TESIS
ZC99
P4
V.1

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

" BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADIMENSIONALES EN LA DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE ASENTAMIENTOS EN PÓRTICOS DE ACERO Y CONCRETO "

REALIZADO POR — Pérez Marrero, Jenny
Santos Simoza, Eduardo

PROFESOR GUIA — Paparoni M., Mario

FECHA — Noviembre, 1999

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

" BÚSQUEDA DE PARÁMETROS ADIMENSIONALES EN LA DETERMINACIÓN DE EFECTOS DE ASENTAMIENTOS EN PÓRTICOS DE ACERO Y CONCRETO "

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: VEINTE (20)

JURADO EXAMINADOR

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Francisco Moreira	Nombre: Mario Paparoni	Nombre: Arnaldo Gutierrez

REALIZADO POR	Pérez Marrero, Jenny Santos Simoza, Eduardo
PROFESOR GUIA	Paparoni M., Mario
FECHA	Noviembre, 1999

A Dios, por darnos la fuerza necesaria para seguir adelante.

A nuestros padres por enseñarnos que con trabajo y constancia no existen metas imposibles.

A nuestros hermanos por ser motivación, compromiso y ejemplo.

A Mario, por mostrarnos que los Párametros Adimensionales no se limitan a las ciencias matemáticas, sino que son una muestra de cómo en la vida las cosas más complejas suelen ser las más simples y sencillas del mundo.Sinceramente mil gracias.

A Orit.

A nuestros amigos.

A los ingenieros: Francisco Morera, Antonio Cavicchioni y Gerardo Contreras.

A TECNOCONSULT, S. A.

Y a todas las personas que de alguna manera colaboraron con el presente trabajo.

Jenny y Eduardo.

INDICE GENERAL

- Nomenclatura a Utilizar 06
- Sinopsis 07
- Cuadro Comparativo de Dos Vertientes de una misma Disciplina 10
- Asentamientos 12
- Objetivos 15
- Metodología utilizada 16
- Antecedentes de la Investigación 18
- Análisis del Método del Continuo
    - Condición Juntas Articulas 26
    - Condición Juntas Rígidaz 30
- Significado Físico de las Ecuaciones
    - Fuerza Axial en Columnas 31
    - Fuerza Cortante en Vigas 37
    - Desplazamientos 42
- Valores de " η " y su Relación con el Tipo

de Conexión Viga-Columna 47

- Causas que originan la dispersión del Método del Continuo 55
- Comprobación de la Contribución de la Viga de Riostra en el

Comportamiento de la Estructura 58

- Influencia de las Rigidizaciones en Puntos Medios y altos de

La Estructura 61

- Estudio de Asentamientos en Pórticos de Acero 68
- Explicación Analítica de la Fórmula del Método del Continuo para Momentos 72
- Influencia de la Variación de Secciones de los Elementos Estructurales del Pórtico 75
- Conclusiones y Recomendaciones 78
- Bibliografía 82

Nomenclatura a utilizar

Ac = Área de la columna

bc = Base de la columna

hc = Altura de la columna

Ic = Inercia de la columna

Ec = Módulo de elasticidad de columna

Ab = Área de la viga

bb = Base de la viga

hb = Altura de la columna

Ib = Inercia de la viga

Eb = Módulo de elasticidad de la viga

L = Longitud o altura de la estructura

xi (ξ) = *Porcentaje de altura de un punto cualquiera respecto a la* altura (h) del edificio

η = Término asociado al grado de empotramiento de los elementos estructurales que constituyen la estructura

λ = Parámetro adimensional de rigidez o factor de acoplamiento de una determinada configuración y tipología de un pórtico dado. Resulta de relacionar la altura de la estructura con sus rigideces a cortante y a flexión

ϕ = Coeficiente que multiplica a la ecuación de momentos del método del continuo, es función de la configuración geométrica del pórtico

Ψ = Parámetro de ajuste de λ para la ecuación de desplazamiento del método del continuo.

SINOPSIS

El presente trabajo surge de la necesidad de dar continuación a los intentos de conseguir una explicación basada en leyes físicas y matemáticas al complejo fenómeno que ocurre en una estructura aporticada cuando ésta es sometida a un asentamiento diferencial.

Tomando como punto de partida los trabajos de investigación realizados por el Ing. Mario Paparoni sobre el Método del Continuo y referencia el trabajo de grado del Ing. Miguel A. Bonato, nuestro trabajo se centra en perfeccionar los ajustes matemáticos existentes referentes a asentamientos en el caso de una estructura formada por pórticos, es decir, tratar de hallar el o los términos que faltan en cada una de las ecuaciones, que lograrán que éstas puedan ser finalmente utilizadas con más confianza e incorporadas a la norma venezolana correspondiente, para hacerlas de esta forma de fácil acceso y manipulación de los ingenieros civiles, ávidos de una forma rápida y precisa de estimar los asentamientos que se producirán en la estructura con sólo tener a mano las dimensiones de los elementos estructurales que conforman la estructura. La gran ventaja a resaltar es que se demuestra mediante la comparación con resultados matriciales, que una ecuación monoparamétrica es capaz de representar bastante bien el funcionamiento de un pórtico bajo la acción de un asentamiento diferencial.

Se presentan las ecuaciones a las cuales se ha llegado después de comparar los resultados matriciales con los que provienen del método del continuo, las diferencias porcentuales entre ellos así como la causa de las mismas y se hace la descripción detallada del fenómeno, separando y explicando la influencia de cada uno de los términos que intervienen en la

ecuación, de forma que el ingeniero pueda tener la noción física de lo que representan; ésta es la tarea esencial a desarrollar posteriormente.

A continuación se intenta demostrar que no existe una marcada diferencia entre el comportamiento de los modelos de pórtico articulado y los de juntas rígidas, ya que sólo difieren en la rapidez en la cual se atenúa la fuerza que simula el asentamiento a lo largo del mismo, siguiendo siempre una tendencia exponencial en la cual el exponente de la ecuación exponencial es mayor e inversamente proporcional a la longitud o altura de la estructura.

La metodología utilizada consistió en comparación de resultados matriciales con los provenientes del Método del Continuo para diversos casos analizados, en los cuales se variaron las secciones de columnas, vigas, longitudes de vano, pórtico, entrepiso y se graficó el Corte, Momento, Fuerza Axial y Desplazamiento de cada caso en función del Porcentaje de Altura (ξ). Durante el proceso de comparación, las ecuaciones fueron cambiando al agregar o quitar términos basados en un proceso de análisis e investigación de la influencia que ejercía cada uno sobre el resultado final.

Se logró conseguir el término adimensional que se estaba buscando para ajustar las ecuaciones existentes, se verificó que los pórticos con juntas articuladas y los de juntas rígidas tienen un comportamiento muy parecido y se diferencian en la distribución que hacen de la carga inicial, hecho sólo atribuible a que las primeras vigas absorben un porcentaje de carga mucho mayor en los rígidos que en articulados, lo que acarrea una distribución exponencial distinta pero con la misma tendencia, es decir, son casi iguales pero desplazada una con respecto a la otra, relacionándose a través de un parámetro adimensional asociado con el

grado de rigidez al cual está sometido el pórtico (η), presente en las ecuaciones y único que cambia en ellas.

Con respecto al parámetro η, se puede decir que no sólo depende del tipo de juntas con las cuales se diseña el pórtico, sino que también depende de un parámetro K que relaciona las rigideces de los miembros que conforman dicho pórtico, ya que para ciertas configuraciones éstos se comportan de manera distinta a la esperada.

Se encontró que existe un rango de valores de K para los cuales los pórticos aumentan considerablemente su sensibilidad frente a los asentamientos diferenciales. Por otra parte si una estructura diseñada con juntas rígidas se encuentra entre los valores de K antes mencionados siguen una conducta diferente para la cual fueron concebidas, llegando incluso a comportarse como una estructura con juntas articuladas.

Se comprobó entre otras cosas, la influencia que tiene la viga de riostra al restringir en gran medida la desplazabilidad del pórtico, lo cual redunda en un ahorro de tiempo y dinero al preveer con gran certeza el aporte de la misma al grado de estabilidad de la estructura.

Se pudo demostrar que las estructuras de acero son menos sensibles al fenómeno de asentamientos diferenciales que las de concreto, siendo la causa de tan inesperada conducta la relación entre la inercia de la viga y el área de la columna.

Cuadro Comparativo de Dos Vertientes de una Misma Disciplina[1]

Métodos Discretos	Métodos del Continuo
Información sobre puntos limitados, a través de valores numéricos, vectores o matrices	Información sobre cualquier punto de un ¨continuo ¨; a través de funciones continuas
Emplea el álgebra, tradicional o matricial	Emplea el cálculo, es decir, derivadas, integrales
La información crece con el cuadrado o el cubo del número de puntos escogidos	La información queda ¨compactada ¨ en funciones derivables e integrables
Debido a que la información que se produce no es el resultado de un proceso directamente visible, se llega a pensar que los diversos resultados no guardan relaciones mutuas explícitas	La información obtenible, al estar en forma de funciones, tiene carácter correlacionable, ya sea visualizándola como el resultado de una función, ya sea de sus derivadas o integrales
Toda la información entra miembro a miembro, y se llega a perder la noción de ensambles, a menos que se utilicen métodos en que puedan introducir ¨*pisos* ¨ *o losas*	Toda la información entra a través de unos pocos parámetros, que se ven siempre como propiedades del ¨sistema¨ estrucural
Es fácil variar solicitaciones dentro de un mismo caso, es difícil obtener comportamientos sucesivos y continuos por cambios configuracionales graduales (estos comportamientos no son descriptibles, en general por funciones lineales)	Los efectos de solicitaciones diversas en perfil (no en intensidad) requieren de nuevas funciones, en todo caso, superponibles. Es fácil averiguar comportamientos bajo cambios de configuración (son funciones que admiten derivadas parciales)

[1] Cortesía del Ing. Mario Paparoni

No se perciben las relaciones de similitud (Leyes de la Modelística Estructural), pues éstas no son explícitas	Las relaciones de similitud son transparentes, pues ya están en las ecuaciones
No es fácil describir comportamientos a través de parámetros adimensionales, aunque en teoría podrían utilizarse funciones de descripción de las configuraciones matriciales que se encuentren (algo así como ¨curvas de nivel ¨ de matrices)	Es muy sencillo describir conductas a través de pocos parámetros adimensionales, o bien, si se desea, dimensionales
Actualmente, requieren de inversiones en software y hardware que están fuera del alcance de un estudiante individual	Cualquier estudiante actual de la carrera de Ingeniería posee ya las herramientas necesarias
La mayoría de las universidades (públicas y privadas) son reacias a permitir el uso discrecional por estudiantes de los programas necesarios, por varias razones, costos, licencias, abusos, difícil control	No hay ningún problema con el uso individual de los estudiantes, pues manejan sus propios recursos, a su arbitrio y conveniencia
La velocidad de aprendizaje ¨sistémico¨ es baja	La velocidad de aprendizaje ¨sistémico ¨ es alta, pues se manejan medios simples, bastante tradicionales y consuetudinarios

Asentamientos

En el pasado se pensaba que una fundación bien construida no debía sufrir de asentamientos. La mecánica de suelos hizo ver a los ingenieros que todo suelo, sometido a una carga, experimenta asentamientos cuya magnitud dependerá de la magnitud de las cargas y de la compresibilidad del suelo.

El asentamiento puede tener importancia por tres razones fundamentales, incluso cuando la falla no sea inminente: aspecto, condiciones de servicio y daños de la estructura.

Los asentamientos pueden alterar el aspecto de una estructura, provocando grietas en los muros exteriores, y en los revoques de las paredes interiores. También pueden dar lugar a que una estructura se incline lo suficiente para que pueda apreciarse a simple vista su inclinación.

El asentamiento puede interferir con el servicio de una estructura en diversas formas; por ejemplo, las grúas y otros tipos de maquinaria que requieren de una alineación perfecta de su eje pueden dejar de funcionar correctamente; las bombas, compresores, etc. pueden desajustarse; y las unidades de seguimiento como los radares pierden precisión.

El asentamiento puede producir el fallo estructural de un edificio y su colapso, aunque el factor de seguridad contra la falla por corte de la cimentación sea muy elevado.

Entre las causas que originan un asentamiento se pueden mencionar:

- Consolidación por peso propio.
- Desecación natural o por procesos industriales.
- Reacciones químicas.

- Deterioro orgánico, natural o debido a agentes exteriores.
- Inundaciones o fluctuaciones del nivel freático.
- Hundimientos debidos a bombeo de agua, gas o petróleo en el lugar.
- Sismos, explosiones o vibraciones.
- Excavaciones próximas de túneles y obras subterráneas.
- Movimientos tectónicos.
- Erosión del subsuelo o colapso de cavidades profundas.

Generalmente los asentamientos que se producen en forma paulatina comienzan a afectar los muros de mampostería, los cielorrasos o enlucidos, con aparición lenta de fisuras y desprendimiento de revoques. Además, la pérdida de funcionalidad se hace evidente en diferentes formas, tales como rieles de ascensores que se traban, tuberías que se obstruyen y filtran, puertas y ventanas que no abren por deformación de sus marcos, etc.

Con referencia a la forma como se producen los asentamientos, se pueden mencionar dos tipos diferentes:

Asentamientos Uniformes

Asentamientos no Uniformes

Los asentamientos uniformes se producen bajo fuerzas igualmente distribuidas, en suelos homogéneos. Este tipo de asentamiento no es el más común ni resulta el factor decisivo en el diseño de una estructura. Puede presentarse en algunos suelos blandos de estratos profundos, como los sedimentos lacustres y marinos.

En el valle de México, por ejemplo, en la hoya que caracteriza el suelo esponjoso sobre el antiguo lago de Ciudad de México, algunos edificios apoyados sobre grandes placas se han hundido uniformemente, y se deben ir agregando nuevos escalones a la entrada de los mismos, debido a la diferencia de nivel que se produce de forma lenta y continua (Palacio de las Bellas Artes).

Al momento de diseñar teniendo presente los problemas acarreados por los asentamientos, se debe emplear algún tipo de conexión flexible entre tuberías que minimicen o prolonguen la vida útil de las mismas. Sin embargo, en estructuras como tanques o cisternas subterráneas próximas a la costa, el problema es mucho más grave debido a que quedarían por debajo del nivel del mar y los criterios de diseño se hacen más exigentes.

Los *asentamientos no uniformes* se caracterizan por producir una distorsión angular en la estructura al ocasionar desplazamientos relativos dentro de ella. De allí que estos asentamientos sean capaces de lograr:

- Rotación del edificio como un cuerpo rígido
- Deformaciones locales por descensos diferenciales

El descenso diferencial entre dos puntos de apoyo, al ceder el suelo de fundación, puede producir solicitaciones de mayor magnitud que la totalidad de las cargas gravitacionales para las cuales ha sido diseñada la estructura, es por ello que el esfuerzo del ingeniero se dirige a controlar los asentamientos absolutos, como medio de mantener los asentamientos diferenciales dentro de límites tolerables.

Objetivos del Estudio

El objetivo principal del presente trabajo es darle continuidad a los estudios de investigación anteriores al presente, todos ellos referidos a los efectos a los que se ve sometida una estructura cuando sufre un asentamiento diferencial.

Específicamente hablando, con el presente trabajo se quiere:

1. Comprobar la aplicabilidad de la ecuación del continuo de desplazamientos absolutos para Pórticos en los cuales las vigas se encuentren articuladas a las columnas.
2. Ajustar las Ecuaciones del Continuo de Fuerza Axial en Columnas y Fuerza Cortante en Vigas, para la condición estructural de vigas articuladas a las Columnas.
3. Búsqueda de las Ecuaciones y/o Parámetros Adimensionales que describan el mismo efecto anterior, con la variante estructural de vigas empotradas a las Columnas.
4. Búsqueda de la Ecuación que describa el Comportamiento de los Momentos a lo largo del Pórtico.
5. Interpretación Física de las Ecuaciones Obtenidas, a través de la descripción de cada una de las partes del fenómeno.
6. Estudio del efecto que tiene sobre los pórticos planos la presencia de una rigidización en alguna parte del mismo.
7. Comparación de las Estructuras de Acero y Concreto en cuanto al comportamiento frente a los Asentamientos Diferenciales.

Metodología utilizada

La metodología consistió en la comparación de resultados provenientes de diseñar y correr una extensa gama de pórticos en el programa SAP2000 PLUS con los obtenidos mediante el método del continuo para el caso de Corte, Momento, Desplazamiento y Fuerza Axial.

Para comenzar, se estableció que el modelo a utilizar sería el creado por el Ing. Miguel A. Bonato, con la finalidad de continuar la investigación teniendo la seguridad de que este modelo simula, dentro de un intervalo considerado aceptable, las acciones y respuestas que son compatibles con la realidad. Posteriormente, se procedió a realizar las corridas de los pórticos en el SAP para los cuales, a una altura establecida, se iba variando el área de la columna, el área de la viga, altura de entrepiso y la luz del vano por separado; de tal manera de tener una buena gama de posibilidades con las cuales verificar las ecuaciones del método del continuo que se querían ajustar.

La altura del edificio se varió desde 45m (15 pisos) hasta 120m (40 pisos), la altura de entrepiso en 2m, 3m y 4m, la luz del vano en 5m, 6m y 7m, la sección de la viga en 20x20, 30x30 y 40x40 y la sección de las columnas en 40x40, 50x50 y 60x60 (centímetros); lo que da un total de más de 100 pórticos al contar los casos en los cuales se evaluó, entre otras cosas, la comparación del comportamiento de estructuras de acero con las de concreto y el efecto de rigidizaciones en puntos medios y altos de la estructura.

Se compararon los resultados analítica y gráficamente en más de 900 casos, para verificar que no sólo el margen de error era aceptable, sino que la ecuación tenía la misma tendencia exponencial que la registrada por el método matricial, siendo éste resultado el punto de referencia ya que representa lo que se produce en la realidad.

Antecedentes de la Investigación

Existen tres trabajos que dan origen a la presente investigación, estos son:

1. " A Short Equation to Predict the Structural Consequences of Differential Column Settlements in Framed Buildings ".

Mario Paparoni M.

Congreso de Chicago. Council for Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). Committee 24.1996.

2. " Aplicación de Parámetros Adimensionales y Funciones Continuas al Problema de los Asentamientos Diferenciales en Estructuras Aporticadas ".

Paparoni M., Mario; Bonato P., Miguel Angel.

IV Congreso de Cálculo Numérico, Maracaibo, Venezuela, Noviembre de 1994.

3. " Desarrollo de la Ecuación del Método del Continuo para el Caso de Asentamientos Diferenciales ".

Bonato Parenti, Miguel Angel. Tutor: Mario Paparoni M.

Universidad Metropolitana, Caracas, mayo de 1994, Trabajo Especial de Grado.

En ellos el objetivo principal fue el de describir de la manera más sencilla posible el fenómeno que surge cuando una estructura aporticada se ve sometida a un asentamiento diferencial.

Primero que nada se definió un modelo cuya característica principal es que de una manera coherente y consistente logra simular, dentro de un intervalo considerado aceptable, acciones y respuestas compatibles con la realidad.

