de aislación sísmica, pero que carecen de viga de arriostramiento a nivel de la aislación⁵, pero manteniendo la viga de arriostramiento a nivel de fundaciones.-

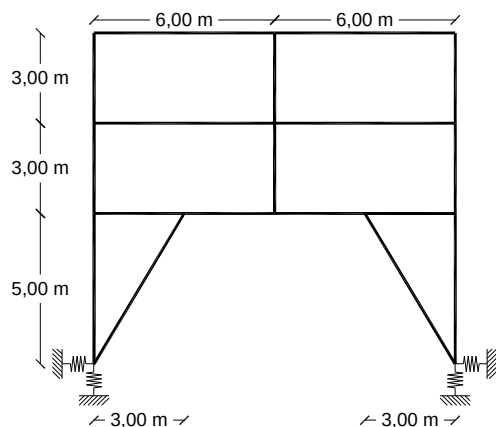


Figura N° 24

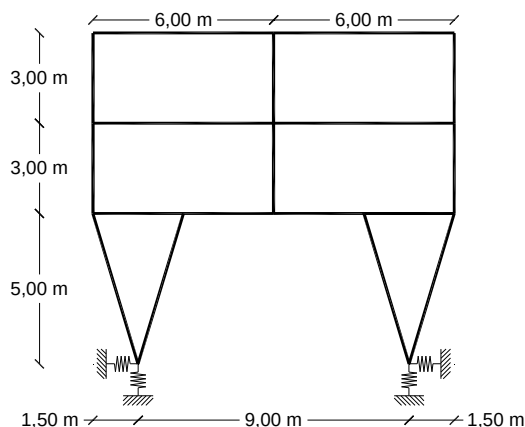


Figura N° 25

En⁵ se ha demostrado los inconvenientes derivados de la eliminación de viga de arriostramiento a nivel del sistema de aislación, pues tornan ineficaz la aislación sísmica.- A los efectos de la presente investigación, es importante destacar, que la diferencia fundamental en el Diseño Estructural de los pórticos de Figura N° 24 y N° 25, está dada porque el pórtico de Figura N° 24, solo cuenta con una diagonal al apoyo, en tanto en el pórtico de Figura N° 25, concurren 2 diagonales por apoyo.-

En ambos casos se ha examinado su comportamiento con el Programa SAP 2000, bajo la acción simultánea de acciones gravitatorias y sísmicas y comportamiento no lineal, y en lo que sigue se destacará no solo la importancia del doble sistema de viga de arriostramiento, sino la influencia de los parámetros que hacen al control de los procesos iterativos que se producen por aplicación del software.-

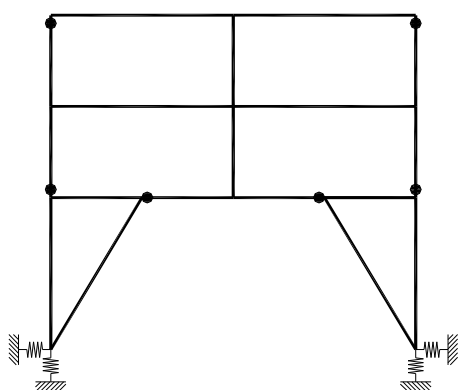


Figura N° 26

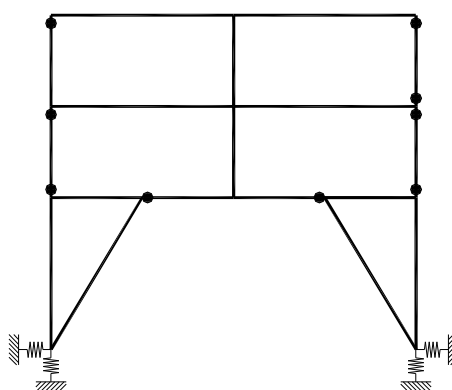


Figura N° 27

En efecto, el diseño del pórtico de Figura N° 24, hace que en ausencia de sismo y con cargas gravitatorias exclusivamente, se tiene la formación de rótulas plásticas tal como se indica en Figura N° 26, lo cual ya es inaceptable, al extremo que cuando los parámetros, como número de pasos, número de pasos nulos, número de iteraciones por paso, son reducidos, el proceso se detiene sin ingresar a la consideración de acciones sísmicas, y que al aumentar dichos parámetros, si bien admite el Método Push over, con la rotulación de Figura N° 27, tampoco es factible el Análisis Dinámico No Lineal por Integración Directa del registro en el tiempo.-

Adviértase que la falta del de arriostramiento a nivel del sistema de la aislación sísmica lo convierte en ineficaz, toda vez que aparece la rotulación con cargas gravitatorias, agravado por el Diseño Estructural, pues la única diagonal en cada apoyo hace que los mismos se desplacen en el sentido horizontal, enfatizando la vulnerabilidad de la estructura.-

En cambio cualquiera de las tipologías de Figuras N° 24 y N° 25, provistas del doble sistema de viga de arriostramiento, permite lograr las ventajas de la aislación sísmica, caracterizada por la ausencia de rotulación, y con ello la minimización del daño estructural y no estructural.-

Lo hasta aquí demostrado pone en evidencia que los Programas de Computación son solamente una herramienta y que de modo alguno pueden suplir a los conocimientos de la Ciencia de las Estructuras.-

4.- Conclusión:

En el presente trabajo de investigación, ha quedado en evidencia, la conveniencia de la Enseñanza de la Estructuras, por medio del Análisis de la Composición Estructural en obras de Arquitectura, de relevancia Estructural, toda vez que ejemplos convenientemente seleccionados, permiten verificar la existencia de Criterios de Diseño y formas de incentivar la Creatividad Estructural, tal como se ha explicado.-

Y también se ha ejemplificado casos concretos, donde el empleo de software por usuarios que desconocen la Ciencia de las Estructuras, conducen a interpretaciones erróneas, de manera que los programas de computación, son herramientas y no deben ni pueden, suplir la Enseñanza de la Ciencia de las Estructuras.-

Agradecimiento:

El autor desea efectuar reconocimiento de la labor del Arqto. Hernando Tomatis quien realizó los gráficos en Auto Cad.-

Referencias:

- 1.- "Análisis y Composición Estructural", Ing. Ruben Edelstein, Ediciones Eudecor.-
- 2.- "Criterio y Diseño Estructural I", Ing. Ruben Edelstein, Impreso en Ingreso.-
- 3.- "Commerzbank: A Sustainable Skyscraper" Architecture 489, by Cristian Noble.-
- 4.- "SLAM-2, A Computer Program For The Analysis of Structural Pounding" by Bruce F. Maison and Kazuhiko Kasai.-
- 5.- "Aproximaciones Sucesivas y Aplicación de Software a Estructuras con y sin Aislación Sísmica", Ing. Ruben Edelstein, VII EIPAC, Salta 2007.-