

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA R_R Y
DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS
SÍSMICAS”**

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

HECTOR OSWALDO BERNAL DÍAZ

SANGOLQUÍ, ABRIL del 2008

CAPÍTULO I

FACTOR DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SISMICAS

RESUMEN

El presente capítulo analiza el factor de reducción de fuerzas sísmicas su incidencia en el medio estructural y como afecta a la seguridad en las edificaciones. Se realiza una descripción del Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000, en cuanto al factor de Reducción. Se analiza el factor de reducción por ductilidad R_{μ} , por sobre resistencia R_s y por redundancia R_R . Se incluye también la importancia del estudio de éste factor. Se analiza el efecto del factor $P\Delta$ y la orientación que da el CEC 2000 sobre el mismo.

1.1 DEFINICIÓN:

Antes de analizar el factor de reducción de fuerzas sísmicas R realizaremos una breve descripción del espectro de respuesta con el cual trabaja el CEC-2000.

Tomando en consideración que el análisis sísmico es de suma importancia para el análisis estructural de edificaciones, esto se ha convertido en una necesidad para el estudio de espectros de variación que se crean por la acción de causa y efecto que generan los sismos en la estructura. Básicamente los espectros que se consiguen es gracias a la obtención de los sismos más fuertes que se tienen registrados en una base de datos, a éstos se los denomina elásticos. Para el diseño estructural de edificaciones se trabaja con espectros inelásticos, debido a que al trabajar con espectros elásticos se obtendrían secciones de vigas, columnas y elementos estructurales presentes en la edificación de grandes dimensiones esto tendría una gran resistencia y estabilidad de la estructura ante la presencia de fuerzas sísmicas, sin embargo resultaría demasiado alto su costo de construcción, por tal motivo se introduce un factor de reducción de fuerzas sísmicas R el cual reduce la intensidad que presenta el espectro elástico convirtiéndolo en un espectro inelástico y consecuentemente disminuyendo las secciones de los elementos estructurales presentes en la edificación reduciendo sus costos lo que facilita su construcción.

El estudio del factor de reducción de fuerzas sísmicas se ha convertido en causa de importantes estudios y profundas investigaciones con el fin de darle seguridad a la estructura y a los ocupantes de la misma.

El CEC -2000 valúa este factor con 10 para sistemas de pórticos espaciales sismorresistentes de hormigón armado de vigas descolgadas de acero laminado en caliente. Este factor se encuentra estimado en función de la ductilidad de la estructura, de la sobre-resistencia que presenta ésta y de la redundancia. Esto implica que si el valor de R es alto se debe a una ductilidad elevada en la estructura, además se debe considerar también la redundancia, la cual al ser superior también influirá en el incremento de este factor, lo que ocurre igualmente con la sobre-resistencia que presente la estructura

En definitiva se considera que el factor de reducción de fuerzas sísmicas influye sustancialmente en las dimensiones de los elementos estructurales como vigas y columnas, por lo tanto se debe establecer un valor que no sobreestime las secciones ni que las sobredimensione

1.2 COMPONENTES DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (R).

Como anteriormente mencionamos, el factor de reducción de fuerzas sísmicas se encuentra en función de la ductilidad, la redundancia y la sobre resistencia que presenta la estructura, siendo éstas características las que definen los tres factores que llevan los nombres de éstas propiedades. El factor de redundancia R_R es el tema central de estudio de la presente tesis el cual se detallará en lo posterior.

El Factor de Reducción por Ductilidad define el comportamiento dúctil de la estructura y se encuentra en función de la relación de F_e/F_y , siendo F_e la máxima fuerza lateral que se halla en el sistema considerando el comportamiento elástico y F_y la máxima fuerza lateral al considerar el comportamiento inelástico.

El Factor de Reducción por Sobre resistencia es la relación entre la capacidad al corte basal de la estructura V_u con relación al cortante de diseño V_d .

Finalmente tenemos el factor de Redundancia que es la relación entre V_u con respecto al cortante basal cuando se produce la primera rótula plástica V_1

Aduciendo a lo anterior, el factor de reducción de fuerzas sísmicas puede mostrarnos en base a análisis desarrollados, la cantidad de ductilidad que debe presentar la estructura para comportamientos eficaces ante la presencia de sismos fuertes

1.3 PRESENTACIÓN DEL CEC 2000.

Es de vital importancia definir la función que desempeña el Código Ecuatoriano de la Construcción en nuestro medio actual. Básicamente éste documento hace referencia a ciertas normas y parámetros que deben de cumplirse como requisitos mínimos básicos para el diseño.

El código Ecuatoriano de Construcción pretende prevenir daños en elementos estructurales ante sismos de pequeña, mediana y gran intensidad presentes en el Ecuador, que pueden generarse durante la vida útil de la estructura. Con la finalidad de prevenir la pérdida de vidas humanas y también el colapso inmediato de la edificación, se ha dictado una serie de normas que adaptan lo estipulado en otros códigos al nuestro. Además se hace referencia al estudio sísmico del país clasificándolo por diferentes zonas sísmicas, unas de mayor riesgo que otras.

El Ecuador se encuentra situado sobre una subducción de la placa de Nazca dentro de la placa Sudamericana y debido a esto existe gran generación de energía que al liberarse

produce sismos, por cuya razón no se debe de subestimar el factor de reducción de fuerzas sísmicas.

La zona sísmica donde será edificada la estructura, el tipo y características de suelo, el uso, destino e importancia que tenga la obra, y la configuración estructural a utilizarse se consideran como requisitos y procedimientos del Código Ecuatoriano de la Construcción.