Descripción del Modelo:

- Se escogió un pórtico sencillo de 3 " patas ", dicho de otra manera , 3 series de columnas. Dicho pórtico posee un eje de simetría que pasa a lo largo de la " pata " central, lo que implica que existe similitud entre las luces de las vigas y la altura de entrepisos.
- Se les asignaron las mismas dimensiones de secciones tanto a vigas como a las columnas, que por simplicidad de cálculos fueron tomadas como secciones cuadradas.
- Las columnas se encuentran Empotradas al suelo.
- El Módulo de Elasticidad usado fue el del concreto.
- Se bajó un sola " pata " para simular el efecto del asentamiento.
- La " pata " que siempre baja es la externa.
- Las vigas se encuentran en un primer caso articuladas a las columnas y en un segundo caso Empotradas.

Para llegar al modelo utilizado (tomado de la Ref. /2/), se razonó el problema de la manera siguiente:

" Al tener un eje de simetría vertical, que pasa por el centro de pórtico, se puede trabajar con solo la mitad del mismo ".

" Como las vigas poseen continuidad después de llegar al nodo central, se puede suponer perfectamente un empotramiento a la "pata central" ".

" Se le dará un giro ortogonal al pórtico de manera de que lo que antes era una columna ahora es viga y viceversa. Obtenemos entonces un pórtico de un solo piso, con una distancia entre vanos igual a la altura de entrepisos del pórtico original y una distancia entrepisos igual a la distancia entre vanos del pórtico original ". Todo lo anteriormente expuesto se observa en la figura anexa.

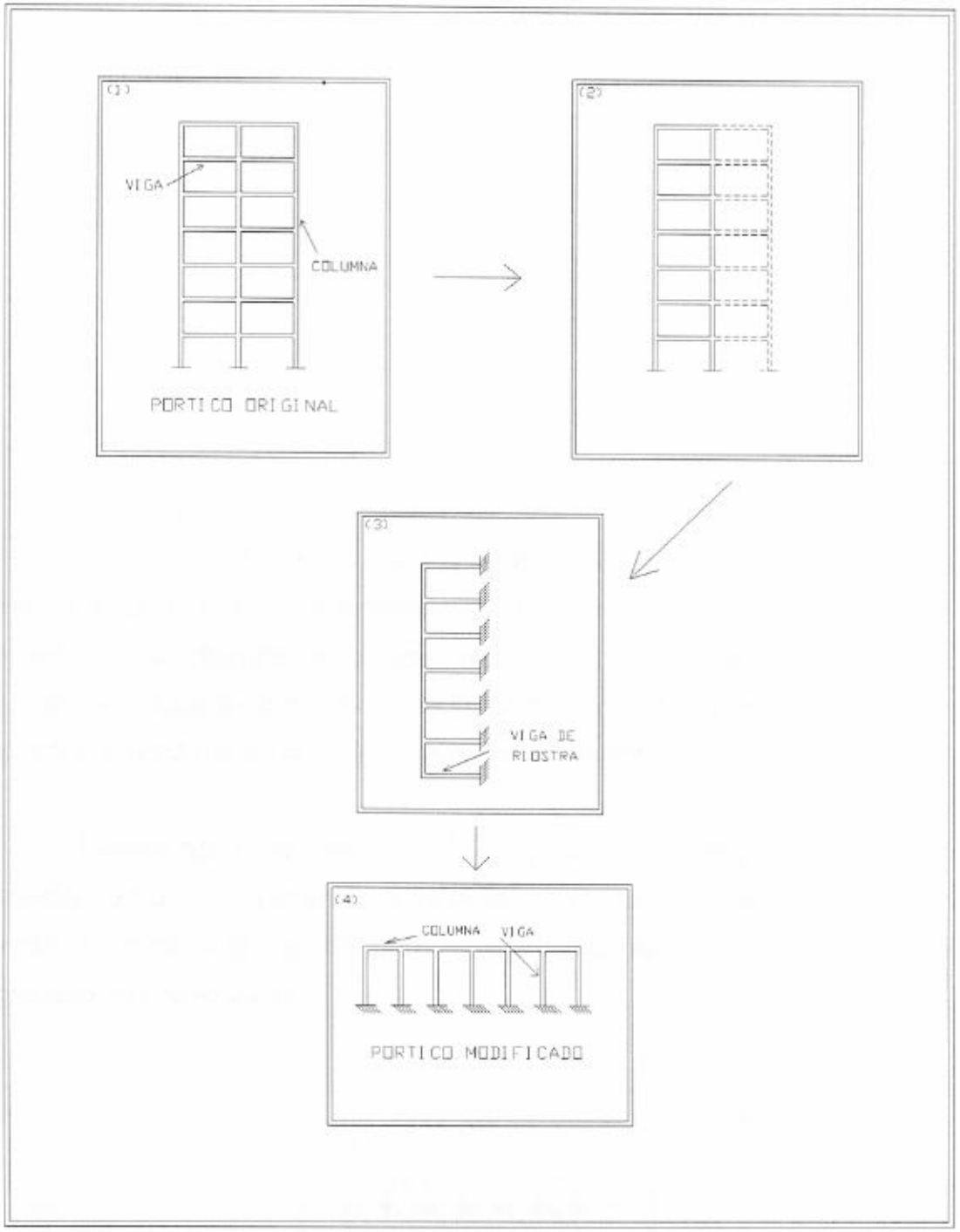

(1)
VIGA
COLUMNA
PORTICO ORIGINAL
(2)
(3)
VIGA DE
RIOSTRA
(4)
COLUMNA
VIGA
PORTICO MODIFICADO

Figura 1

Ahora bien, cuando una estructura sufre un asentamiento, ésta se somete a una serie de fuerzas y momentos, como resultado de los desplazamientos provocados por dicho asentamiento, tal como se muestra:

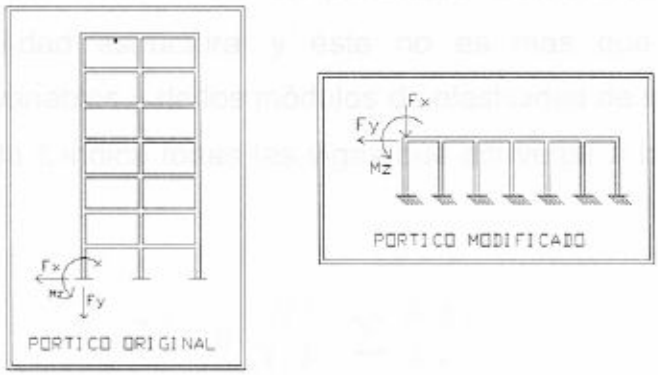


Figura 2.

Para el estudio de los efectos de estas fuerzas sobre la estructura se les ha asignado un valor arbitrario de 100 toneladas. Se debe tomar en cuenta que la arbitrariedad de este valor se debe a que el objeto del estudio no es los efectos de la magnitud de la fuerza, sino las formas de propagación que tiene dicha fuerza cuando se le aplica al pórtico.

Determinado el modelo y asignada la fuerza (producto del asentamiento), se comenzó a realizar una análisis matricial del mismo variando cada una de los parámetros estructurales que intervienen en proceso, los cuales son:

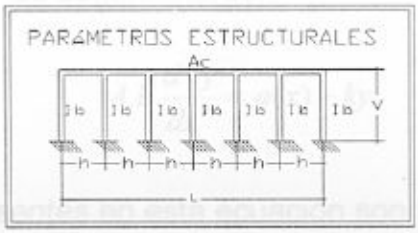


Figura 3.

Al poseer las gráficas de Fuerzas Cortantes en Columnas y Fuerzas Axiales en Vigas, se observó claramente que las curvas presentaban un aspecto de funciones exponenciales decrecientes y que todas siguen la misma tendencia, por tanto existe un parámetro adimensional capaz de evaluar la sensibilidad estructural y éste no es mas que una simple combinación de 6 variables y de los módulos de elasticidad de las vigas y las columnas, en donde Σ indica todas las vigas que converge a la columna en estudio.

$$\lambda^2 = \eta . \frac{H^2}{A_c . E_c} . \sum \frac{I_b . E_b}{h . v^3} \qquad (1)$$

Donde:

- η, es una constante que depende del tipo de conexión viga columna, el cual para caso de vigas articuladas a las columnas es igual a 3.
- Eb y Ec, son los módulos de Elasticidad de las vigas y columna respectivamente.
- Ac, Area de la columna.
- Ib, Inercia de la viga.
- H, altura del Pórtico.
- h, altura de entrepiso .
- v, dimensión del vano.

Con la información anterior y conociendo además la Ecuación diferencial de Equilibrio, de segundo orden:

$$A.E \frac{d^2 y}{dx^2} = q(x) + ky \qquad (2)$$

Las variables presentes en esta ecuación son las siguientes:

- A, área seccional de la Columna y E, su módulo de elasticidad.

- y, es el desplazamiento axial absoluto de la columna con respecto a la coordenada " x ", relativo al origen de coordenadas.
- x, representa la coordenada axial con respecto a la columna, considerando la misma como un cuerpo rígido. (Condición sin carga).
- w (x), es la carga externa linealmente distribuida , aplicada a la columna, que en el caso de estudio es nula. (No se ha tratado).
- ky, es la respuesta de un medio linealmente elástico, teniendo la capacidad de responder con la generación de una fuerza distribuida con intensidades proporcionales a los desplazamientos absolutos. En otras palabras, si las vigas que están conectadas a la columna actuasen como un conjunto de laminas consecutivas e infinitas en número, estas producirían una fuerza distribuida sobre la columna como oposición frente a los desplazamientos absolutos.

Lo anteriormente expuesto se puede explicar mejor si observamos la siguiente figura, en la cual en lugar de las vigas tenemos un conjunto de láminas consecutivas, como un medio continuo, que generan una fuerza distribuida sobre la columna, así:

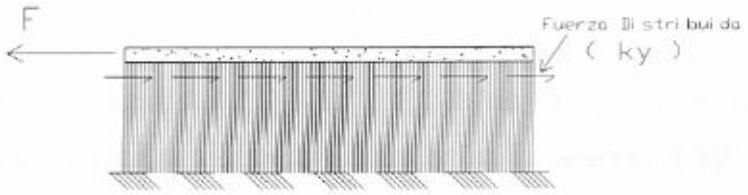


Figura 4.

Cuando se discretiza el medio continuo anterior, obtenemos no una fuerza distribuida, sino una fuerza "f " correspondiente a cada una de las vigas que se conectan a la columna, tal como se ve:

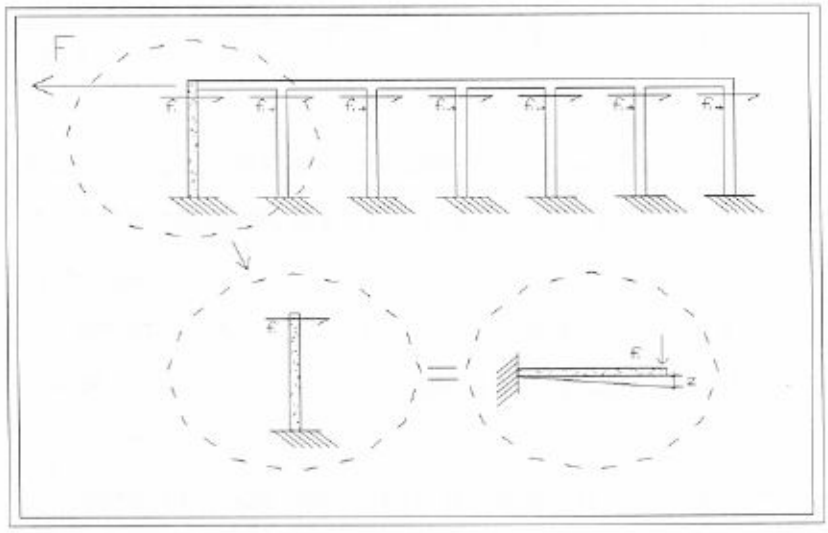


Figura 5.

Dicha fuerza pasa a la columna como una carga distribuida f/h, y puede ser evaluada utilizando la analogía con una viga en voladizo (ver figura anterior) a la cual se le aplica una fuerza de magnitud " f " en el borde libre, en la cual se produce una deflexión igual a:

$$z = \frac{f.v^3}{3.E_b I_b} \qquad (3)$$

En donde " v " representa la luz y Eb.Ib es la rigidez de la viga en volado. Despejando f/h de la ecuación anterior e igualando a ky, podemos decir que:

$$k = \frac{E_b I_b}{h.v^3} \qquad (4)$$

Para un valor de η que varía entre 3 y 6, dependiendo del caso.

Al resolver esta ecuación diferencial obtenemos la ecuación de Fuerza Axial en la Columna:

$$F\left(\frac{x}{H}\right) = Fo.\left\{e^{-\lambda\left(\frac{x}{H}\right)} - e^{-\lambda}.\left(\frac{x}{H}\right)\right\} = Fo.\left[e^{-\lambda.\xi} - e^{-\lambda}.\xi\right] \qquad (5)$$

Donde:

- Fo, fuerza aplicada en el extremo de la columna, que en nuestro caso es causada por el asentamiento o por el tiro de un pilote que cede.
- F, es la fuerza que actúa axialmente en una sección de la columna ubicada a una distancia x desde el punto de aplicación de la fuerza Fo.
- ξ, representa un porcentaje de la altura con respecto a la altura total de la columna.

La primera derivada de la expresión anterior da origen a la ecuación de Intensidad de Cortante en las Vigas, siendo L igual a H:

$$\frac{F}{L}(\xi) = \frac{Fo}{L}\left(-\lambda.e^{-\lambda.\xi} - e^{-\lambda}\right) \qquad (6)$$

Y al integrar la Ecuación de Fuerza Axial (Ec. 5) en Columnas obtenemos la que describe los desplazamientos Absolutos, en donde se agrega un término particular que representa el desplazamiento como cuerpo rígido que ocurre en columnas con longitud finita.

$$y(\xi) = \frac{Fo.L}{A_c E_c}.\left(\frac{e^{-\lambda.\xi}}{\lambda} + \frac{e^{-\lambda}}{\lambda^2}\right) \qquad (7)$$

De las Ecuaciones (5), (6) y (7), sólo se comprobó la aplicación por comparaciones con análisis matriciales las (5) y (6), quedando sin verificar la (7), únicamente para el caso de vigas articuladas a la columna.

ANÁLISIS DEL METODO DEL CONTINUO

Condición Juntas Articuladas.

Teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas en los trabajos anteriormente citados, lo primero que se hizo fue comprobar, para múltiples casos, que efectivamente éstas describían el fenómeno en un intervalo aceptable. Y así se hizo, encontrándose que para el caso de la Fuerza Axial en la Columna y Fuerza Cortante en Viga las distorsiones se encontraban en el rango de 8 a 10 %. Y en el caso de los desplazamientos dicha diferencia crecía de una manera significativa.

Por tal motivo, se realizó una revisión matemática de las ecuaciones antes expuestas, a partir de la Ecuación de Fuerza Axial en la Columna, ya que es ésta la que surge como solución a la ecuación diferencial que describe el fenómeno. Tenemos entonces que:

Fuerza Axial en Columna:

$$F\left(\frac{x}{L}\right) = Fo.\left[e^{-\lambda.\xi} - e^{-\lambda}.\xi\right] \qquad (8)$$

Sustituyendo ξ por (x/L) y derivando en función de x encontramos el valor de Fuerza Cortante en Vigas:

$$\frac{F}{L}(\xi) = \frac{Fo}{L}\left(-\lambda.e^{-\lambda.\frac{x}{L}} - e^{-\lambda}\right) = \frac{Fo}{L}\left(-\lambda e^{-\lambda.\xi} - e^{-\lambda}\right) \qquad (9)$$

Por resistencia de materiales se sabe que la deformación axial de un miembro es:

$$\Delta = \frac{PL}{AE} \qquad (10)$$

En nuestro caso tenemos una expresión de P, que es igual a F, y si integramos respecto a x, y esa expresión la dividimos entre A*E, obtenemos la ecuación para cuantificar los desplazamientos:

$$y\left(\frac{x}{L}\right)=\frac{Fo}{A_cE_c}\cdot\left(\frac{e^{-\lambda\frac{x}{L}}}{-\frac{\lambda}{L}}-\frac{e^{-\lambda}.x^2}{2.L}+C\right) \qquad (11)$$

Simplificando la ecuación anterior y sustituyendo (x/L) por ξ, nos queda:

$$y(\xi)=-\frac{FoL}{A_cE_c}\cdot\left(\frac{e^{-\lambda\xi}}{\lambda}+\frac{e^{-\lambda}.\xi^2}{2}+C\right) \qquad (11.1)$$

Ahora bien el valor de C, representa el desplazamiento de la columna considerándola como un cuerpo rígido, que a su vez puede ser asociado al desplazamiento de la última viga cuando suponemos la columna con rigidez infinita, es decir cuando $\lambda \to 0$.

Cuando $\lambda \to 0$ y ξ=1, se sabe que el valor de la Intensidad de cortante arrojada por las ecuaciones del continuo es igual a:

$$F\left(\frac{x}{L}\right)=-\frac{Fo}{L}.\left[e^{-\lambda}\right] \qquad (11.2)$$

Esta intensidad de cortante es el valor que le llega a la última viga del sistema por unidad de longitud, que para poder ser usado de una manera consistente, con la analogía con una viga en voladizo a la cual se le aplica una fuerza en su extremo libre (f) debe ser multiplicado por " h " (altura de entrepiso), o dicho de otro modo, la fuerza puntual " f " que existe en el borde

de la viga pasa a la columna como una fuerza distribuida f/h que es igual al valor de intensidad de cortante que arroja la ecuación del continuo , así:

$$\frac{f}{h} = -\frac{Fo}{L}\left[e^{-\lambda}\right] \qquad (11.3)$$

Se puede decir entonces que el valor de " C " es igual al desplazamiento de una viga en voladizo (Ec. 3), cuando se le aplica en su extremo libre una fuerza de magnitud " f ", proveniente de la Ecuación # 14:

$$C = z = \left(\frac{-Fo.e^{-\lambda}}{L}.h\right).\frac{v^3}{3.E_bI_b} \qquad (11.4)$$

Si a esta ecuación la multiplicamos y dividimos por Ec, L y Ac y además conocemos que para nuestro caso Ec=Eb, la ecuación anterior nos queda:

$$C = z = \left(\frac{-Fo.e^{-\lambda}}{L}.h\right).\frac{v^3}{3.E_bI_b}.\left(\frac{L.Ac.Ec}{L.Ac.Ec}\right) \qquad (11.5)$$

Simplificando:

$$C = \left(\frac{-Fo.L.e^{-\lambda}}{Ac.Ec}\right).\frac{v^3.Ac.h}{3.I_b.L^2} \qquad (11.6)$$

Y por último, recordando la ecuación # 1:

$$\lambda^2 = \frac{3.Ib.L^2}{Ac.h.v^3}$$

Podemos escribir el valor de " C " de la manera:

$$C = \left(\frac{-Fo.L}{Ac.Ec}\right).\left(\frac{e^{-\lambda}}{\lambda^2}\right) \qquad (11.7)$$

Sustituyendo el valor de " C " en la ecuación de desplazamientos:

$$y(\xi) = -\frac{FoL}{AcEc}\left(\frac{e^{-\lambda.\xi}}{\lambda} + \frac{e^{-\lambda}.\xi^2}{2} + \frac{e^{-\lambda}}{\lambda^2}\right) \qquad (12)$$

Después de éste riguroso análisis matemático de la ecuaciones, se observar que existe un término que no estaba presente en la ecuación de desplazamiento antes descrita, éste término es:

$$-\frac{FoL}{AcEc}\left(\frac{e^{-\lambda}.\xi^2}{2}\right)$$

Al introducir este componente en la ecuación de desplazamiento absolutos y compararlos con los resultados de los análisis matriciales se observó que la dispersión máxima observada para los casos estudiados fue de 3%.