A continuación se detallará los diferentes tipos de perfiles de suelo, los cuales generan un comportamiento único en la estructura, por lo tanto es necesario detallar su composición, es así que tenemos:

- Perfil tipo S1: Formado por Roca o suelo firme, es decir corresponden a rocas y suelos endurecidos con períodos fundamentales de vibración menores a 0,20s.

Sus tipos de suelo son:

- Roca sana o parcialmente alterada, con resistencia a la compresión no confinada mayor o igual a 5 Kg/cm².
 - Gravas arenosas, limosas o arcillosas, densas y secas.
 - Suelos cohesivos duros con resistencia al corte en condiciones no drenadas mayores a 1 Kg/cm²
 - Arenas densas con número de golpes SPT > 50
 - Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados
- Perfil tipo S2: Son suelos que no están dentro de los suelos de tipo S1 y tampoco los suelos tipo S3, es decir son intermedios.

- Perfil tipo S3: Constituyen suelos cuyo período de vibración son mayores a 0.6s, también llamados suelos blandos o estratos profundos.

En la tabla 1.1. podemos ver los espesores de los diferentes estratos de suelos cohesivos

Tabla 1.1. Espesor del estrato para suelos cohesivos

Suelos cohesivos	Espesor del estrato (m)
Blandos	> 20
Semiblandos	> 25
Duros	> 40
Muy duros	> 60

- Perfil tipo S4: Son suelos con alto potencial de licuefacción, colapsibles y sensitivos; rellenos colocados sin control ingenieril, también conocidos como especiales de evaluación del suelo; a éste grupo también pertenecen las arcillas y limos de alta plasticidad, con un índice de plasticidad mayor a 75, también pertenecen las arcillas suaves y medio duras con espesor mayor a 30m. Los perfiles para éste grupo comprenden los suelos altamente compresible y donde las condiciones geológicas o topográficas son desfavorables.

El CEC-2000 toma en cuenta 4 zonas sísmicas de donde se establece el factor de zona Z que presenta los valores de: 0.15, 0.25, 0.30 y 0.40 como se muestra en la tabla 1.2, los cuales corresponden a la zona uno, dos, tres y cuatro respectivamente. El mapa de zonas sísmicas nace de un estudio de peligros sísmicos presentes en Ecuador que se pueden ver en la figura 1.1.

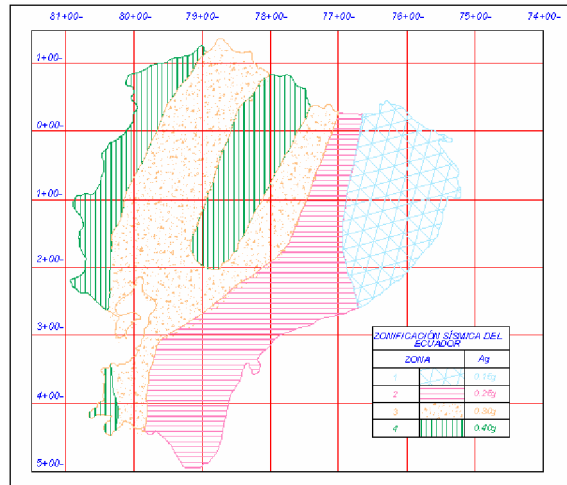


Figura 1.1 Zonificación Sísmica del Ecuador

Tabla 1.2 Valores Factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0,15	0,25	0,30	0,40

Para definir el factor de reducción de respuesta R, el Código Ecuatoriano de la Construcción, toma varias recomendaciones de códigos internacionales como el UBC-94 (Uniform Building Code) y UBC-97, en los cuales se agrupan varios aspectos referentes a materiales y realidades constructivas de Estados Unidos y se los adaptado a la realidad del Ecuador.

El factor R cuyos valores se presentan en la tabla 1.3 tiene mucha importancia en el cálculo del corte basal de diseño, ya que este será aplicado en la estructura en una dirección dada, y se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_E} \tag{1.1}$$

En la ecuación 1.1 se definen los parámetros que conforman el cortante basal, siendo:

Z: la zona sísmica donde se edificará la estructura, expresado en la tabla 1.2.

I: la importancia de la estructura que está en función de la categoría a la que pertenece la edificación y también al tipo de uso que se le dará, un ejemplo de esto estructuras con funcionalidad hospitalaria y de viviendas, el factor de importancia presenta valores de

1.5, 1.3 y 1, el primero para hospitales, instalaciones militares, el segundo para iglesias, museos y el tercero para otras estructuras de edificación que no se encuentran tipificadas en el código.

R: Factor de reducción de Reducción de Fuerzas Sísmicas, expuesto claramente con anterioridad.

ϕ_P, ϕ_E : Son factores de configuración estructural en planta y elevación

C: Forma del espectro, expresado en la siguiente ecuación.

$$C = \frac{1,25 * S^S}{T}; C \geq 0.50 \quad (1.2)$$

En la ecuación 1.2 el S representa el coeficiente de suelo, el cual está en función del tipo de perfil de suelo, cuyos valores son expresados para el tipo de perfil del suelo S1= 1, S2=1.2, S3= 1.5 y S4=2, T representa el período de vibración de la estructura.

Tabla 1.3 Coeficientes de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado.	12
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado.	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras	10
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras	9
Sistemas de pórticos especiales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio	7
Estructuras de madera	7
Estructuras de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

En la tabla 1.3 se establecen los valores del factor de reducción de fuerzas sísmicas que señala el CEC-2000, las cuales se consideran sobreestimados, para lo cual se analizará en ésta tesis la obtención del factor R para la posterior comparación de valores expuestos en la tabla en mención para estructuras aporricadas de concreto.

1.4 FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD:

El factor de ductilidad ha sido el motivo de varias investigaciones entre las cuales podemos mencionar los trabajos realizados por Veletsos y Newmark (1960), quienes fueron los primeros en proponer un factor de reducción que vincularon los factores de respuesta o reducción de fuerzas sísmicas con los valores esperados de ductilidad global de desplazamientos, estando éstos en función con los rangos de períodos dentro de espectros de aceleraciones. Los autores compararon éstos espectros, el uno elástico y el otro inelástico y concluyeron que éstos mostraban iguales fuerzas para el rango de frecuencias altas, igual inercia absovida para el rango de frecuencias medias e iguales desplazamientos para frecuencias bajas, lo que permitió plantear los siguientes valores para el factor de ductilidad representados en la tabla 1.4:

Tabla 1.4. Características del factor R en función de la ductilidad

$R = 1$	Para $T = 0$
$R = \mu$	Para el rango de los períodos cortos.
$R = \sqrt{2\mu - 1}$	Para el rango de los periodos moderados
$R = \mu$	Para el rango de los períodos intermedios y largos

En la tabla 1.4 se define que R es el factor de reducción, μ la ductidad global y T es el período de la estructura.

Otra propuesta es la realizada por Nassar y Krawinkler (1992) los cuales emplearon un modelo elasto – plástico bilineal en el cálculo de la respuesta inelástica de un grado de libertad para diferentes grados de ductilidad global. Posteriormente en Vidic (1994) emplearon espectros del factor de ductilidad obtenidos como la idealización de

espectros obtenidos a partir del modelo histerético- poligonal, cuyos parámetros de ajuste se calculan a partir de las características del material de la estructura. El espectro obtenido presenta dos ramas lineales las cuales dependen del período:

$$R_{\mu} = C_1(\mu - 1)^{C_R} \frac{T}{T_0} + 1 \quad \text{para } T < T_0 \quad (1.3)$$

$$R_{\mu} = C_1(\mu - 1)^{C_R} + 1 \quad \text{para } T \geq T_0 \quad (1.4)$$

En donde T_0 es el período característico de la estructura que depende de la ductilidad global, la relación entre la demanda-capacidad de la estructura y el tipo de material. Los parámetros C_1 y C_R dependen del comportamiento histerético y del amortiguamiento respectivamente.

Miranda y Bertero (1994) realizaron un estudio en el cual se introduce la influencia del suelo en el cálculo de factores de reducción por ductilidad, para lograrlo usaron el análisis de respuesta no lineal de los suelos para determinar la respuesta inelástica de estructuras de un grado de libertad, y obtuvieron la expresión:

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \quad (1.5)$$

En el factor ϕ se introduce la dependencia del período y la información relativa a la influencia del tipo de suelo como se detalla a continuación:

$$\phi = 1 + \frac{1}{10 \cdot T - \mu \cdot T} - \frac{1}{2 \cdot T} \cdot e^{-1.5(T-0.6)^2} \quad \text{Roca} \quad (1.6)$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{12 \cdot T - \mu \cdot T} - \frac{2}{5 \cdot T} \cdot e^{-1.5(T-0.2)^2} \quad \text{Depósitos aluvionales} \quad (1.7)$$

$$\phi = 1 + \frac{T_g}{3 \cdot T} - \frac{3 \cdot T_g}{4 \cdot T} \cdot e^{-3\left(\frac{T}{T_g} - 0.25\right)^2} \quad \text{Suelos blandos} \quad (1.8)$$

En donde T_g es el período característico del suelo.

Otras investigaciones realizadas en 1998 por Ordaz y Perez Rocha plantean espectros del factor de ductilidad calculados a partir de espectros elásticos de desplazamiento y de velocidades escaladas mediante el desplazamiento y velocidad máxima del terreno alcada.

Como anteriormente mencionamos, el Factor de Ductilidad se representa en la ecuación 1.3 definida por F_e máxima fuerza Elástica y F_y la máxima fuerza inelástica, por lo tanto se define la dependencia de éste factor a las reglas de igual desplazamiento e igual energía.

Para determinar el factor de ductilidad se han realizado cuatro trabajos, uno por Aguiar y Guerrero 2006, otro por Aguiar y Gonzáles 2006 y dos por Aguiar, Romo y Aragón 2007, con el concepto de mejorar la base de datos en el último trabajo se obtuvo el factor R_μ a partir de registros acelerográficos obtenidos a través de programas computacionales y registros reales proporcionados por la Universidad Católica Santiago de Guayaquil para diferentes tipologías de suelo como S1, S2, S3, S4. Para el efecto se utilizaron 112 aceleradores sintéticos compatibles con los espectros del CEC -2000 para los cuatro tipos de suelo 80 acelerogramas reales con aceleraciones del suelo menores a 0.1 g.