Condición de Juntas Rígidas.

Las ecuaciones descritas para el caso articulado de Fuerza Axial en Columna y Fuerza Cortante en Vigas son las mismas que para el caso de juntas rígidas, lo que hace la diferencia es el valor de el parámetro η, que para el caso de juntas articuladas toma el valor de 3 y para el segundo varía entre 3 y 6. La variación de η para el caso de juntas rígidas se explicará más adelante en un capitulo destinado a ello. Los ajustes de las ecuaciones en éstos casos nos arrojan valores de errores máximos del orden de 5%.

La Ecuación que describe los desplazamientos sí difiere de la condición de articulada, y fue encontrada de una manera empírica, es decir, a través de ensayo y error, y queda expresada así:

$$y(\xi) = -\frac{FoL}{A_c E_c}\left(\frac{e^{-\psi.\lambda.\xi}}{\psi.\lambda} + \frac{e^{-\psi.\lambda}.\xi^2}{2} + \frac{e^{-\psi.\lambda}}{(\psi.\lambda)^2}\right) \qquad (13)$$

Esta ecuación diverge con la de desplazamiento en condición de juntas articuladas en que el valor de λ se ve multiplicado por un parámetro ψ el cual es constante y toma para todos los casos estudiados el valor de :

$$\psi = \sqrt{2}$$

Cuando se introdujo este parámetro constante a la ecuación de desplazamiento, el ajuste reportó un error máximo del 3% para los casos estudiados.

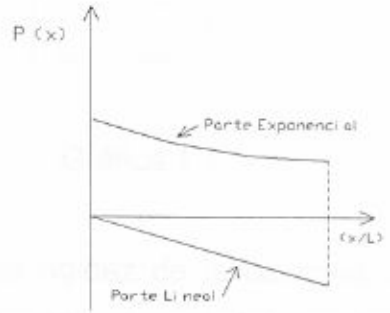
Queda entonces pendiente la explicación de este valor, sobre el cual se tiene la presunción de que depende del grado de rigidez de la conexión, ya que ésta afecta la distribución tanto de fuerzas como de deformaciones y que por tanto se debe tomar en cuenta en el análisis estructural.

SIGNIFICADO FISICO DE LAS ECUACIONES

FUERZA AXIAL

Como se ha podido observar, la ecuación de la Fuerza Axial en Columnas (Ec. 5) consta de dos términos, uno lineal y otro exponencial, con respecto a la variable ξ.

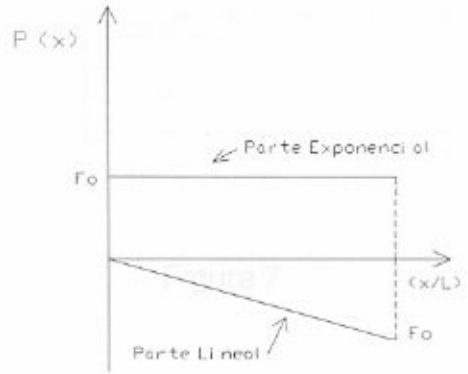
Si observamos una Gráfica en donde se separen los términos que componen la ecuación de Fuerza Axial con respecto a ξ, tendremos una mejor visión de lo que cada uno de ellos representa, así:



Gráfica 1.

La ecuación de Fuerza Axial se sabe que depende de un parámetro adimensional λ, que es el que la hace sensible a los cambios de los parámetros estructurales que puedan ocurrirle al pórtico, tales como: cambio de secciones de las columnas o de las vigas, entre otros. Dicho esto, nos iremos al análisis de un caso extremo, en el cual la columna la hacemos infinitamente rígida, es decir $\lambda \to 0$. Esto lo podemos lograr de dos maneras, la primera aumentando considerablemente el módulo de elasticidad de la columna " Ec " o en segundo caso, las dimensiones de la misma.

Hecho esto, estudiamos el comportamiento de la Fuerza Axial en la Columna (Ec. 5), a través de sus partes con una gráfica similar a la anterior, de la cual podemos decir que la parte exponencial tiende a comportarse como una constante del mismo valor de la fuerza aplicada en el borde del pórtico " Fo " y la parte lineal como una recta que va desde el origen de coordenadas hasta el par (1,-Fo), tal como se muestra:



Gráfica 1.1.

Cuando se aumenta la rigidez de la columna, las fuerzas cortantes que se generan en cada viga toman un valor constante, por tal motivo la fuerza que ellas le trasmiten a la columna pasa a ser una fuerza distribuida también constante de magnitud F/L.

Observando el problema desde el punto de vista de las fuerzas que actúan únicamente sobre la columna tendríamos que sobre ésta actúan dos fuerzas, la primera una Fuerza es puntual aplicada en su extremo libre y en dirección axial de magnitud " Fo " y la segunda fuerzas distribuidas de magnitud " Fo/L ", provenientes del efecto que las vigas ejercen sobre la columna, y si asumimos la columna como una viga en voladizo empotrada en uno de sus extremos, tendríamos algo semejante a lo se ve en las siguientes figuras:

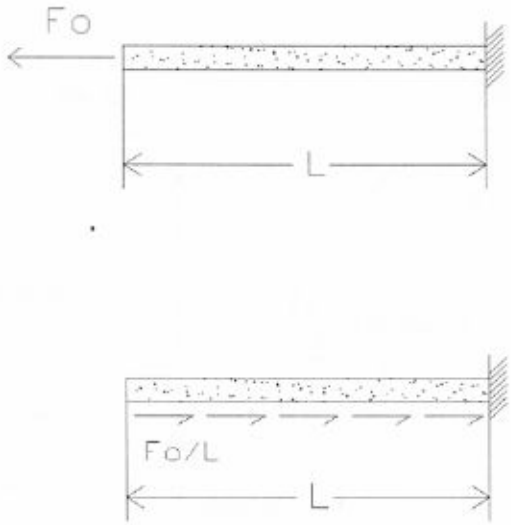


Figura 7.

Si realizamos el análisis de la Fuerza Axial para cada uno de los casos anteriores y los sumamos obtendremos una gráfica exactamente igual a la #1.1, para el caso de una columna sumamente rígida.

De lo anterior se puede concluir que **la parte exponencial corresponde al efecto de la Fuerza Puntual aplicada en un extremo del pórtico " Fo ", y la parte lineal se atribuye a la Fuerza Distribuida que generan las vigas sobre las columnas**.

Para casos en los cuales λ no tiende a cero, sino que toma un valor finito, la gráfica # 1.1 va sufriendo una serie de modificaciones, las cuales se adjudican al hecho de que la fuerza cortante en la vigas ya no es constante, sino que sigue la tendencia descrita por la ecuación # 6, pues comienza a tomar importancia la relación Viga-Columna, que se describe a través del parámetro adimensional λ. A medida que λ aumenta estas modificaciones son las siguientes:

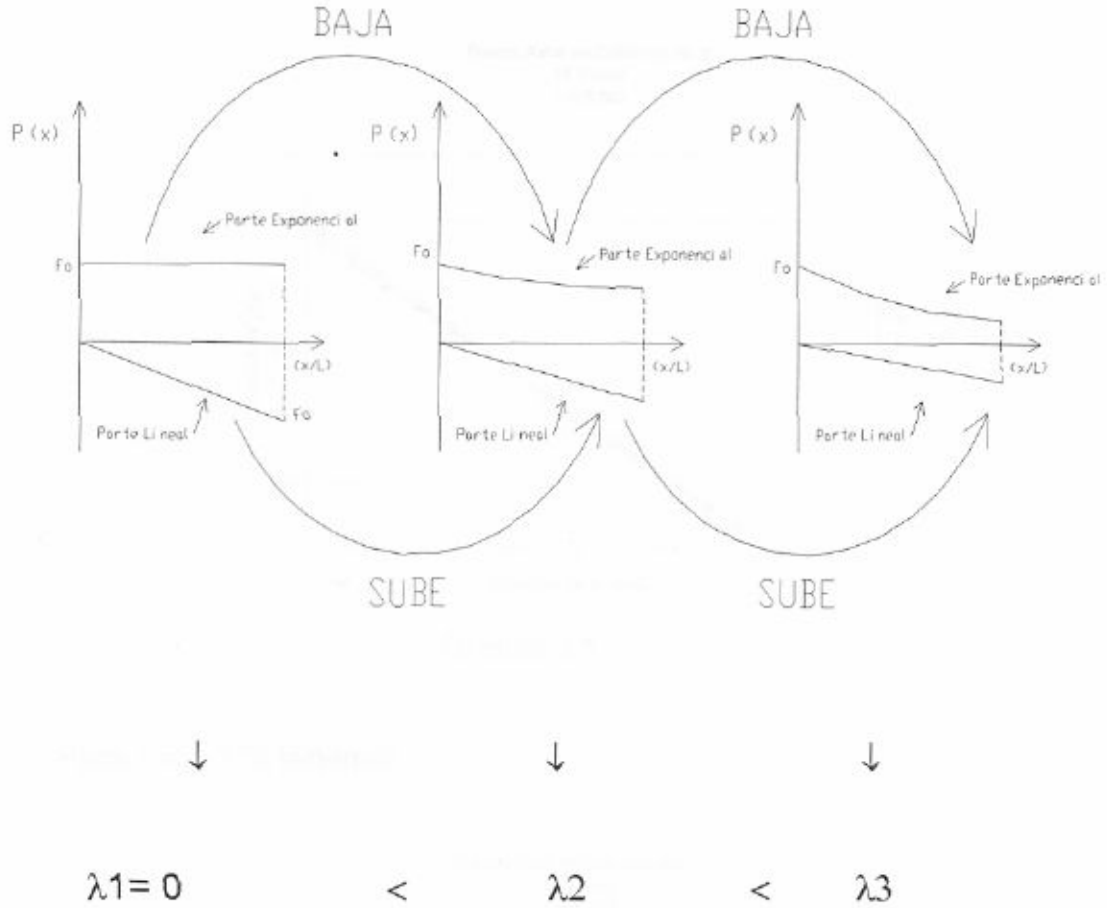
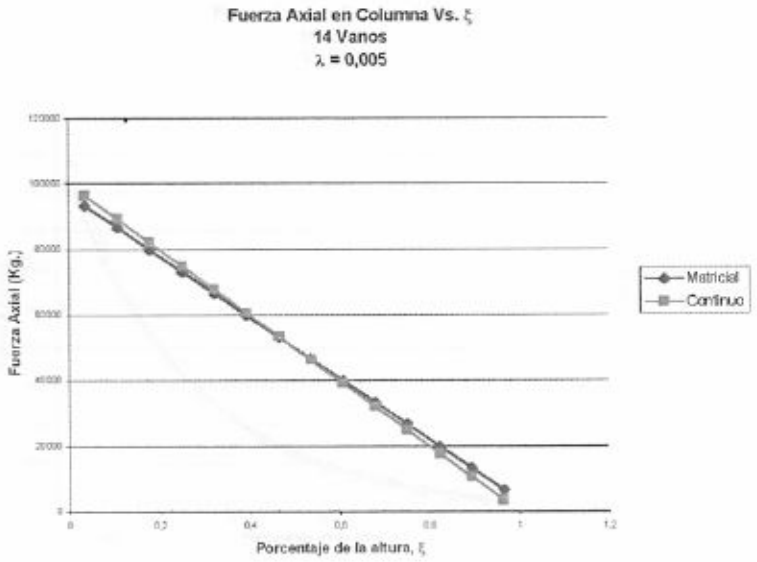


Figura 8.

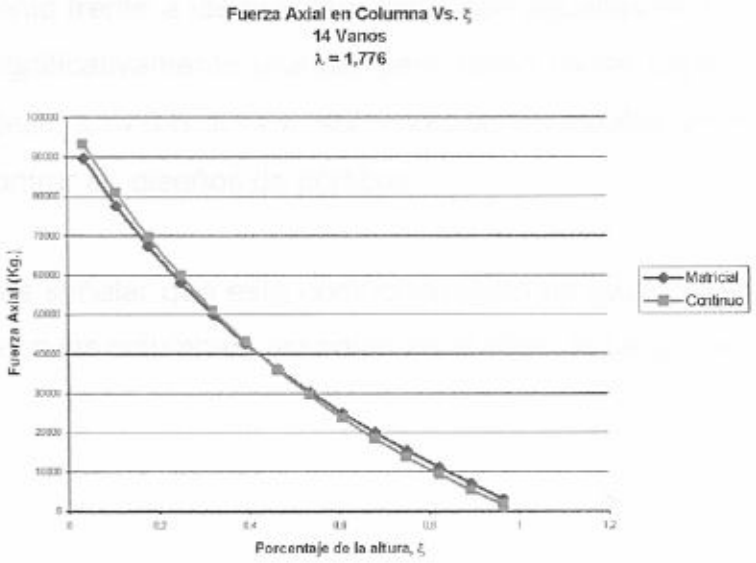
Las gráficas anteriores nos generan otra conclusión importante, que es que a medida que aumenta el valor de λ la atenuación de los efectos originados a causa del asentamiento es mucho más rápida. Para entender mejor lo dicho anteriormente presentamos a continuación 3 gráficas, para distintos valores de λ en donde también se puede observar una comparación de los resultados del método del continuo con los valores obtenidos por el análisis matricial.

Para $\lambda \to 0$ tenemos:



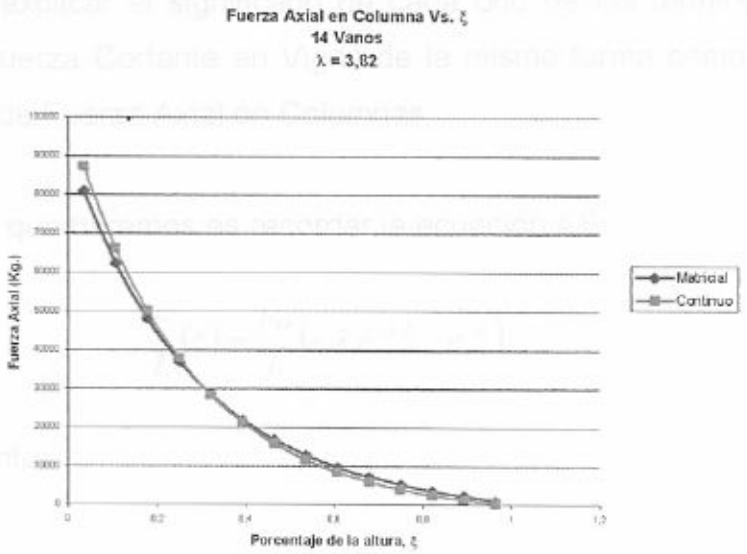
Gráfica 2.1

Para $\lambda = 1{,}776$ tenemos:



Gráfica 2.2

Y por último para $\lambda = 3{,}82$:



Gráfica 2.3

Todo esto nos induce a afirmar que las estructuras que tienen un mejor comportamiento frente a los asentamientos son aquellas en las cuales el valor de λ es significativamente grande, pero como es de esperarse los casos límites, es decir, $\lambda \to 0$ ó $\lambda \to \infty$, son condiciones ideales, extremistas y difíciles de encontrar en diseños de pórticos.

Es importante señalar que este comportamiento es igual para el caso de vigas articuladas a las columnas, así como en el caso de juntas rígidas.

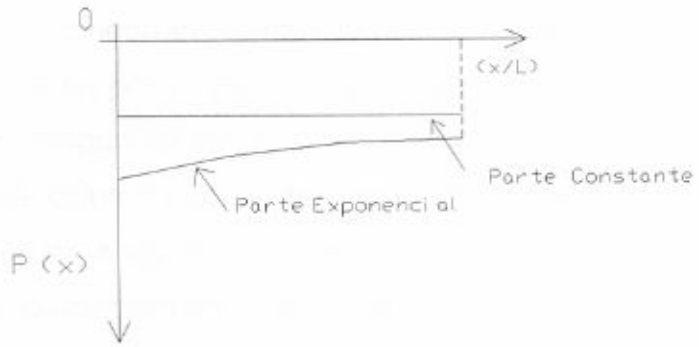
FUERZA CORTANTE

Se puede explicar el significado de cada uno de los términos de la Ecuación de la Fuerza Cortante en Vigas de la misma forma como se hizo para la Ecuación de Fuerza Axial en Columnas.

Lo primero que haremos es recordar la ecuación # 6:

$$\frac{F}{L}(\xi) = \frac{Fo}{L}\left(-\lambda . e^{-\lambda \xi} - e^{-\lambda}\right)$$

Gráficamente:



Gráfica 3.1

Como puede observarse ésta posee dos términos, uno constante y otro exponencial. Como se dijo anteriormente, si la columna se comportara como un cuerpo rígido ($\lambda = 0$) la Fuerza Cortante en la Vigas sería una Fuerza Constante, que a la hora de trasmitirla a la Columna tomaría el valor de una Fuerza Distribuida " Fo/L ".

Al hacer $\lambda = 0$ en la ecuación anterior nos queda que la intensidad de la fuerza cortante es igual a una constante distribuida a lo largo de la

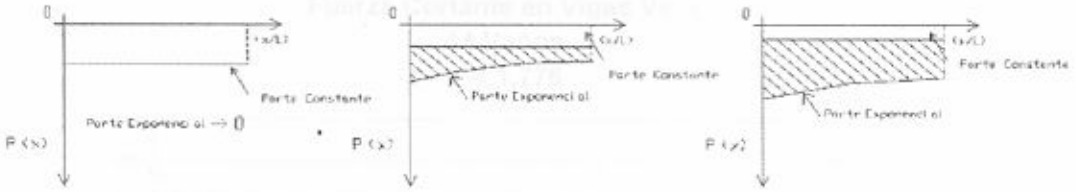
columna, es decir una intensidad de cortante. Por lo que se concluye que el término constante de dicha ecuación, es el que describe el movimiento de la columna como un cuerpo rígido.

Ahora bien, el hecho de que la columna se comporte como un cuerpo rígido está íntimamente ligado a los valores que tome el parámetro λ, ya que éste es el que describe la relación viga-columna y al igual que la Fuerza Axial en la Columna, el comportamiento de la Fuerza Cortante en las Vigas va sufriendo una serie de cambios a medida que λ aumenta.

Esto se explica mejor a través del siguiente ejemplo: Si hacemos el área de columna infinitamente grande en comparación con el área de las vigas ($\lambda = 0$), éste sistema se comporta como el descrito en la figura # 4, en el cual las vigas se comportan como laminillas continuas unidas a la columna, que debido a su poca rigidez en comparación con la rigidez de la columna no generan ningún aporte al sistema en cuanto a la restricción del desplazamiento de la columna como cuerpo rígido. Los desplazamientos entones pasan a ser de magnitud constante y como se puede ver de la Ecuación (3), dichos desplazamientos están directamente ligados a la fuerza cortante que absorbe cada viga, haciendo que ésta sea también de magnitud constante.