Los resultados que han arrojado las investigaciones establecieron la siguiente ecuación:

$$R_\mu = 1 + (\mu - 1) \left[\frac{a T (1 - 0.165 \mu)}{a T (1 - 0.165 \mu) + 4900} \right] \quad (1.9)$$

En la ecuación 1.9 se debe toma en cuenta el tipo de suelo el cual se incluye en el factor a y el período de la estructura denominado T

En la siguiente tabla se presentan los valores que adoptan el coeficiente a en función de los tipos de suelo que se describe el código ecuatoriano de la construcción:

Tabla 1.5 Valores obtenidos para la variable a

Variable	Suelo S1	Suelo S2	Suelo S3	Suelo S4
a	100500	91000	73600	38900

Como se puede observar en la tabla 1.5, los valores varían considerando el tipo de suelo, donde la variable a expresa su máximo valor para el tipo de suelo S1 y valor mínimo para un tipo de suelo S4.

En resumen la ductilidad es la capacidad que tiene una estructura de incursionar en el rango no lineal y mientras más ductilidad tiene la estructura es capaz de resistir de mejor manera ante un sismo de magnitud superior a la esperada.

1.5 FACTOR DE SOBRESISTENCIA.

Al analizar una gran variedad de factores que intervienen en la sobre resistencia generan una difícil forma de cuantificar cada elemento estructural, por lo tanto se hará un estudio de la sobre resistencia global, es decir un comportamiento general de la estructura ante la sobre resistencia, por lo tanto el factor de sobre resistencia se define como la relación de V_0 el mismo que representa el cortante basal y V_u que representa el cortante basal último, teniendo éste la capacidad máxima de absorber el cortante basal. Para hacer un estudio más amplio de la sobre resistencia incluiremos a éste estudio la fórmula de la cuantía ρ expresada en la ecuación 1.10, en base a la cual se llega a determinar el área de acero.

$$\rho = 0,85 \frac{f'c}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{0,85 * \phi * f'c * b * d^2}} \right] \quad (1.10)$$

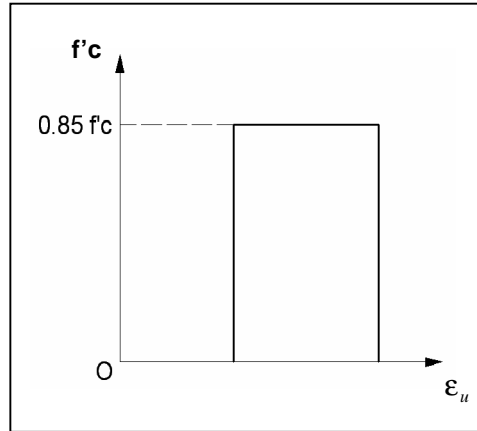


Figura 1.2 Modelo de bloque del ACI (hormigón)

En la figura 1.2 se observa el máximo esfuerzo para el concreto que presenta un valor de 0.85, expuesto por ACI

$$A_s = \rho * b * d \quad (1.11)$$

En la ecuación 1.11 se establece la fórmula de cálculo del acero donde ρ es la cuantía de acero, b es la base de la viga o columna y d es la distancia que existe entre la fibra superior de la viga y el extremo superior de la barrilla que forma parte del acero negativo.

Señalando las ecuaciones 1.10 y 1.11 se tiene cierto margen de inexactitud, pero se utilizan por facilidad de cálculo.

A continuación se presenta las curvas que generan un comportamiento real del hormigón ante deformaciones

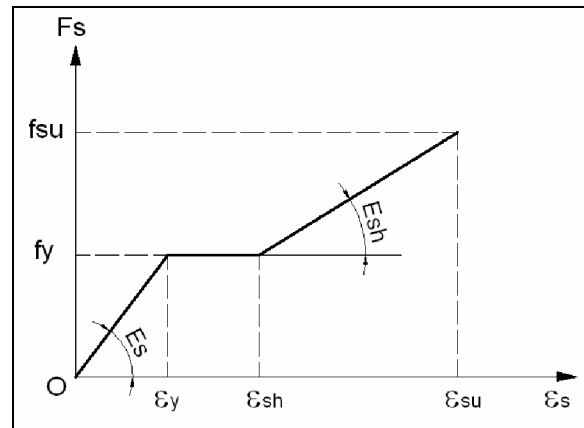


Figura 1.3 Modelo real del acero

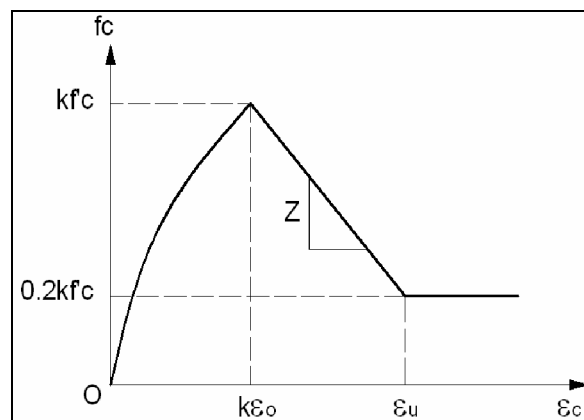


Figura 1.4 Modelo real del hormigón

En la figura 1.4 se observa que el máximo esfuerzo no es $0.85f_c$, que es utilizado en la ecuación 1.10, y se muestra en la figura 1.2., por ende el más conocido, en éste caso k es un valor mayor que 1 y depende directamente del número de estribos y del espaciamiento que existe entre ellos, debido a que en la realidad el hormigón se encuentra confinado o cubierto dentro de los estribos.