Si ahora se comienza a disminuir progresivamente el valor del área de la columna, o lo que es lo mismo aumentamos los valores de λ, las vigas comienzan a tener una participación dentro del sistema, aportando una fuerza no constante que se opone a los desplazamientos de la columna como cuerpo rígido y es allí donde el proceso comienza a ser descrito por la parte exponencial de la ecuación de Fuerza Cortante en Vigas del Método del Continuo.

Viéndolo de una manera gráfica:

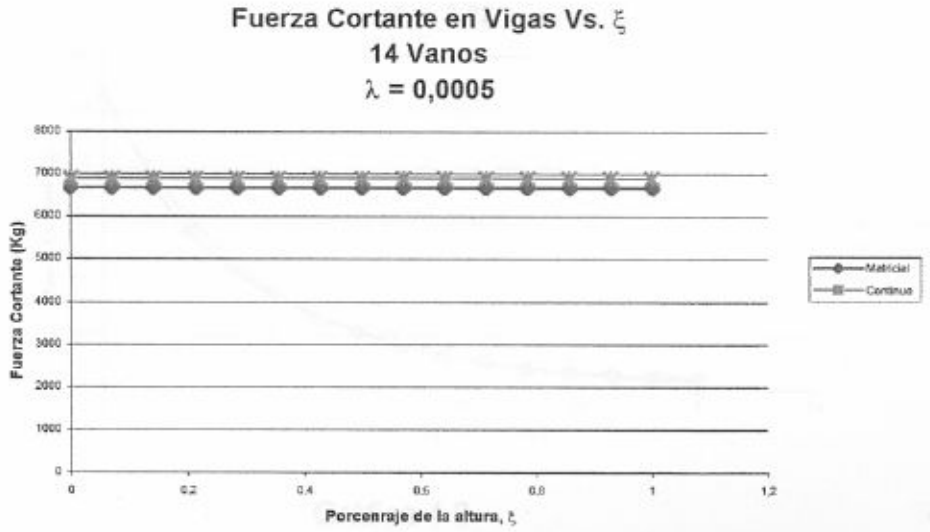


$$\lambda 1 = 0 \quad < \quad \lambda 2 \quad < \quad \lambda 3$$

Gráfica 3.2

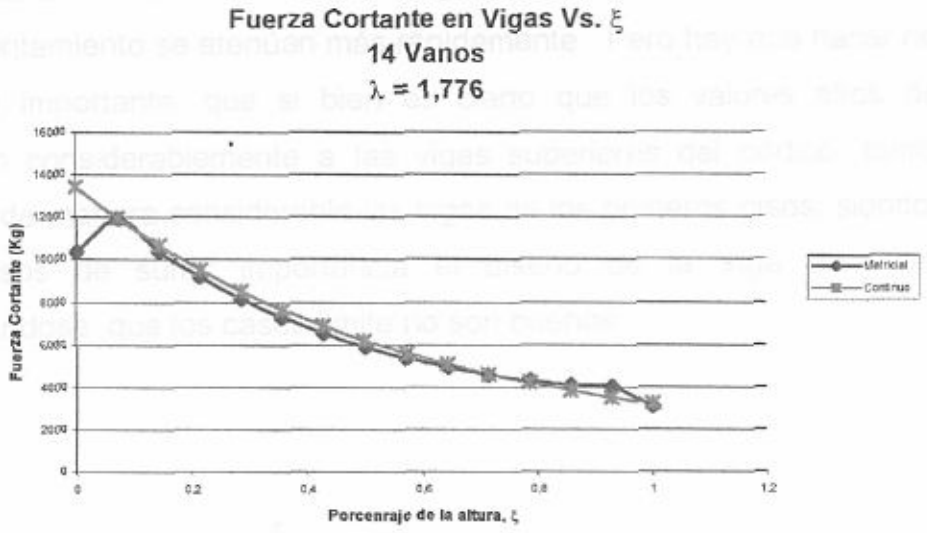
A continuación se presentan un conjunto de 3 gráficas de valores absolutos de la Fuerza Cortante en Vigas Vs. ξ para distintos valores de λ en donde se muestran además comparaciones con los análisis por el método matricial :

Cuando $\lambda \rightarrow 0$:



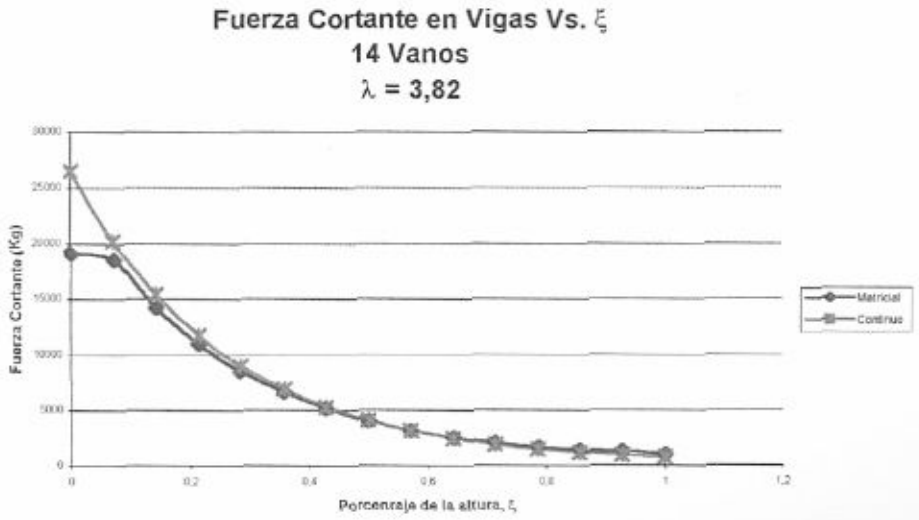
Gráfica 4.1

Para $\lambda = 1{,}776$:



Gráfica 4.2

Y para $\lambda = 3{,}82$:



Gráfica 4.3

Al igual que en la fuerza axial en columnas, en este caso también se cumple que las estructuras con valores grandes de λ, los efectos producidos por el asentamiento se atenúan más rápidamente. Pero hay que hacer notar algo muy importante, que si bien es cierto que los valores altos de λ benefician considerablemente a las vigas superiores del pórtico, también recargan de manera considerable las vigas de los primeros pisos, siendo en estos casos de suma importancia el diseño de la Viga de Riostra, corroborándose que los casos límite no son buenos.

DESPLAZAMIENTOS

Cuando sometemos un cuerpo elástico, por ejemplo una viga empotrada en un extremo, a la aplicación de una carga axial en su extremo libre, ésta se deforma de una manera tal que los desplazamientos van decreciendo con una tendencia exponencial desde el punto de aplicación de la carga hasta el extremo empotrado.

Lo arriba establecido se puede explicar imaginándonos una liga circular, de cierta longitud, la cual posee un forro que la recubre, que también siendo elástico, posee más rigidez que la liga, tal como se ve:

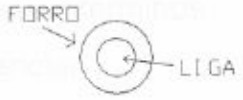


Figura 9.1

Le realizamos una serie de marcas que se encuentren a igual distancia y la fijamos en uno de sus extremos. Posteriormente le aplicamos una fuerza " Fo " en el extremo que se encuentra libre y observamos la distancia que existe entre las marcas luego de la aplicación de la fuerza :

Figura 9.2

Con esta analogía puede verse de una manera clara que los desplazamientos son mayores en los puntos cercanos a la aplicación de la fuerza, y es que la liga y su forro trabajan de una manera parecida al sistema que consideramos, en donde la liga representa a la columna y el forro se asemeja a sistema de vigas que de alguna forma restringe el desplazamiento de la columna como un cuerpo libre y linealmente elástico.

Recordando la ecuación de desplazamiento (Ec. 12):

$$y(\xi) = -\frac{FoL}{A_c E_c}\left(\frac{e^{-\lambda\xi}}{\lambda} + \frac{e^{-\lambda}\xi^2}{2} + \frac{e^{-\lambda}}{\lambda^2}\right)$$

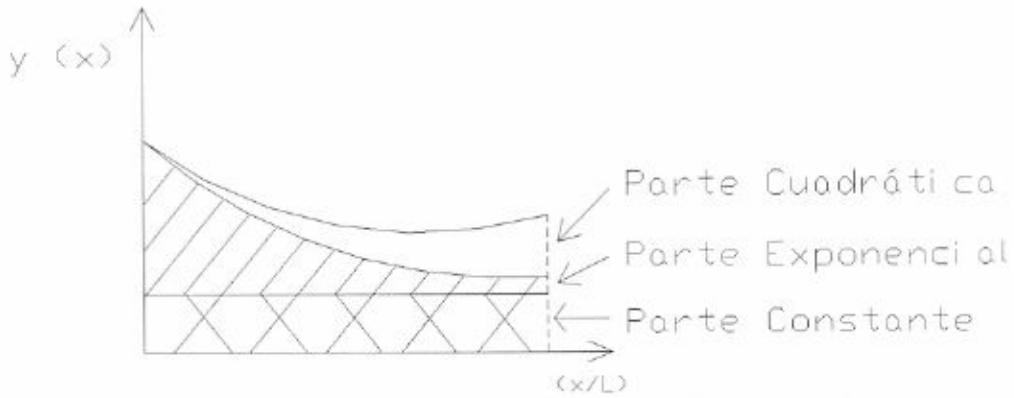
Como se ve, consta de tres términos:

1.- Término Exponencial.

2.- Término Cuadrático.

3.- Término Constante.

Visto de una manera gráfica:



Gráfica 5.

El término constante de dicha ecuación describe el movimiento de la columna como un cuerpo rígido y viene del desplazamiento que sufre la última viga del sistema para cuando $\lambda \to 0$.

Como se explicó anteriormente, la Ecuación de desplazamiento surge de la integración de la ecuación de la Fuerza Axial en Columna, en la cual existen dos términos, uno exponencial que describe el efecto que tiene sobre la columna la fuerza externa aplicada " Fo " y un segundo término lineal que reseña la acción de las vigas sobre la columna como oposición al desplazamiento causado por el asentamiento. Separando los dos efectos y viendo a la columna como un cuerpo rígido al cual se le aplican dos fuerzas, tal como se hizo en la figura 7, tenemos que:

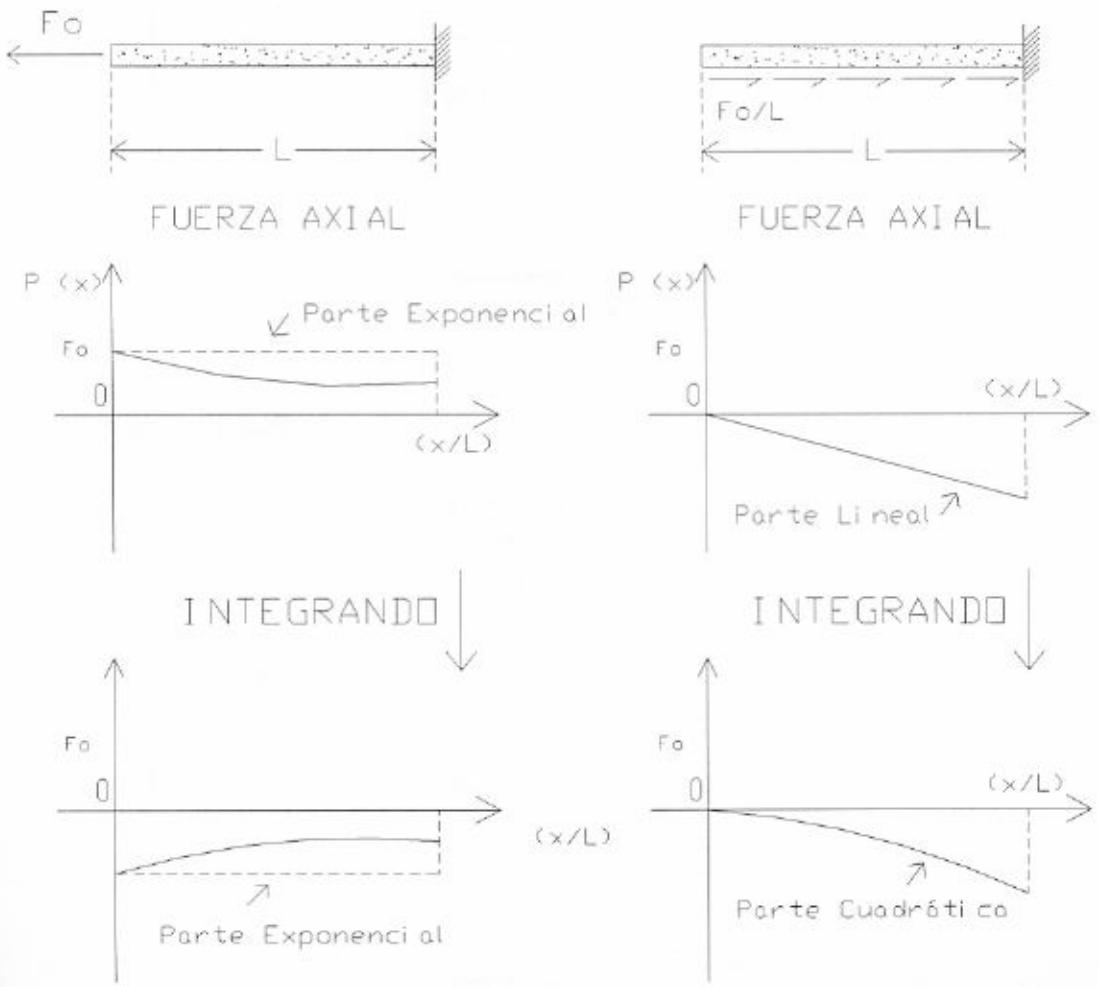
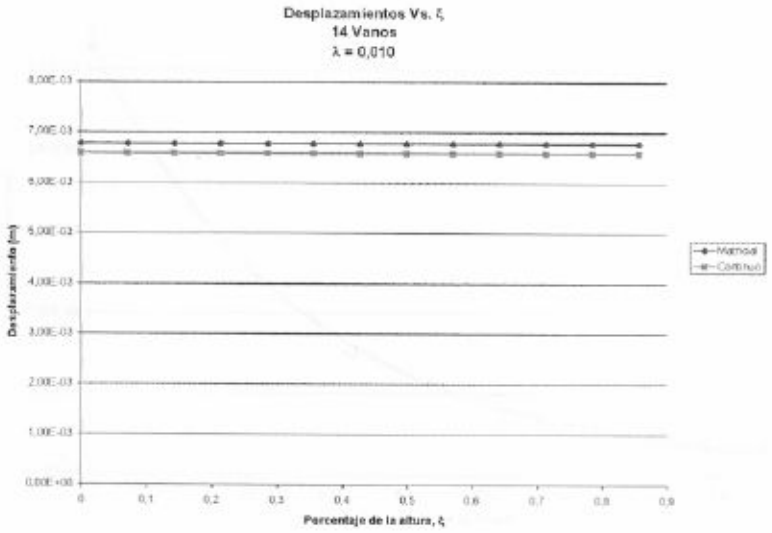


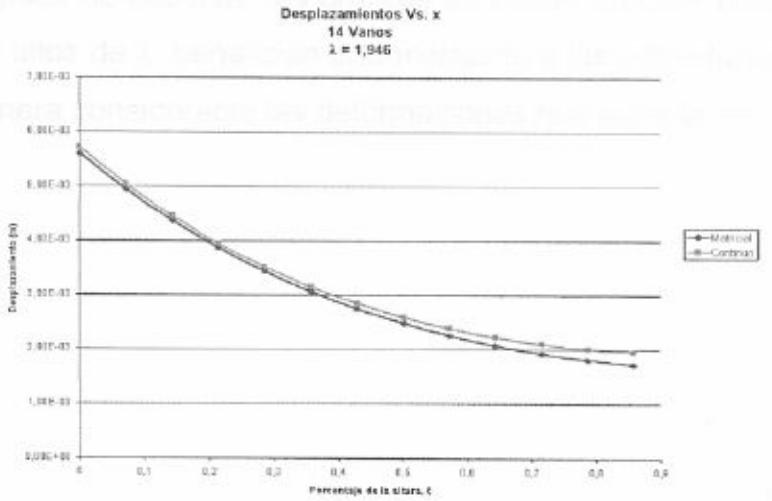
Figura 10.

Superponiendo las dos últimas gráficas y añadiendo el término constante obtenemos la ecuación de desplazamiento. Si consideramos valores crecientes de λ, empezando por $\lambda \to 0$ tenemos:



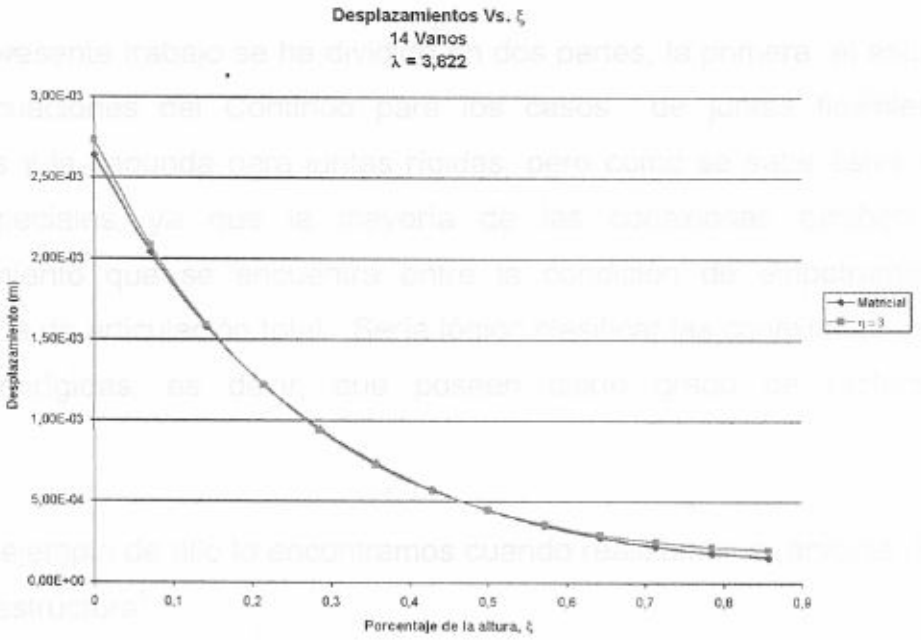
Gráfica 6.1

Para $\lambda = 1{,}946$



Gráfica 6.2

Y por último $\lambda = 3{,}82$:



Gráfica 6.3

Después de observar las gráficas se puede concluir nuevamente que los valores altos de λ benefician enormemente a las estructuras, se reducen de una manera considerable las deformaciones que sufre la estructura.

Valores de " η " y su Relación con el Tipo de Conexión Viga-Columna.

El presente trabajo se ha dividido en dos partes, la primera: el estudio de las Ecuaciones del Continuo para los casos de juntas flexibles ó articuladas y la segunda para juntas rígidas, pero como se sabe éstos son casos especiales, ya que la mayoría de las conexiones exhiben un comportamiento que se encuentra entre la condición de empotramiento perfecto y la de articulación total. Sería lógico clasificar las conexiones como juntas semirígidas, es decir, que poseen cierto grado de restricción rotacional.

Un ejemplo de ello lo encontramos cuando realizamos el análisis de la siguiente estructura[1]:

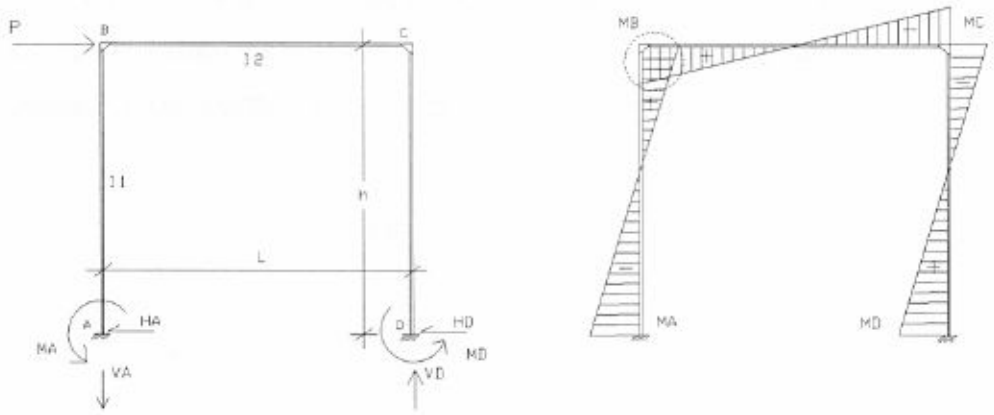


Figura 11.

Donde:

$$K = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)\left(\frac{h}{L}\right) \quad (14) \qquad m = 2 + K \qquad n = 1 + 6.K$$

[1] " Manual para el Cálculo de Edificios, 1959" . Ministerio de Obras Públicas, Caracas 1960. pp. 665.

Además:

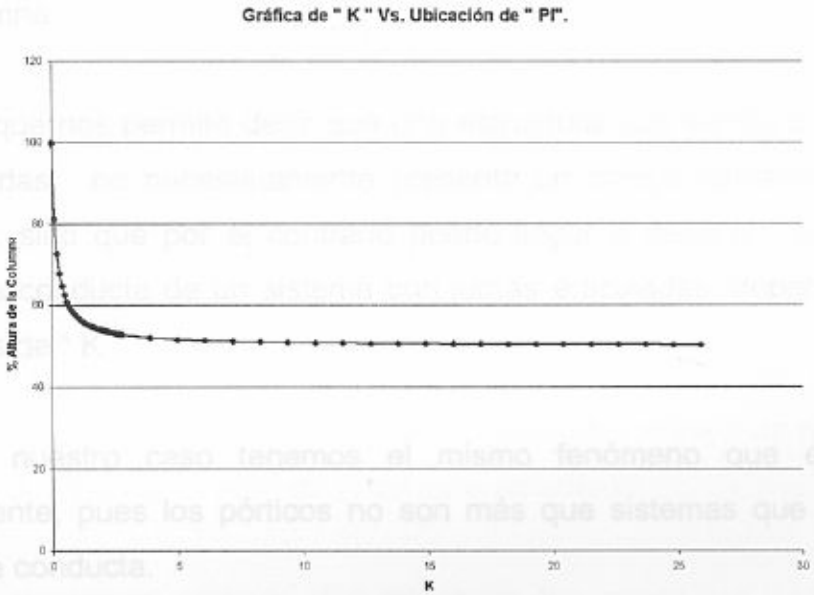
$$HA = HD = \frac{P}{2} \qquad VA = VD = \frac{3.Ph.K}{L.n}$$

$$MA = MD = \left(\frac{P.h}{2}\right).\left(\frac{(1+3.K)}{n}\right) \qquad MB = -MC = \left(\frac{P.h}{2}\right).\left(\frac{3K}{n}\right)$$

En este caso estamos trabajando con juntas rígidas, con una distribución de momentos típica, como lo muestra la figura anterior, en la cual se observa que existe en la columnas un punto en el cual los momentos se anulan, al que llamaremos " PI " (Punto de Inflexión).

Para el caso de juntas flexibles o articuladas (M = 0), este punto " PI " se encuentra en la parte superior de la columna.

Si se varía el parámetro adimensional " K " (Ec. 14), desde valores cercanos a cero hasta un número considerable y se grafica con respecto a la ubicación del punto " PI " se obtendría lo siguiente:



Gráfica 7.

La ubicación del punto "PI" en la gráfica anterior viene dado como un porcentaje de la altura de la columna sobre la cual se encuentra dicho punto, por ejemplo, que para el 100% de la altura, "PI" se encuentra en el tope de la columna.

Esta gráfica nos suministra un patrón de comportamiento por el cual se rigen las estructuras, que es que a medida que aumentamos " K " el punto de inflexión baja hasta hacerse constante en un 50% de la altura de la columna, siendo este cambio muy brusco para valores bajos de " K " y muy leve para valores altos.

Lo importante ahora es definir dentro del sistema estudiado que representa el valor de " K " y si observamos la ecuación # 14 podemos decir que éste representa físicamente el grado de rigidez existente entre las vigas y las columnas.

Esto se ve claramente para el caso en el cual K = 0, en el cual el punto de inflexión se encuentra en el tope de la columna, caso similar al de juntas articuladas en las cuales " PI " también se ubica en la parte superior de la columna.

Lo que nos permite decir que una estructura aún siendo definida con juntas rígidas, no necesariamente presenta un comportamiento típico de este caso, sino que por el contrario puede llegar a describir en un caso extremo la conducta de un sistema con juntas articuladas, dependiendo de los valores de " K ".

En nuestro caso tenemos el mismo fenómeno que el descrito anteriormente, pues los pórticos no son más que sistemas que siguen un modelo de conducta.

Recordando los las Ecuaciones de Momentos de empotramiento para los siguiente sistemas:

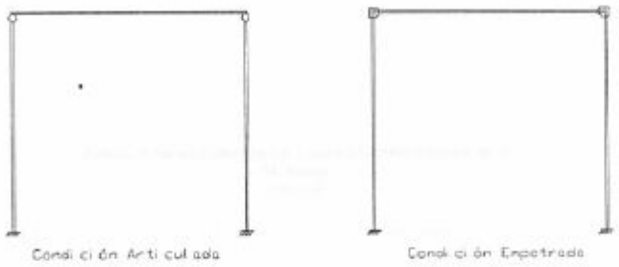


Figura 12.

$$M_{Art.} = -\frac{3.EI_b.\Delta}{L^2} \qquad M_{Emp.} = -\frac{6.EI_b.\Delta}{L^2}$$

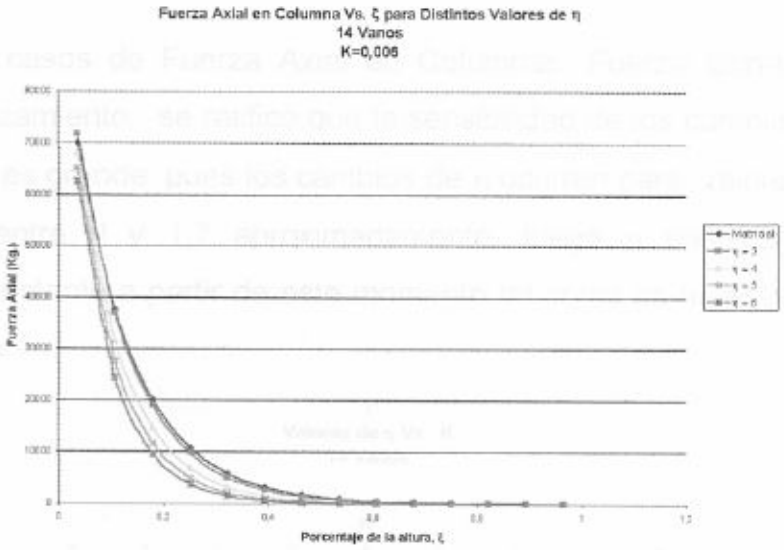
Como puede verse de los dos casos extremos el valor de η varía de 3 para el caso articulado a 6 para el caso de doble empotramiento, se sabe además que **el paso de un sistema articulado a uno completamente rigidizado depende de la configuración de dicho sistema y no del simple hecho de diseñar con articulaciones rígidas o flexibles, pues éstas son situaciones ideales**.

A partir de lo dicho antes, se comenzó a investigar para distintos casos cuál era el comportamiento de la variable " η " con respecto al parámetro adimensional " K " (Ec. 14).

Metodológicamente hablando, lo que se hizo fue comparar los datos suministrados por el método de análisis matricial con Ecuaciones del Continuo que diferían entre sí por los valores de η, después de esto se tomaban en cuenta dos cosas: la primera, determinar el valor de η que mejor ajustaba y la segunda el valor de K del caso estudiado.

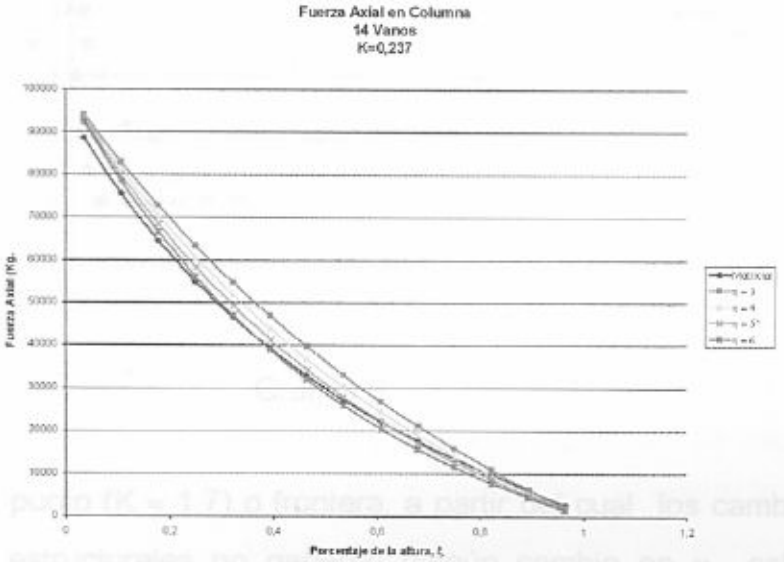
Es importante señalar que en todos los casos las juntas fueron definidas como juntas rígidas.

A continuación se muestran 2 gráficas para distintos valores de K para el caso de Fuerza Axial en Columna en las cuales se muestra lo dicho antes, comenzaremos por cuando K → 0:



Gráfica 8.1.

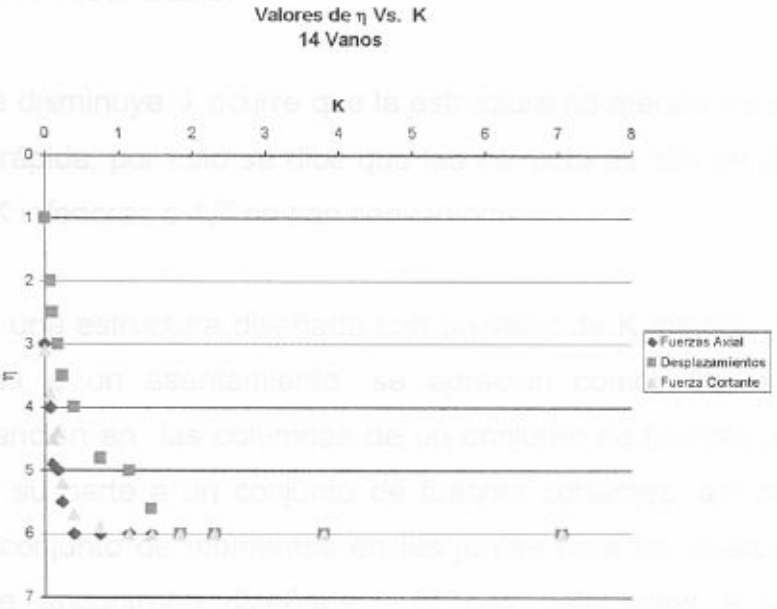
Para K = 0,237:



Gráfica 8.2.

El estudio fue realizado para Fuerza Axial en Columna, Fuerza Cortante en Vigas y Desplazamiento. Los Resultados Obtenidos demostraron que efectivamente la variable " η " se encuentra relacionada con " K ", de la misma forma que se mostró en la gráfica #7, es decir que para valores bajos de " K " el Pórtico se comporta como si las juntas fueran articuladas.

Para los casos de Fuerza Axial en Columnas, Fuerza Cortante en Vigas y Desplazamiento, se ratificó que la sensibilidad de los cambios de η en función de K es grande, pues los cambios de η ocurren para valores de K comprendidos entre 0 y 1,7 aproximadamente, luego η pasa a ser 6 manteniendo constante a partir de este momento tal como se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 9.

Existe un punto (K ≈ 1,7) o frontera, a partir del cual los cambios de los parámetros estructurales no generan ningún cambio en η, esto nos separa el problema en dos zonas, la primera que corresponde a los valores

de K que están entre 0 y 1,7 y la segunda para los valores mayores a este último.

Surge entonces una interrogante: ¿puede tener alguna implicación el diseñar una estructura con valores altos o bajos de K?.

Y la respuesta es sí, ya que cuando diseña un pórtico con juntas rígidas uno espera que el comportamiento del mismo sea parecido al de un doble empotramiento, cosa que por lo dicho antes sabemos que no se cumple para determinados valores de " K ". Por otro lado, valores bajos de " K " generan magnitudes de $\eta < 6$ e inclusive cercanas a 3, y como se sabe η tiene una relación proporcional con el parámetro λ, por lo que también disminuye el valor de este último.

Cuando se disminuye λ ocurre que la estructura no atenúa los efectos de una manera rápida, por esto se dice que las estructuras que se diseñen para valores de K inferiores a 1,7 no son convenientes.

Si supone una estructura diseñada con un valor de K inferior a 1,7 la cual es sometida a un asentamiento, se aprecian como una reacción inmediata, la aparición en las columnas de un conjunto de fuerzas axiales, en las vigas por su parte a un conjunto de fuerzas cortantes, así como la aparición de un conjunto de momentos en las juntas para los cuales dicha estructura no se encontraba diseñada. Si nos detenemos a ver las modificaciones que sufren los elementos del Sistema, podemos aseverar que el mayor cambio lo sufren las vigas a las cuales modifican de una manera considerable su inercia, la cual se reduce por la aparición de las grietas producto de los momentos trasmitidos desde las juntas. Al ocurrir lo anterior el valor de K disminuye, y como se estableció en un principio, nos encontramos en una zona de la Gráfica 9 en la cual los cambios de K son significativos en la variación de η. Dicho de otra forma, no importa lo

pequeña sea la variación de K, pues ésta genera una gran disminución en η, y por tanto en λ, haciendo la estructura más sensible aún a los asentamientos de lo que era originalmente.

Caso contrario, cuando nos encontramos para valores de K >> 1,7, en los cuales una disminución de K no afecta en nada en valor de η ya que éste se comporta de manera contante e igual a 6, quedando la estructura en iguales condiciones de atenuar los efectos de un asentamiento, es decir el valor de λ permanece constante.

Causas que originan la Distorsión del Método del Continuo

Las ecuaciones presentadas en este trabajo son el resultado del estudio de un medio continuo, que al ser aplicadas a sistemas discretos producen una serie de distorsiones.

Veamos lo que le sucede a un medio continuo, es decir infinito en longitud, cuando es llevado a un sistema de longitud finita:

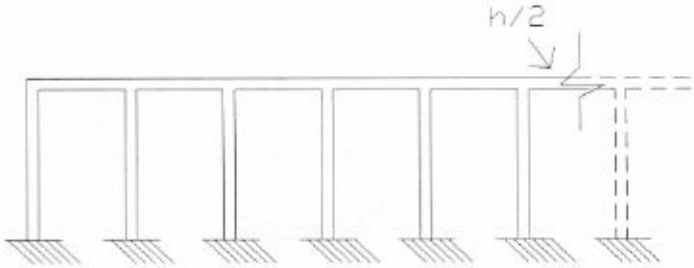


Figura 13.

De la figura anterior se pueden concluir dos cosas:

1. Al cortar los vanos en el extremo libre a la mitad, la longitud total que tiene el pórtico es igual al número de pisos multiplicado por la dimensión de entrepiso " h " más h/2.
2. " Por otro lado la última viga posee el doble de la rigidez que le corresponde, puesto que pertenece a la última celda del apilamiento y sobre ella recae el efecto de " media viga " de la celda terminal que no existe".[2]

El primero de los efectos anteriores fue demostrado para los casos estudiados, observando que después de efectuado el ajuste las discrepancias disminuían en un valor promedio del 2%.

[2] PAPARONI, Mario. "*Dimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado*". Ediciones SIDETUR. Caracas, 1991. pp. 63.

Otro valor que no se toma en cuenta a la hora de aplicar las Ecuaciones, es que al cortar el medio continuo tal como se mostró antes se genera sobre el sistema una fuerza a la que llamaremos " Fuerza Parásita ", que no es más que la respuesta que se produce sobre el sistema al ser desprendido de una longitud infinita. Esta fuerza toma un valor de la fuerza que produce en asentamiento " Fo " entre el número de vigas del sistema y se puede representar como así:

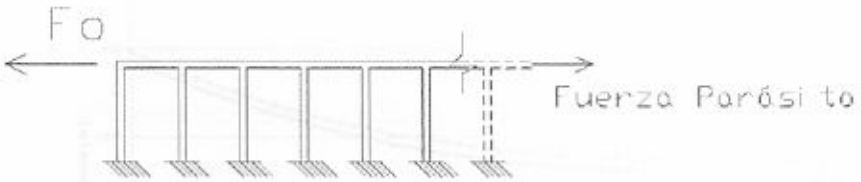
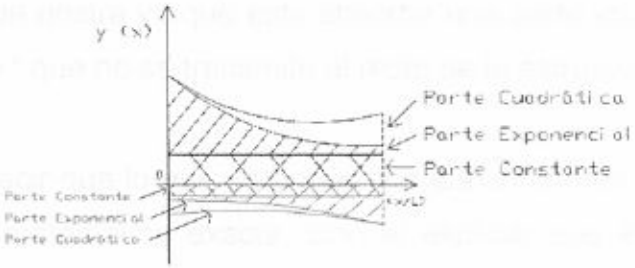


Figura 14.

Si conocemos la magnitud de esta Fuerza, así como su dirección y sentido, podemos entonces aplicar las Leyes o Ecuaciones del Continuo que rigen los efectos que dicha fuerza provoca sobre el sistema como si ésta se tratara de una Fuerza Externa, un ejemplo lo podemos observar en la siguiente gráfica de desplazamiento:

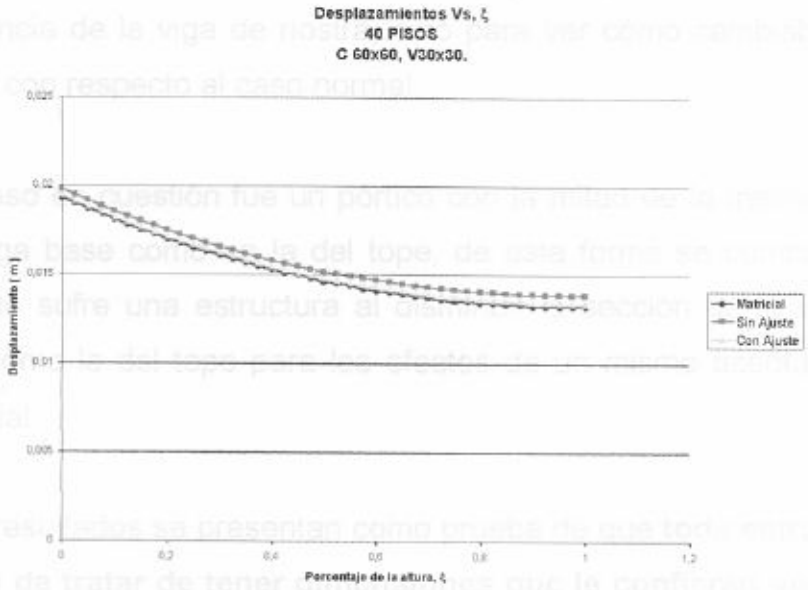


Gráfica 10.