De todo éste análisis podemos llegar a la conclusión que al realizar inspecciones en vigas y columnas tenemos un momento último de diseño M_u que está dado por un modelo elasto-plástico representado en la figura 1.5, pero en la realidad la viga o

columna soportan mayores momentos M_u^* , en éste preciso instante se da lugar a una sobre resistencia que se expresa en la ecuación 1.12

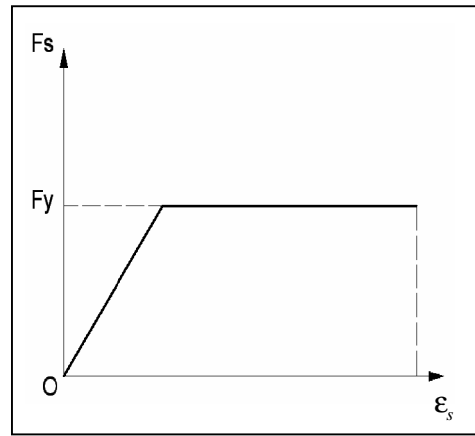


Figura 1.5 Modelo elasto perfectamente plástico (Acero)

$$R_s = \frac{Mu^*}{Mu} \quad (1.12)$$

Considerando que existen muchos factores que influyen en la sobre resistencia y con el fin de desarrollar un mejor conocimiento de éste fenómeno se permitirá su aplicación al relacionarlo con el factor de reducción de respuesta sísmica, considerando las formas, las irregularidades individuales que son propias de cada estructura.

En la tabla 1.6 se expresa los valores obtenidos de la sobre resistencia, los cuales representan el trabajo realizado por varios investigadores

Tabla 1.6 Valores de sobre resistencia obtenidos por varios investigadores

Investigadores	Casos estudiados	R_Ω
Osteraas y Krawlinker (1990)	Pórticos resistentes a momento	2.1 – 6.5
	Pórticos perimetrales	1.8 – 3.5
	Pórticos con diagonales concéntricas	2.2 – 2.8
Uang y Maaruf (1993)	Edificio de acero de 13 pisos	4.0
	Edificio de hormigón de 6 pisos	1.9
Hwang y Shinozuka (1994)	Edificio de hormigón de 4 pisos	2.2

En la tabla 1.6 se observa el comportamiento de la sobre resistencia presentada en función de los casos estudiados, los cuales se realizaron en pórticos resistentes a momentos, perimetrales, con diagonales concéntricas y en edificios de acero de trece pisos y de hormigón de seis y cuatro pisos

Otros estudios relacionados a la sobre resistencia determinan los valores R_S para diferentes estructuras dados por: Fischinger, Fafjar y Vidic (1994) para edificios de hormigón armado de mediana y baja altura con valores de R_S comprendidos entre 1.6 a 4.6, Panagiotakos y Fardis (1998) para edificios de hormigón armado con valores de R_S comprendidos entre 2.0 y 2.5, Einashai Y Mwafi (2002) para Edificios de hormigón armado de mediana altura e irregularidad vertical con valores de R_S comprendido entre 2.0 - 3.0. Al observar éstos valores podemos concluir que la sobre resistencia varía según la altura que presenta el edificio, por la irregularidad tanto en planta como en elevación, por el número de pórticos, por el cambio de secciones en los elementos estructurales, etc.

El factor de sobre resistencia fue analizado por Aguiar, Mora y Guadalupe (2007), para el cual se estudiaron 432 edificios de 1 a 6 pisos, en el que cabe destacar que se demostró que el factor R_Q depende de la deriva de piso.

Para esto se ha presentado una metodología que halla la sobre resistencia de un edificio de hormigón armado en función de la deriva máxima de piso, para ello se analizó a partir de la curva de capacidad sísmica resistente que relaciona el desplazamiento lateral máximo con el cortante basal, a raíz de ésta investigación se obtiene en primer lugar la curva de deriva global vs. el cortante basal; luego la curva de deriva máxima en función del cortante basal y finalmente la relación entre deriva máxima de piso vs. la sobre resistencia, para posteriormente indicar que el tener estribos dobles con relación a

estribos simples no influye mayormente en los valores de la sobre resistencia en función de la deriva de piso, se incrementa los valores en una forma muy pequeña.

Al realizar varios procesos de análisis por medio del programa DISIPA y la obtención de curvas de sobre resistencia tanto en vigas como en columnas se determinó que si la deriva de piso máxima permitida es baja, los valores de dicho factor son altos, por lo tanto concluimos que existe una relación inversa.

Finalmente el factor de sobre resistencia no solamente depende de la sección, del tipo de estribo, sea éste doble, simple, con gancho, sino también se encuentra en función de la deriva máxima de piso.

1.6 EFECTO $P-\Delta$

Son los efectos secundarios que afectan a las fuerzas cortantes y axiales, y a los momentos flectores, cuando se aplican cargas verticales que actúan en pórticos deformables lateralmente.

La consideración de los efectos $P-\Delta$ se ha establecido tomando algunos criterios del UBC y de la normativa colombiana, con simplificaciones en cuanto a la expresión a utilizar. El coeficiente de inestabilidad incorporado es una substancial mejora para la normativa a fin de tomar en cuenta el efecto poco considerado anteriormente en el país.

Corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales de la estructura, causados por efectos de segundo orden que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos y derivas de la estructura, y que deben considerarse en la evaluación de la estabilidad estructural global. Los efectos $P-\Delta$ no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad Q_i , es menor a 0,10

El índice de estabilidad, para el piso i y en la dirección bajo estudio, puede calcularse por medio de la ecuación:

$$\theta_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i} \quad (1.13)$$

En donde:

θ_i = Índice de estabilidad del piso i , es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden

P_i = Es la suma de la carga vertical total sin mayoral, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i = Es la derivada del piso i calculada, en forma elástica, en el centro de masas del piso

V_i = El cortante sísmico del piso

h_i = La altura del piso considerado.