La parte superior de la gráfica es la correspondiente a la Fuerza " Fo " originada por el asentamiento y la parte inferior, demarcada en color rojo, corresponde al Efecto de la aparición de la Fuerza Parásita. Es importante

señalar que la gráfica anterior no está a escala pues sus valores han sido exagerados con fines de dilucidar lo dicho anteriormente.

A continuación se presenta un ejemplo las mejoras que sufre la Ecuación del Continuo cuando son tomados en cuenta los ajustes anteriores:



Gráfica 11.

Además de lo dicho antes, existe otra causa de distorsión que es la presencia de la viga de riostra ya que ésta absorbe una parte importante del valor de la fuerza " Fo " que no se transmite al resto de la estructura.

Vale la pena decir que lo que se busca con las anteriores ecuaciones no es una precisión matemática exacta, sino el explicar que es lo que le sucede a las estructuras cuando se produce un asentamiento.

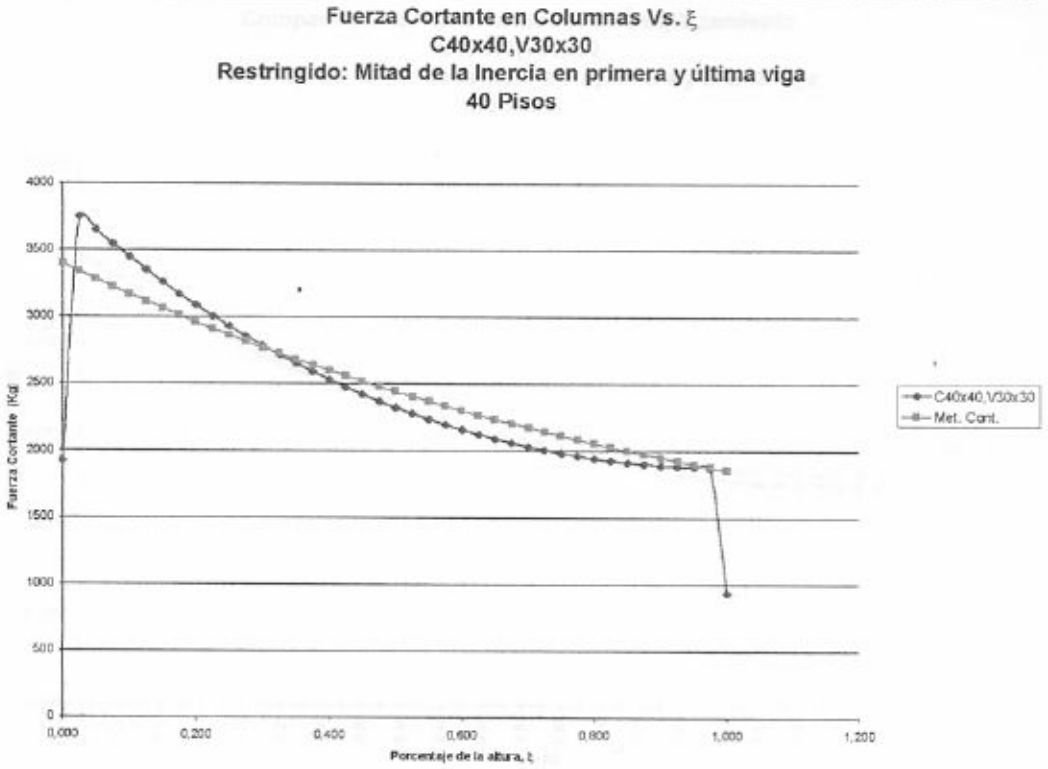
Comprobación de la Contribución de la Viga de Riostra en el Comportamiento de la Estructura

Para demostrar el aporte de estabilidad que le suministra la viga de riostra al pórtico, se estudió un caso excepcional para verificar no sólo la influencia de la viga de riostra, sino para ver cómo cambiaban las gráficas con respecto al caso normal.

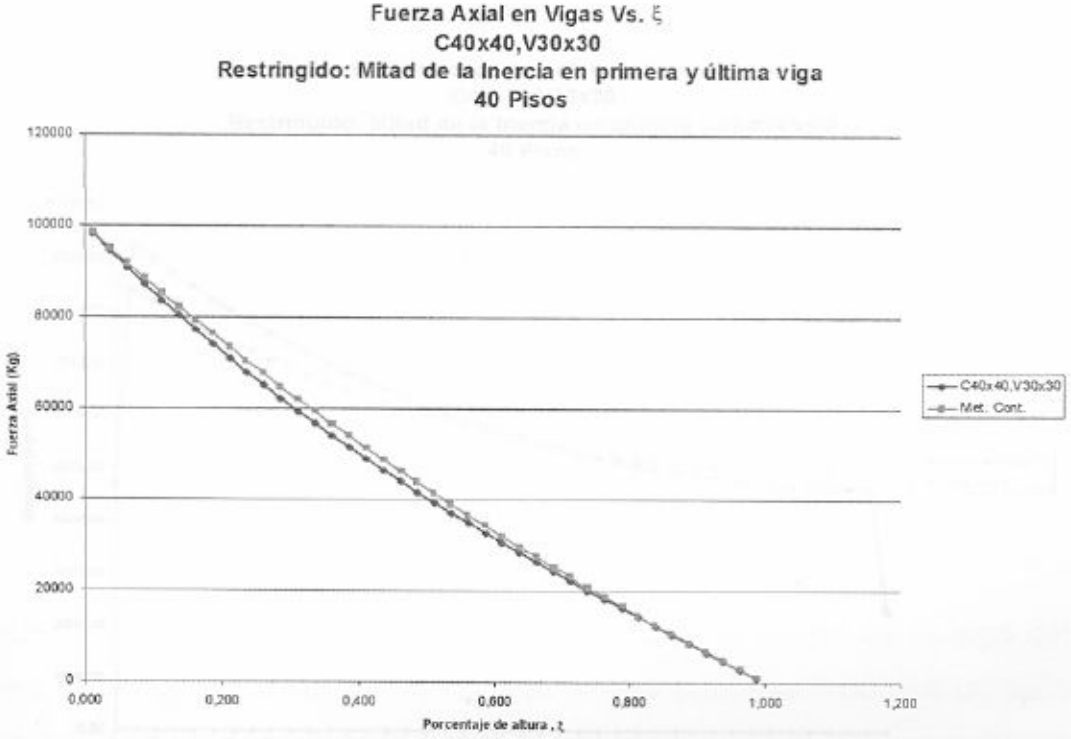
El caso en cuestión fue un pórtico con la mitad de la inercia tanto en la viga base como en la del tope, de esta forma se comprobaría que tanto sufre una estructura al disminuir la sección de la viga de riostra como la del tope para los efectos de un mismo asentamiento diferencial.

Los resultados se presentan como prueba de que **toda estructura, además de tratar de tener dimensiones que le confieran un cierto grado de simetría, debe tener también una buena viga de riostra, ya que ésta disminuye los esfuerzos que se producen en los elementos estructurales al absorber un importante porcentaje de la carga inicial, contribuye a disminuir los asentamientos diferenciales al interconectar las bases haciendo que se mueva como un cuerpo rígido y mejora considerablemente su comportamiento, proporcionando un mejor ajuste entre las ecuaciones del método del continuo y los resultados matriciales.**

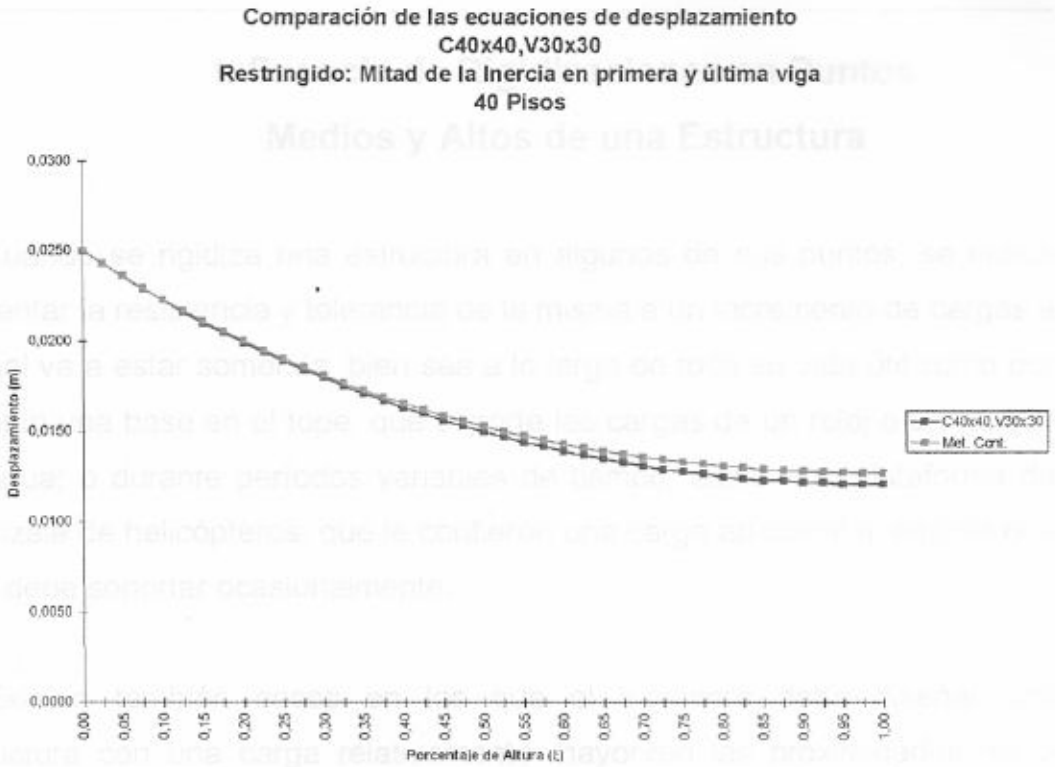
Destaca la presencia de unos picos al principio y al final de la gráfica que surgen como respuesta a la falta de rigidez en la base y en el tope, generando esfuerzos nada despreciables a la hora del diseño.



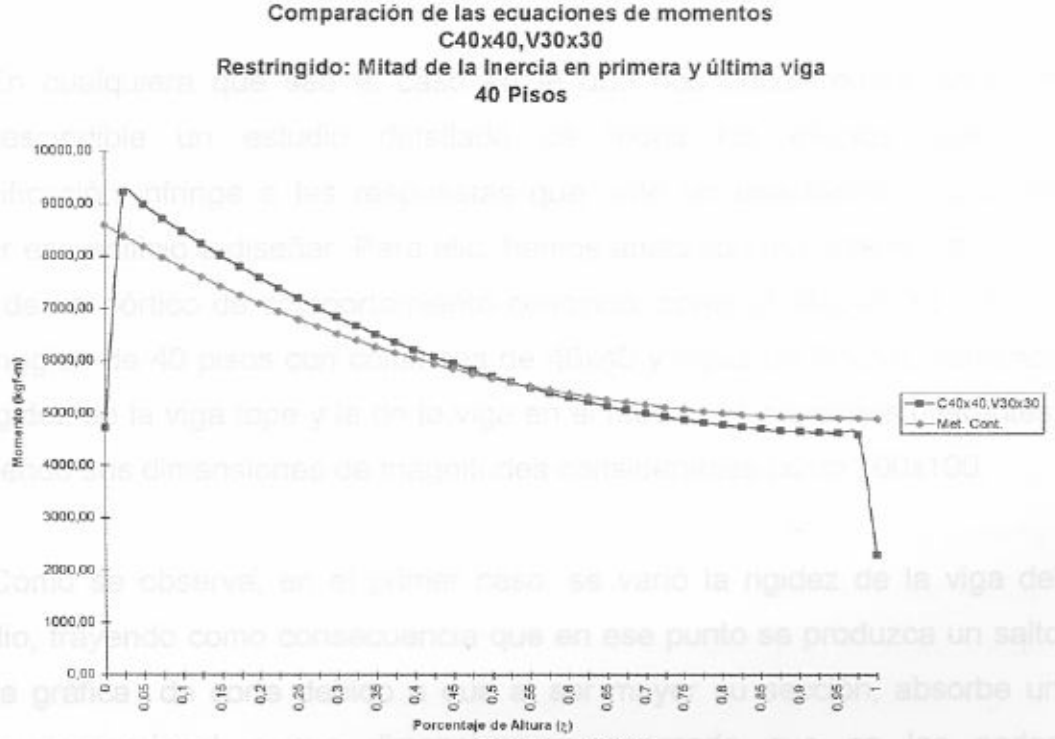
Gráfica 12.1.



Gráfica 12.2



Gráfica 12.3



Gráfica 12.4

Influencia de Rigidizaciones en Puntos Medios y Altos de una Estructura

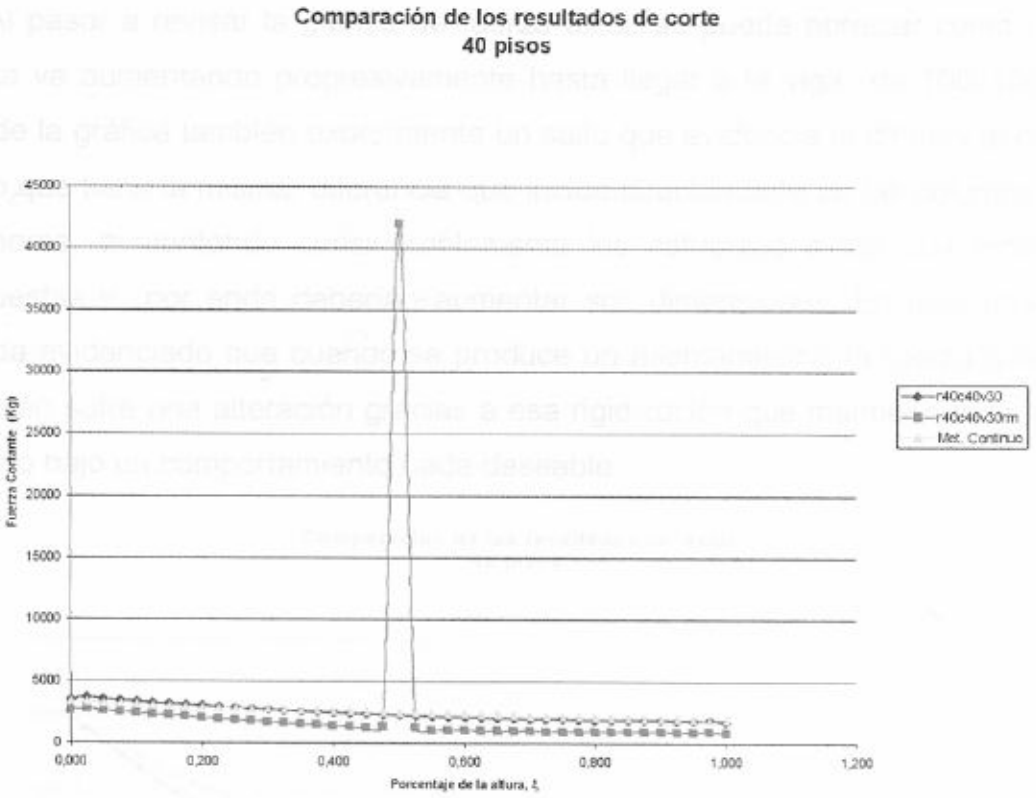
Cuando se rigidiza una estructura en algunos de sus puntos, se busca aumentar la resistencia y tolerancia de la misma a un incremento de cargas a la cual va a estar sometida, bien sea a lo largo de toda su vida útil como por ejemplo una base en el tope, que soporte las cargas de un reloj o un tanque de agua; o durante períodos variables de tiempo, como una plataforma de aterrizaje de helicópteros, que le confieren una carga adicional al edificio que éste debe soportar ocasionalmente.

Existen también casos en los que el ingeniero debe diseñar una estructura con una carga relativamente mayor en las proximidades de la mitad de la altura de la estructura, bien sea porque ese piso será destinado a la instalación de maquinaria, a un gran depósito de productos con un peso considerable o por simples motivos arquitectónicos con fines decorativos.

En cualquiera que sea el caso en el que nos encontremos, se hace imprescindible un estudio detallado de todos los efectos que esa modificación infringe a las respuestas que ante un asentamiento pudiese tener ese edificio a diseñar. Para ello, hemos analizado dos casos: haciendo uso de un pórtico de comportamiento conocido, como el r40c40v30 (pórtico restringido de 40 pisos con columnas de 40x40 y vigas de 30x30), variamos la rigidez de la viga tope y la de la viga en el medio en ocasiones diferentes, haciendo sus dimensiones de magnitudes considerables como 100x100.

Como se observa, en el primer caso, se varió la rigidez de la viga del medio, trayendo como consecuencia que en ese punto se produzca un salto en la gráfica de corte debido a que al ser mayor su sección, absorbe un corte proporcional a sus dimensiones, generando que en los nodos adyacentes al mismo exista un incremento en el corte que supuestamente

deberían soportar estas vigas. Sin embargo, gracias a la capacidad de esta viga de dimensiones mayores, el corte que soportan las demás vigas a la hora del asentamiento es menor al que absorberían si no existiera la viga de 100x100.

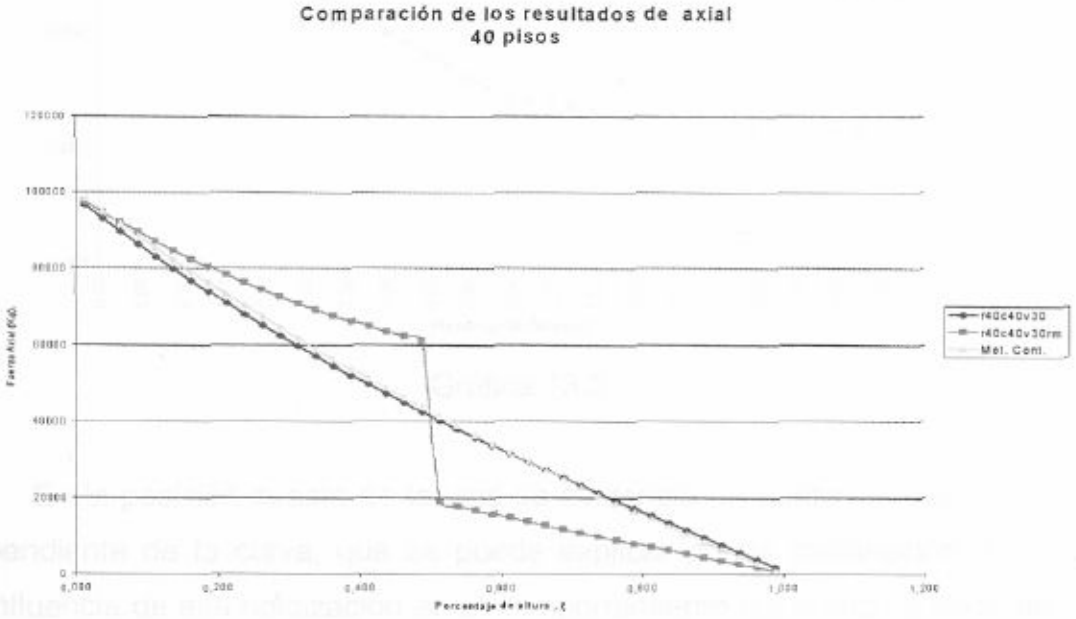


Gráfica 13.1

Este incremento desmesurado, como se aprecia en la gráfica, da como primera conclusión que el estudio que se requiere para la implantación de un elemento estructural de dimensiones mucho mayores a los demás debe ser mucho más detallado, ya que éste desvía el normal desenvolvimiento de la estructura a la hora de un asentamiento diferencial. Además, los elementos estructurales cercanos a esta rigidización representada por la viga, están obligados a tener un mayor grado de resistencia y diseño producto de la influencia de esta viga dentro del sistema.

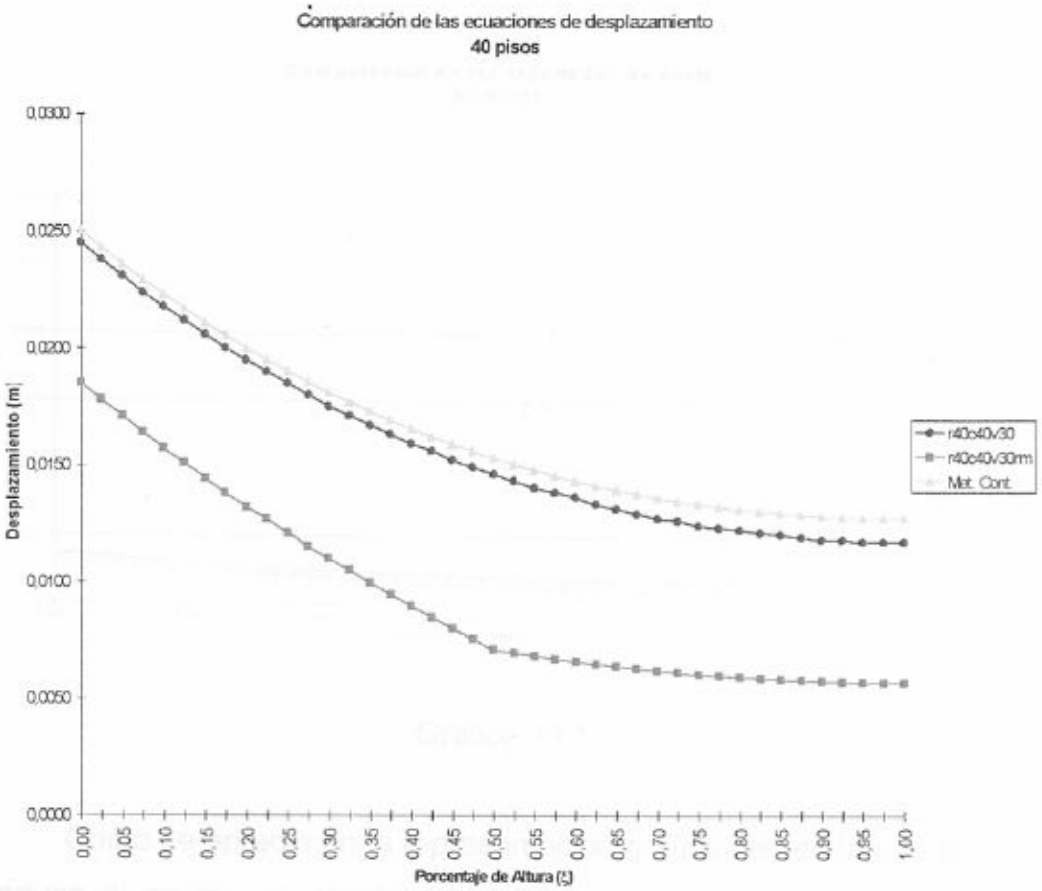
Las ecuaciones del método del continuo sólo describen el comportamiento de estructuras aporticadas de dimensiones constantes, por lo que se hace imposible tratar de determinar la conducta de la estructura mediante este procedimiento.

Al pasar a revisar la gráfica de fuerza axial, se puede apreciar como la carga va aumentando progresivamente hasta llegar a la viga de 100x100, donde la gráfica también experimenta un salto que evidencia la diferencia de peso que tiene la misma, diferencia que incide directamente en las columnas inferiores, aumentando considerablemente los esfuerzos a los que están expuestas y por ende deberían aumentar sus dimensiones. En todo caso queda evidenciado que cuando se produce un asentamiento, la fuerza axial también sufre una alteración gracias a esa rigidización que mantiene todo el pórtico bajo un comportamiento nada deseable.



Gráfica 13.2

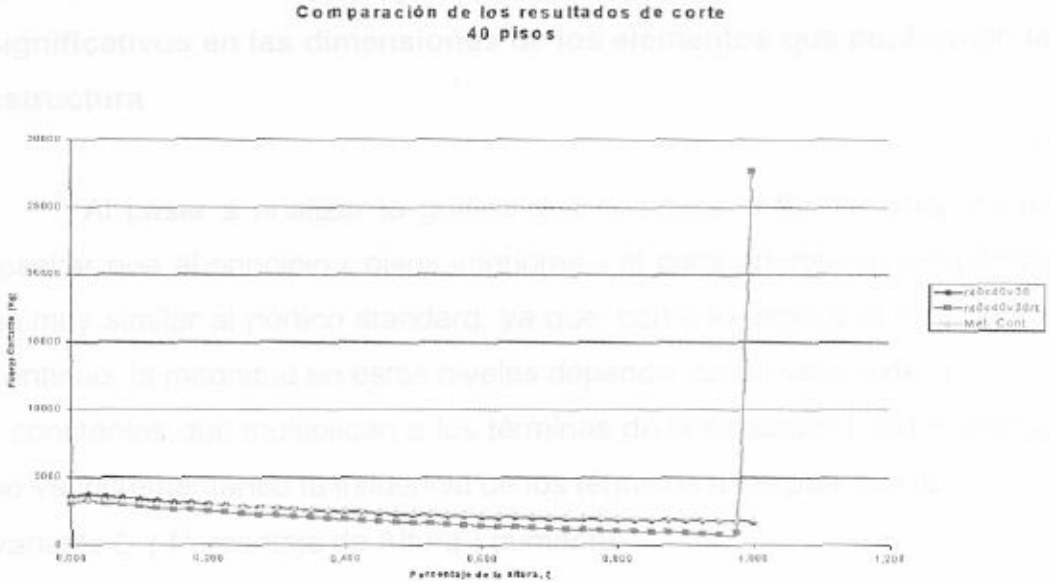
Cuando pasamos a comparar los desplazamientos, se mantiene aproximadamente la misma tendencia que tendría sin la rigidización, pero desplazada hacia abajo como respuesta a la resistencia lógica que le impone la inercia de la misma al desplazamiento.



Gráfica 13.3

En la posición exacta de la viga se evidencia un punto de cambio de pendiente de la curva, que se puede explicar por la disminución de la influencia de esa rigidización en el comportamiento del pórtico a partir de ese punto; lo que hace que su desarrollo sea casi paralelo al caso normal (sin la viga de 100x100).

El estudio del caso de la rigidización en el tope se hace de forma similar. Comenzaremos con la comparación de las gráficas de Corte para el caso normal y la rigidización en el tope.



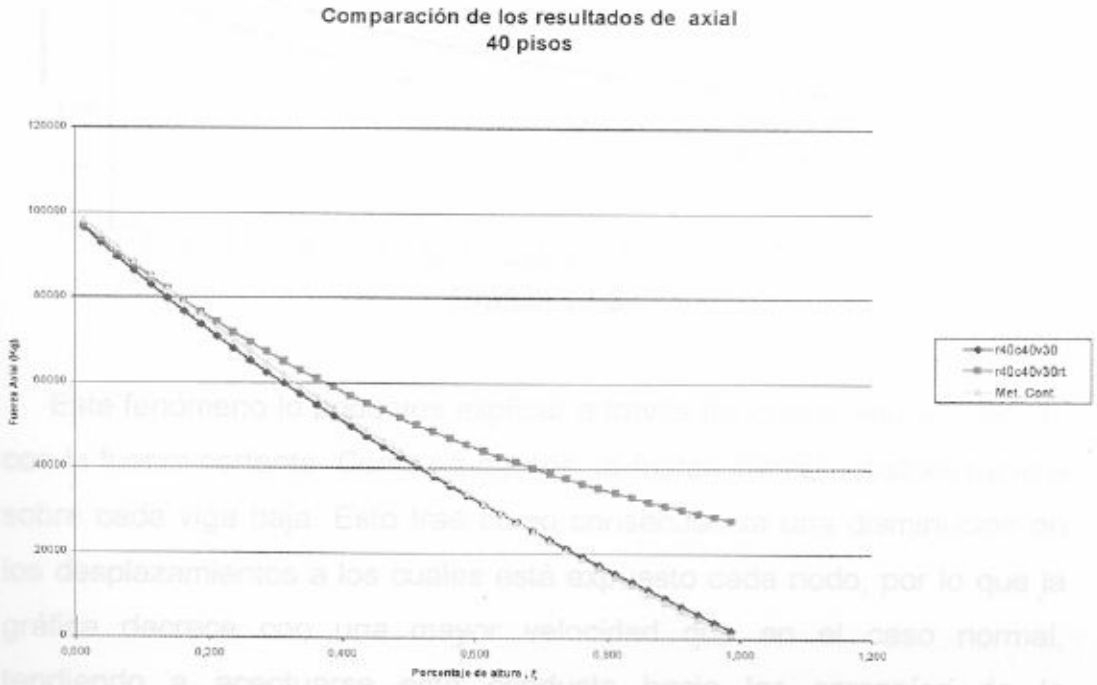
Gráfica 14.1

Como se aprecia en la representación gráfica del fenómeno que se produce al ocurrir un asentamiento en una estructura rigidizada en el tope, se genera una disminución en el corte que le tocaría a cada columna como consecuencia del que absorbe esa primera viga, que como se puede notar, es una cantidad muy grande en comparación con la conducta normal del pórtico (r40c40v30).

A partir de la superposición de las tres ecuaciones representadas arriba se puede establecer que una estructura que posea una rigidización en el tope es muy sensible a asentamientos diferenciales, ya que al existir este fenómeno, ese nodo recibirá un corte de una magnitud desmesurada que puede hacer colapsar la estructura si no se toman las precauciones

pertinentes a la hora de diseñarla. Por otro lado, se corrobora la afirmación hecha anteriormente de que **toda estructura irregular, presenta una conducta atípica que incrementa los riesgos de daño de la misma ante la presencia de un asentamiento diferencial. Conducta que no puede ser descrita a través de las ecuaciones del método del continuo, ya que éste no contempla cambios significativos en las dimensiones de los elementos que conforman la estructura**.

Al pasar a analizar la gráfica que compara la fuerza axial, es de resaltar que al principio (pisos inferiores) el comportamiento del pórtico es muy similar al pórtico standard, ya que, como lo explica el método del continuo, la magnitud en estos niveles depende de un valor externo (constantes que multiplican a los términos de la ecuación), sin embargo se va incrementando la influencia de los términos a medida que la variable ξ (Porcentaje de Altura) aumenta.



Gráfica 14.2

Era de esperarse que la fuerza axial sobre cada columna sufriera un aumento, por causa de la disminución que se aprecia en los valores de fuerza cortante para cada columna. Dicho de otra forma, al disminuir el valor de la fuerza producida por las vigas, que se opone al movimiento inducido por el asentamiento, la magnitud que va quedando de fuerza axial que se transmite de columna en columna es cada vez mayor.

Finalmente, al observar la gráfica de desplazamientos, se puede ver que la magnitud de los mismos es mucho menor y que a medida que incrementamos la altura, la velocidad con la que estos desplazamientos disminuyen es menor.

Gráfica 14.3

Este fenómeno lo podemos explicar a través de lo que está ocurriendo con la fuerza cortante. Como ya dijimos, la fuerza cortante que se genera sobre cada viga baja. Esto trae como consecuencia una disminución en los desplazamientos a los cuales está expuesto cada nodo, por lo que la gráfica decrece con una mayor velocidad que en el caso normal, tendiendo a acentuarse esta conducta hacia las cercanías de la rigidización en el tope.

Estudio de Asentamientos en Pórticos de Acero

El estudio del comportamiento de estructuras de acero frente a asentamientos diferenciales constituye uno de los puntos más relevantes de este trabajo, ya que se trata de analizar y comparar los datos matriciales provenientes del SAP2000 PLUS con los que se originan de aplicar las ecuaciones del método del continuo.

Lograr corroborar alguna ventaja constructiva entre el acero y el concreto, frente al complejo proceso que sigue una estructura al producirse el asentamiento no es una tarea nueva; todo lo contrario, lo que se intenta lograr es demostrar, a través del análisis matemático de los resultados, que todo lo tomado como cierto también puede explicarse mediante la utilización de las ecuaciones del método del continuo.

Para alcanzar este objetivo, examinaremos dos estructuras con la misma configuración geométrica, pero construidas una de acero y la otra de concreto, por ejemplo:

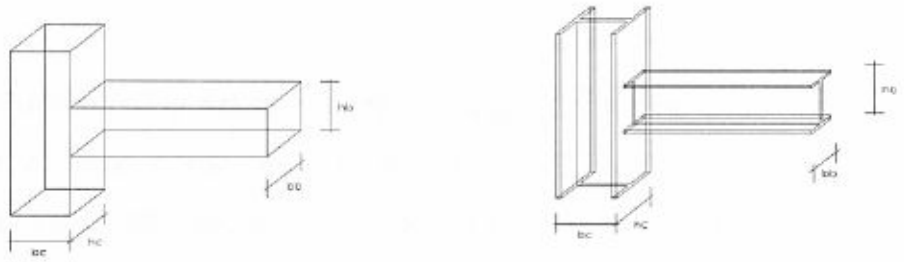


Figura 15.

Tomando arbitrariamente dimensiones perimetrales de columna y de viga, hallaremos el parámetro adimensional λ para cada estructura. La que tenga el λ más elevado es la que atenúa los esfuerzos, corte,

momento y fuerza axial con mayor rapidez a la vez que restringe con mayor eficacia el desplazamiento.

Cuando nos referimos a dimensiones perimetrales, estamos hablando de las medidas externas de las secciones. Por ejemplo, para un perfil IPN 180, sus medidas son 82x180 (base x altura en mm).

Para tener la certeza de que la conclusión a la que se llegase tuviera base suficiente, se compararon alrededor de 30 estructuras conformadas por columnas y vigas de secciones totalmente distintas. De esta gama de estructuras, se han escogido tres, presentando el procedimiento seguido para la determinación y comparación de λ.

Como todos sabemos, la fórmula de λ es la que se presenta a continuación:

$$\lambda^2 = \eta \cdot \frac{L^2}{A_c . E_c} \cdot \sum \frac{I_b . E_b}{h . v^3}$$

Pues bien, al estar evaluando λ para un mismo caso, las variables η, L, h y v son constantes, E_b es igual a E_c por estar trabajando con estructuras construidas en un solo material, siendo sólo Iv y Ac las que son características de cada una, ya que dependen del material con el que estamos trabajando (Iv y Ac no son iguales en concreto y acero). De esta manera, la ecuación de λ será reescrita para este caso como:

$$\lambda^2 = \Omega . \sum \frac{I_b}{A_c}$$

- *I Caso*

Columna 40x30 y Viga 30x30 en Concreto
Columna HEB 400 y Viga HEB 300 en Acero

$\lambda_c = (7,5).\Omega$ $\lambda_a = (11,28).\Omega$

- *II Caso*

Columna 70x30 y Viga 40x30 en Concreto
Columna HEB 700 y Viga HEB 400 en Acero

$\lambda_c = (6,54).\Omega$ $\lambda_a = (13,73).\Omega$

- *III Caso*

Columna 50x30 y Viga 70x30 en Concreto
Columna HEB 500 y Viga HEB 700 en Acero

$\lambda_c = (10,25).\Omega$ $\lambda_a = (32,79).\Omega$

De los resultados anteriormente presentados podemos deducir que **a igualdad de condiciones de pórticos de acero y concreto, λ aumenta considerablemente más en acero que en concreto, por el hecho de que la relación:**

$$\left(\frac{I_b}{A_c}\right)$$

es mayor, de manera que se hace menos sensible una estructura de acero que una de concreto a la hora de sufrir un asentamiento.

Si se diseña en condición semi-articulada la estructura de acero (procedimiento usualmente utilizado), equivale a disminuir la inercia de la viga y por ende η (factor asociado al grado de rigidez de la estructura), por lo que la estructura se comportaría aproximadamente igual a una de concreto.

Explicación Analítica de la Fórmula del Método del Continuo para Momentos

A partir de la ecuación por medio de la cual se calcula la deflexión inducida por una fuerza concentrada f, aplicada al extremo libre de la viga empotrada (Ec. 3), podemos hallar la ecuación de momentos, que se encuentra implícita en ésta:

$$z = \frac{f.v^3}{\eta E_b I_b}$$

Reagrupando la ecuación:

$$z = f.v.\left(\frac{v^2}{\eta E_b I_b}\right)$$

Sabemos que f.v es igual al Momento en el extremo, por lo que al despejar nos queda:

$$M = \phi.z.\left(\frac{\eta E_b I_b}{v^2}\right) \qquad (15)$$

Donde:

z =	Desplazamiento de la conexión viga-columna
E_b =	Módulo de Elasticidad de la viga
I_b =	Inercia de la viga
v =	Longitud del vano
η=	Variable asociada a la rigidez de la conexión viga columna
ø =	Parámetro asociado a las dimensiones de los elementos (no guarda relación demostrada con λ)

Lo anterior, señala que ya se cuenta con una forma de calcular los momentos que se producen en la columna y que lo único que falta es establecer la ecuación que determine el valor de ϕ para cada caso.

Está comprobada la ubicación de las variables. Se conoce que guarda una relación proporcional con las dimensiones de columna e inversa con la longitud del vano, longitud de entrepiso, dimensiones de la viga y altura del pórtico.

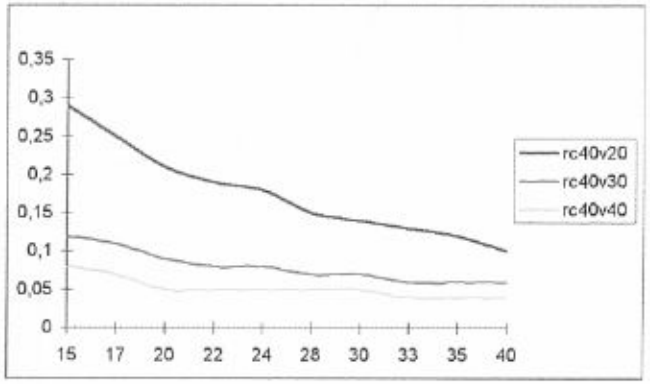
En otras palabras, ya se tiene la ubicación de las variables que influyen en ϕ pero no se ha logrado encontrar la operación matemática que las relacione, de tal manera de obtener el valor de ϕ necesario para ajustar la curva del método del continuo a la producida por el matricial.