El índice de estabilidad de cualquier piso, Q_i , no debe exceder el valor de 0,30. Cuando Q_i es mayor que 0,30, la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse, a menos que se demuestre, mediante procedimientos más estrictos que la estructura permanece estable y que cumple con todos los requisitos de diseño sismorresistente establecidos en las normativas de diseño en hormigón armado, estructuras metálicas, madera o mampostería, acordes con la filosofía de diseño del presente código.

Para considerar el efecto $P-\Delta$ en la dirección bajo estudio, y cuando se cumple que $0,1 < Q_i < 0,3$, tanto las derivadas de piso calculadas, Δ_{Ei} , como las fuerzas internas y los momentos de la estructura que aparecen como producto de la aplicación de las cargas laterales de diseño, se multiplicarán por un factor de mayoración $f_{P-\Delta}$ determinado por:

$$f_{P-\Delta} = \left(\frac{1}{1 - Q_i} \right) \quad (1.14)$$

1.7 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.

Tomando en consideración que el factor de R forma parte integral del análisis sísmico de una estructura es importante definir el porqué de su concepto ante el desempeño de una fuerza sísmica.

El factor de Reducción de las Fuerzas sísmicas juega un papel importante en el dimensionamiento de los elementos estructurales de una edificación como es el caso de vigas y columnas.

La mayor parte de los códigos prescribe un espectro elástico de diseño y a partir de este se halla el espectro de diseño inelástico dividiendo el espectro elástico para un factor de reducción de las fuerzas sísmicas, si se emplea un factor R muy alto se trabaja con fuerzas sísmicas muy bajas y se estará subdimensionado la peligrosidad sísmica, por lo tanto se obtendrá estructuras muy vulnerables.

Por otra parte si se trabaja con valores de R muy bajos las fuerzas sísmicas que se obtengan serán muy altas y conducirán a tener estructuras sumamente reforzadas demandando esto un alto costo.

La importancia del estudio es el análisis de cada uno de los factores que intervienen en el cálculo del factor de reducción de las fuerzas sísmicas, el mismo que permite pasar del espectro elástico al espectro inelástico y que se encuentra estipulado en las normativas sísmicas de una manera muy superficial, para varias tipologías estructurales. Para el efecto, se presentan resultados de investigaciones desarrolladas sobre el cálculo de los factores de: ductilidad, resistencia y redundancia.

Un detalle importante es considerar el estudio exhaustivo del factor de sobre resistencia el cual no se describe detalladamente en el C.E.C 2000. Profundizar su estudio en la esta

investigación a determinados resultados como el valor de R_R para estructuras que tienen tres ejes de columnas es de 0.86 cuando las estructuras tienen 4 ejes de columnas el valor de R_R es igual a 0.4 como era de esperarse se tienen valores menores a la unidad ya que el ATC -95 para estructuras que presentan dos ejes de columnas obtuvo un valor de 0.86.

En la presente tesis se analizó especialmente la obtención del factor de redundancia obtenido por el ensayo de 432 estructuras analizadas, 216 de ellas tienen 3 ejes de columnas en cada dirección y luces de 5 metros y 216 tienen 4 ejes de columnas con luces de 4.0 m, todas estas estructuras analizadas han determinado la obtención del factor R_R evalúa la capacidad que tiene la estructura de incursionar en el rango no lineal, cabe señalar que este factor viene tabulado para varias tipologías de estructuras y para diferentes materiales. Por lo tanto en la investigación realizada se siguió la metodología propuesta por Tsopelas y Husain (2004) en la cual se halla el índice de redundancia en forma probabilística y el índice de resistencia en forma determinística, con estos dos índices se halló el factor R_R . Por tal motivo esta tesis desarrolló un análisis orientado a la realidad de nuestro país, en donde se tienen estructuras regulares, pero hasta cierta forma mal concebidas, debido a que no se ha realizado un detallado análisis de incidencia del factor de sobre resistencia orientado a lo que pasa en el diseños convencionales.

CAPÍTULO II

FACTOR DE REDUNDANCIA

RESUMEN

El presente capítulo inicia con una introducción y definición del factor de redundancia, luego se explica el Modelo Propuesto por Tsopelas y Husain, en cuyo artículo se refuerza el concepto de R_R . Se analiza el índice de resistencia y el índice de variación de redundancia, su obtención y su comportamiento ante estructuras regulares.

Se desarrolla el modelo propuesto para el cálculo de R_R , para luego estudiar el mecanismo de colapso. Se da la metodología de cálculo para la obtención del factor de redundancia. Finalmente se analiza las normativas de Guatemala para la obtención de factor “Q” de calidad sismo resistente y del factor R.

2.1 INTRODUCCIÓN

El factor de redundancia ha constituido el tema central de estudio para esta tesis que pese a los pocos análisis realizados se han encontrado mecanismos que permiten la obtención de R_R a base del ensayo de modelos matemáticos y metodologías propuestas.

Muchos coinciden con el beneficio que tiene la redundancia en la correcta respuesta y de cierta manera en la supervivencia de estructuras que son sometidas a acciones sísmicas fuertes, se ha expuesto la necesidad de realizar un estudio que de respuestas ciertas al comportamiento del factor de redundancia.

Los estudios realizados por Tsopelas y Husain, han contribuido de gran manera a la investigación del factor de redundancia determinado por índices de resistencia y de variación de redundancia, el primero determinado de una manera determinística y el segundo en forma probabilística.