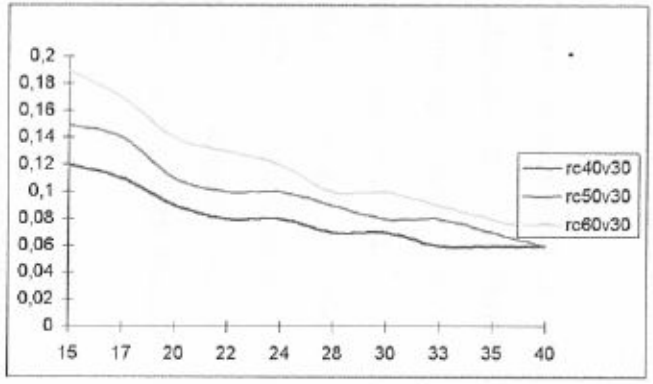
De esta forma, la ecuación del Método del Continuo para Momentos queda de la siguiente manera:

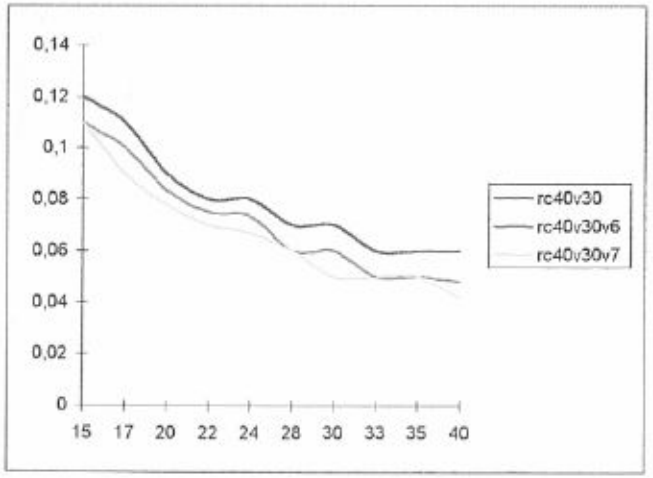
$$M(\xi) = -\phi\left(\frac{\eta FoLE_b I_b}{v^2 A_c E_c}\right)\left(\frac{e^{-\lambda.\xi}}{\lambda} + \frac{e^{-\lambda}.\xi^2}{2} + \frac{e^{-\lambda}}{\lambda^2}\right) \qquad (16)$$

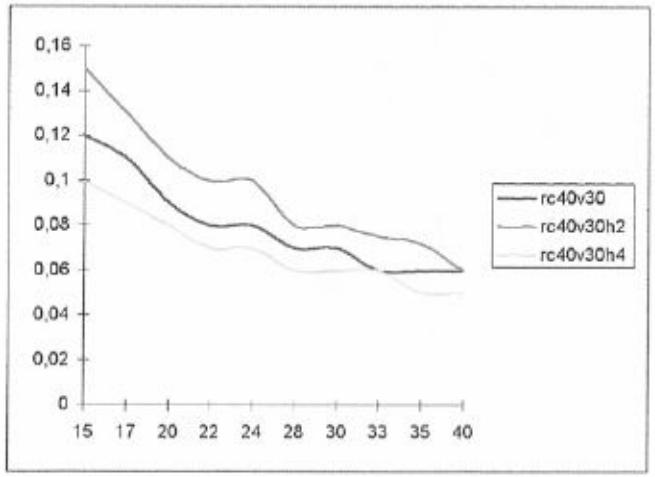
Verificación Gráfica de la Influencia de las Dimensiones de la Estructura en el Coeficiente ϕ

Pisos	rc40v20	rc40v30	rc40v40	rc40v30	rc50v30	rc60v30	rc40v30	rc40v30v6	rc40v30v7	rc40v30	rc40v30h2	rc40v30h4
15	0,29	0,12	0,08	0,12	0,15	0,19	0,12	0,11	0,11	0,12	0,15	0,1
17	0,25	0,11	0,07	0,11	0,14	0,17	0,11	0,1	0,09	0,11	0,13	0,09
20	0,21	0,09	0,05	0,09	0,11	0,14	0,09	0,0835	0,078	0,09	0,11	0,08
22	0,19	0,08	0,05	0,08	0,1	0,13	0,08	0,075	0,07	0,08	0,1	0,07
24	0,18	0,08	0,05	0,08	0,1	0,12	0,08	0,0735	0,067	0,08	0,1	0,07
28	0,15	0,07	0,05	0,07	0,09	0,1	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06
30	0,14	0,07	0,05	0,07	0,08	0,1	0,07	0,06	0,05	0,07	0,08	0,06
33	0,13	0,06	0,04	0,06	0,08	0,09	0,06	0,05	0,05	0,06	0,075	0,06
35	0,12	0,06	0,04	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,072	0,05
40	0,1	0,06	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,048	0,042	0,06	0,06	0,05



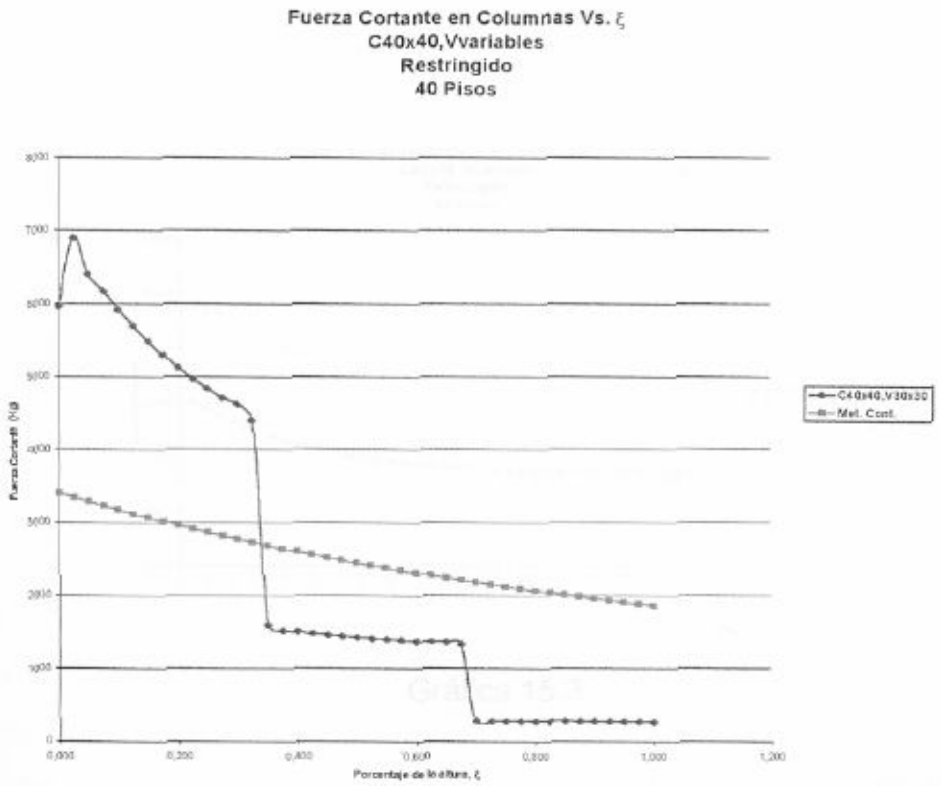




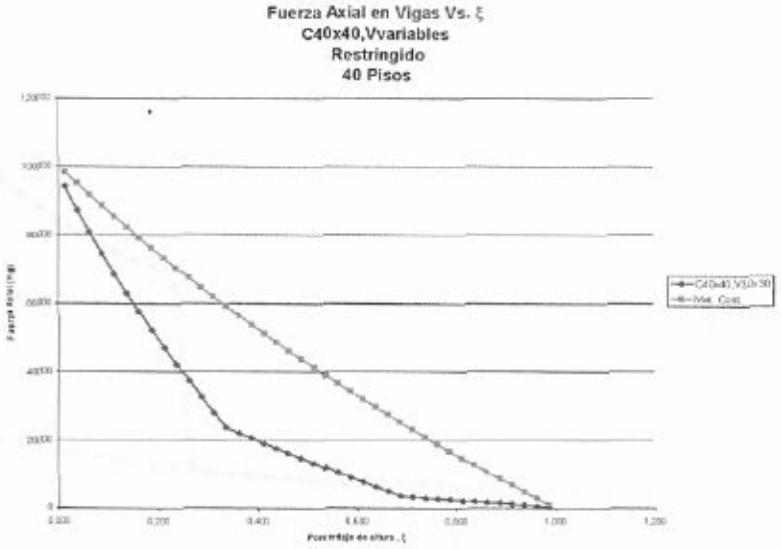


Influencia de la Variación de Secciones de los Elementos Estructurales del Pórtico

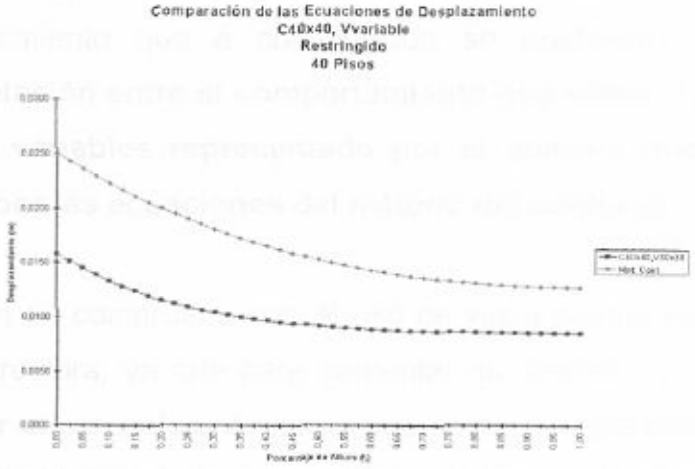
Para dar por sentado que una variación en las dimensiones de los elementos estructurales que conforman la estructura produce un comportamiento atípico y nada uniforme, se creó un pórtico de 40 pisos (120 metros), de columnas de sección 40x40 y de vigas que iban disminuyendo con la altura, desde unas dimensiones de 40x40 hasta llegar a 20x20. La variación de la sección de las vigas se hizo de manera uniforme con la longitud, es decir, se asignaron 14 vigas con una sección 40x40, 13 con una sección 30x30 y 13 con una sección de 20x20.



Gráfica 15.1

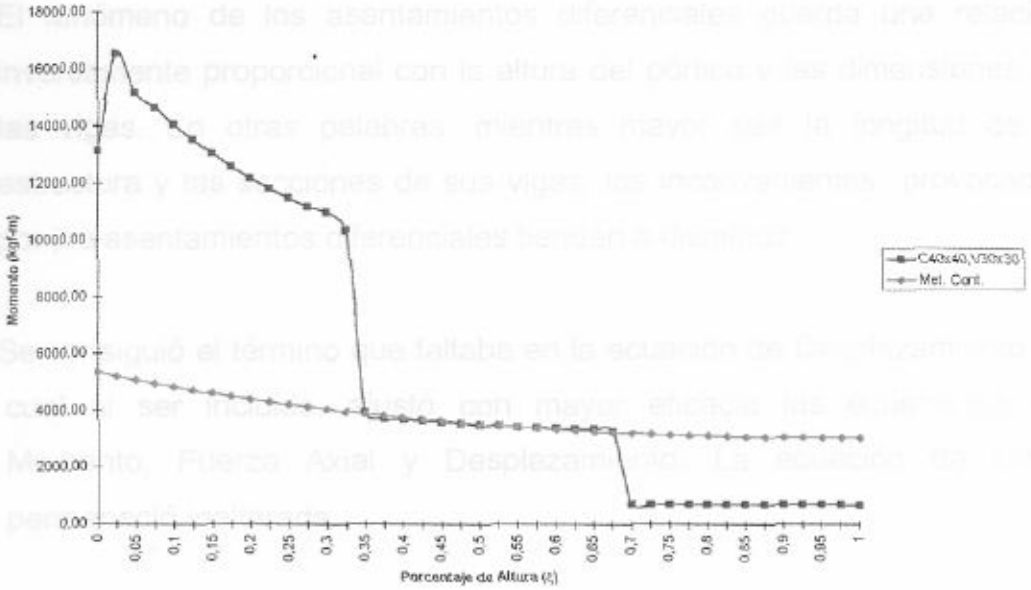


Gráfica 15.2



Gráfica 15.3

Comparación Gráfica de Momentos provenientes del Met. Matricial vs Met. Continuo
C40x40,Vvariable
Restringido
40 Pisos



Gráfica 15.4

Como lo demuestran las gráficas de Fuerza Axial, Corte, Momento y Desplazamiento que a continuación se presentan, **no existe ninguna relación entre el comportamiento que sigue el pórtico de secciones variables representado por el análisis matricial y el generado por las ecuaciones del método del continuo.**

También se comprueba que el uso de vigas planas es perjudicial en una estructura, ya que para aumentar su resistencia se requiere incrementar el porcentaje de acero que posee, lo que eventualmente producirá el colapso de la misma. Para ilustrar la idea tomaremos el ejemplo de una tabla de madera a la cual se le comienzan a meter clavos, la rigidez de la misma comienza a crecer hasta que llega un momento en el que se rompe, este fenómeno es el mismo que pasa con las vigas planas al elevar el porcentaje de acero permitido por la norma.

Conclusiones y Recomendaciones

- El fenómeno de los asentamientos diferenciales guarda una relación inversamente proporcional con la altura del pórtico y las dimensiones de las vigas. En otras palabras, mientras mayor sea la longitud de la estructura y las secciones de sus vigas, los inconvenientes provocados por los asentamientos diferenciales tienden a disminuir.

- Se consiguió el término que faltaba en la ecuación de Desplazamiento, el cual al ser incluido, ajustó con mayor eficacia las ecuaciones de Momento, Fuerza Axial y Desplazamiento. La ecuación de Corte permaneció inalterada.

- Se demostró que las ecuaciones pueden usarse indistintamente para el grado de rigidez del pórtico con solo modificar el parámetro relacionado a la rigidez del mismo (η), que varía de 3 (para el caso articulado) a 6 (para el caso rígido).

- Un edificio optimizado para sismo es, a la vez, óptimo para asentamientos diferenciales. La razón de ello reside en que cuando se diseña para sismo, se asume que al presentarse el mismo, se generarán unos momentos en los nodos que serán absorbidos en gran parte por las dimensiones y arriostramientos dados a los elementos estructurales, que al deformarse, mitigarán el efecto de los momentos y esfuerzos producidos por el sismo. Al ocurrir un asentamiento, también aparecen unos momentos en los nodos producto de la misma deformación de la estructura, que al estar diseñada para sismo, es capaz de absorber un buen porcentaje éstos y restringir los desplazamientos gracias al refuerzo con que cuenta la estructura.

- En terrenos constituidos por rellenos o materiales de baja resistencia al corte, se recomienda la construcción de edificios en lugar de quintas, ya que a partir de lo observado en las ecuaciones y corroborado en las gráficas, la disminución de los efectos tiene una tendencia exponencial que es proporcional á la longitud, es decir, mientras más grande es la altura del pórtico mayor es la velocidad con la que éstos desaparecen de la estructura debido a que la longitud de atenuación es menor.

- A la hora de adquirir un apartamento, es recomendable estar consciente de que los pisos más bajos son los que más sufren al ocurrir un asentamiento, ya que éstos son los pisos más afectados en una estructura expuesta al fenómeno, consecuencia derivada de la atenuación de los efectos explicada anteriormente.

- La viga de riostra es el elemento principal a diseñar a la hora de tomar en cuenta los asentamientos. Como lo comprueban los cálculos y las gráficas, la viga de riostra absorbe una porción considerable de la carga producida por el asentamiento, logrando disminuir los daños a todo lo largo del pórtico al proporcionarle al inicio de la estructura una mayor rigidez, lo que limita los desplazamientos a los cuales está expuesto y le da una mayor estabilidad.

- Evitar, en la medida de lo posible, la construcción de estructuras de vigas planas, pocos pisos y formas caprichosas; formas muy comunes en casas lujosas, ya que la longitud de atenuación es directamente proporcional a la inercia de las vigas. Se demostró que el utilizar vigas planas hace que la cantidad de acero que necesitan para resistir las solicitaciones aplicadas sea mayor, situación que hace disminuir su rigidez y empeora su respuesta a la hora del asentamiento. Existen casos en Caracas en donde ha sido comprobada la veracidad de esta afirmación, al analizar las causas que llevaron al colapso de la estructura.

- Evitar la construcción de estructuras que tengan una dirección predominante en la rigidez de los pórticos, porque se crea una estructura muy resistente a asentamientos en una dirección pero muy débil en la otra.
- Quedó demostrado que a igualdad de condiciones para pórticos de acero y concreto, el valor de λ es mayor en la construida de acero, lo que la hace menos sensible a asentamientos. Si ésta se diseña en condición semi-articulada (lo más común) equivale a disminuir la inercia de la viga paralelamente con η, razón por la cual tiene un comportamiento muy parecido a una estructura de concreto.
- Toda rigidización de la estructura, bien sea en el tope, punto medio o a una altura cualquiera, genera unos esfuerzos considerablemente mayores, lo que trae como consecuencia una sensibilización del pórtico en esos puntos, siendo más propenso al colapso por asentamiento o sismo si no se toman las medidas pertinentes que solventen el problema.
- Para el análisis y la comprensión de cualquier situación o evento en pro de la búsqueda de su solución, siempre es de gran ayuda tratar de observar, si se puede, el desarrollo o comportamiento físico de las variables que intervienen en el proceso; para así conocer cómo se puede inhibir o promover la influencia de unas en función de las otras, con la finalidad de llegar a una situación mucho más simple y manejable.
- Con respecto al parámetro η, se puede decir que no solo depende del tipo de juntas con las cuales se diseña el pórtico, sino que también depende de un parámetro K que relaciona las rigideces de los miembros que conforman dicho pórtico, ya que para ciertas configuraciones se comportan de manera distinta a la esperada.

- Se encontró que existe un rango de valores de K para los cuales los pórticos aumentan considerablemente su sensibilidad frente a los asentamientos diferenciales. Por otra parte si una estructura diseñada con juntas rígidas se encuentre entre los valores de K antes mencionados siguen una conducta diferente para las cuales fueron concebidas, llegando incluso a comportarse como una estructura con juntas articuladas.

Blibliografía.

- " A Short Equation to Predict the Structural Consequences of Differential Column Settlements in Framed Buildings ".

Mario Paparoni M.

Congreso de Chicago. Council for Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). Committee 24.1996.

- " Aplicación de Parámetros Adimensionales y Funciones Continuas al Problema de los Asentamientos Diferenciales en Estructuras Aporticadas".

Paparoni M., Mario; Bonato P., Miguel Angel.

IV Congreso de Cálculo Numérico, Maracaibo, Venezuela, Noviembre de 1994.

- " Desarrollo de la Ecuación del Método del Continuo para el Caso de Asentamientos Diferenciales ".

Bonato Parenti, Miguel Angel. Tutor: Mario Paparoni M.

Universidad Metropolitana , Caracas, mayo de 1994, Trabajo Especial de Grado.

- " Dimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado ".

Paparoni M., Mario. Ediciones Sidetur. 1991.

- " Manual para el Cálculo de Edificios ". Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales. 1959.