2.2 DEFINICIÓN:

Al analizar el comportamiento de una estructura ante la presencia de cargas sísmicas se observa un aumento en los momentos y esfuerzos que afectan a la misma. Cuando la estructura entra al rango no lineal, los elementos estructurales pasan a una redistribución de esfuerzos y momentos, esperándose que todos ellos absorban las cargas y deformaciones que se dan en la estructura, el parámetro que medirá esta redistribución de esfuerzos se define como factor de redundancia.

Hay que considerar que el factor de redundancia se encuentra en función del número de elementos estructurales que tenga la edificación y del número de pórticos, esto se da a que al tener una mayor presencia de estos elementos se obtendrá una mayor formación de rótulas plásticas, cabe destacar que no solamente se debe considerar el número de

rótulas de la estructura, sino también el porcentaje que ésta permita incursionar en el rango no lineal.

En los estudios realizados por Tsopelas y Husain (2004), se establece que el factor de redundancia se encuentra en función de dos índices, el primero denominado índice de redundancia por formación de rótulas plástica r_v y el segundo índice de redundancia por resistencia r_s .

Se debe considerar que el análisis del factor R_R se la realiza en cada dirección principal de la estructura.

Con anterioridad se han realizado varios estudios sobre este factor, tal es el caso de Moses (1974), el cual tomo como referencia el análisis de varios edificios aporticados ante las cargas verticales producidas por el viento y en función de las líneas verticales resistentes. Posteriormente Bertero (1999) retoma la investigación sobre el factor de redundancia introduciendo la influencia del tipo de sismo, siendo este pulsativo o armónico en la respuesta de edificios de múltiples grados de libertad.

Siendo árido este estudio sobre el factor de redundancia a tal punto que el ATC (Código de California 1995) ha limitado su estudio a un rango muy corto de los ejes de columnas de dos a cuatro, siendo sus valores los siguientes:

- Para dos ejes de columnas $R_R = 0.71$
- Para tres ejes de columnas $R_R = 0.86$
- Para cuatro ejes de columnas $R_R = 1$

De esta manera concluimos que el factor de redundancia será definido con mayor amplitud en este tema de tesis, lo cual nos dará una mayor apreciación de su compartimiento para pórticos de dos como de tres vanos, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con ATC – 1995.

2.3 MODELO DE TSOPELAS Y HUSAÍN.

El modelo de Tsopelas y Husaín consiste en la evaluación de la fuerza de redundancia y los índices de resistencia y de variación de redundancia para un edificio reforzado en tramos de concreto de diferentes pisos y de varios vanos, además se considera las varias proporciones de capacidad así como de ductilidad en vigas y columnas.

La capacidad de ductilidad de miembro y la geometría estructural que afecta la fuerza de redundancia y el índice de variación de redundancia que se discuten, influye directamente en el modelo ha analizarse, por lo tanto este estudio considera los efectos de capacidad de ductilidad del elemento, la flexibilidad de vigas, la flexibilidad en columnas y el nivel de cargas de gravedad en la redundancia estructural de pórticos planos en estudio.

En este estudio además se analizaron un grupo de pórticos bidimensionales de 1 a 6 pisos de 2 y 3 vanos, el objetivo principal consiste en que al introducir los índices antes mencionados ayuden en el desarrollo de un método simple para evaluar la respuesta de modificación del factor de redundancia con una mayor precisión.

Para la evaluación del factor R_R , Tsopelas y Husaín emiten la siguiente ecuación:

$$R_R = r_s \left(\frac{1 - kv_e r_v}{1 - kv_e} \right) \quad (2.1)$$

En la ecuación 2.1, r_s representa el índice de resistencia, r_v representa el índice de variación de redundancia, v_e es el coeficiente de variación de las fuerzas y varía entre 0.08 y 0.14, k es el factor de forma de la resistencia que varía entre 1.5 y 2.5, esto nos indica que kv_e varía entre 0.12 y 0.35.

2.3.1 ÍNDICES DE REDUNDANCIA.

Para cuantificar los efectos globales de redundancia en la fuerza de un sistema estructural requiere la valoración de su determinación y en parte sus probabilidades. Para eso, se proponen dos índices. La primera es una medida de determinación, del índice de redundancia de la fuerza y la habilidad del sistema estructural de redistribuir cargas de colapso a elementos con resistencia más alta. Este factor es una función de indeterminación estática, ductilidad del elemento, de tensión, y la media de la fuerza de los elementos del sistema estructural.

El segundo índice que es probabilidad de la naturaleza, es el índice de la variación del de redundancia r_v . Este índice cuantifica los efectos de fuerza del elemento (variables de probabilidad) en la fuerza del sistema estructural. Este índice también es una función de la indeterminación estática del sistema estructural, y la naturaleza estadística de la ductilidad y fuerza de los elementos estructurales.

Los dos índices de redundancia pueden calcularse para una estructura específica y una condición de carga particular realizando un análisis no lineal estático en la estructura bajo un incremento de cargas laterales (análisis del pushover). Más específicamente, pueden usarse las variables siguientes obtenidas del análisis del pushover para evaluar los dos índices de redundancia:

- La carga lateral de rendimiento (fuerza de rendimiento),
- La última carga lateral, y
- El número de fracasos locales o número de rótulas plásticas desarrolladas en el punto de colapso estructural.

2.3.2 ÍNDICE DE RESISTENCIA " r_s "

El índice de redundancia por resistencia r_s , se define como la proporción de la medida del cortante último de rendimiento V_u en relación con el cortante inicial V_y , considerado una fuerza del sistema como si no fuera redundante, el índice de resistencia esta representado por la siguiente ecuación:

$$r_s = \frac{V_U}{V_Y} \quad (2.2)$$

El índice de resistencia representado por la Ecuación (2.2) sirve para evaluar la fuerza de rendimiento y la última fuerza de un sistema estructural, el promedio de las fuerzas de elementos individuales es considerado durante el análisis del pushover. Entonces V_u y V_y , puede identificarse fácilmente en la curva de la carga de desviación que es el resultado del análisis de pushover no lineal.

Es de interés estudiar cómo el índice de resistencia de redundancia, varía como una función de la geometría estructural (indeterminación estática), ductilidad del miembro, y otros parámetros como la proporción de la reducción de sección de columnas. Los efectos de geometría estructural y ductilidad del miembro se presentan en este documento como r_s . El efecto de la proporción de la reducción de sección de columnas determina de una manera sustancial el comportamiento del índice de resistencia, así como el número de pisos y vanos presentes en un pórtico.

2.3.3 ÍNDICE DE VARIACIÓN DE REDUNDANCIA " r_v "

El índice de redundancia cuantifica los efectos de fuerza del elemento presentes en la estructura, a éste índice se lo halla en forma probabilística, es decir con variables de probabilidad, también es una función de la indeterminación estática del sistema

estructural, y la naturaleza estadística de la ductilidad y fuerza de los elementos estructurales. Sus valores se encuentran comprendidos entre cero y uno. En la ecuación 2.3 se expresa las variables de las cuales depende r_v .

$$r_v = \sqrt{\frac{1 + (n-1)\bar{\rho}}{n}} \quad (2.3)$$

r_v es el índice de variación de redundancia debido a la formación de rótulas plásticas y $\bar{\rho}$ es el coeficiente de correlación promedio de las deformaciones y n es el número de rótulas plásticas para el mecanismo de colapso considerado.

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \rho_{ij} \quad (2.4)$$

En la ecuación 2.4 se presenta la determinación del coeficiente de correlación promedio de las deformaciones y donde ρ_{ij} es el coeficiente de correlación entre los momentos M_i, M_j . Siendo M_i el momento de fluencia del elemento estructural donde se formó la rótula plástica i .

Como se expresó anteriormente en la ecuación 2.3 el índice de variación se encuentra en función del número de rótulas plásticas que se forman en la estructura, éstas se forman cuando la estructura está a punto de entrar en el rango de colapso, por tanto es conveniente analizar al comportamiento de la misma desarrollando estudios que lo profundicen. En el tema de tesis se analizaron estructuras formadas por pórticos de dos vanos y tres vanos, de uno a seis pisos para detallar la formación de rótulas plásticas evaluadas con el programa DISIPA, cuya conclusión nos llevó a observar que con menor número de pisos, el índice de redundancia tendía a presentar valores altos, mientras que para un mayor número de pisos sus valores disminuían notablemente, esto es lógico debido a que al tener menor número de pisos se presentan menor número de

rótulas plásticas en la estructura, igualmente ocurre con el número de vanos que presenta la estructura.

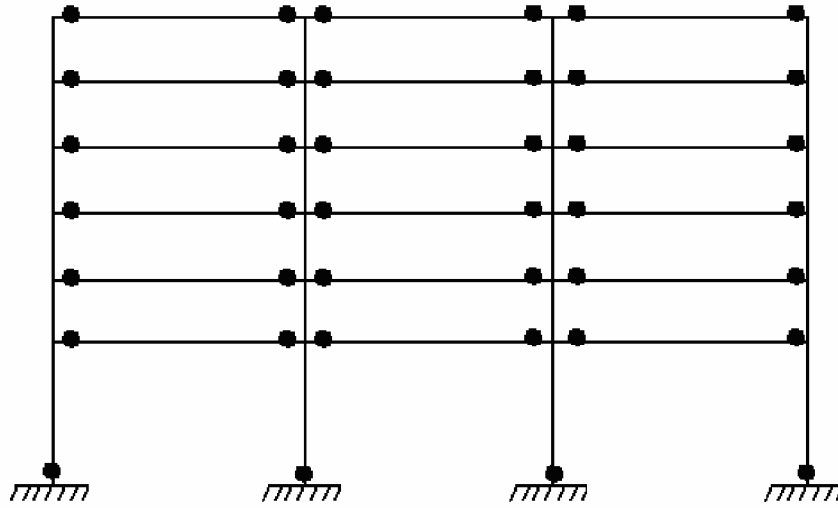


Figura 2.1. Marco plano genérico con la formación de rótulas plásticas.

En la Fig. 2.1 se observa como se vería un pórtico perteneciente a una estructura luego de presentar rótulas plásticas debidas a las deformaciones presentes en la misma. El mecanismo de colapso se detallará de una manera más clara en este capítulo en los siguientes temas a tratarse.

En la Figura 2.2 se observa el comportamiento del coeficiente de correlación promedio de las deformaciones, al tener $\bar{\rho} = 0.6$, el valor de r_v se encuentra por debajo de 1, para $\bar{\rho} = 0.2$ el valor de r_v se encuentra por debajo de 0.6, es decir con un 40% de variación en relación con el primer valor y con un valor de $\bar{\rho} = 0$ se encuentra por debajo de 0.4. Se concluye que a medida que $\bar{\rho}$ aumenta, el valor de r_v aumenta, es decir son directamente proporcionales y por lo tanto el sistema es menos redundante.

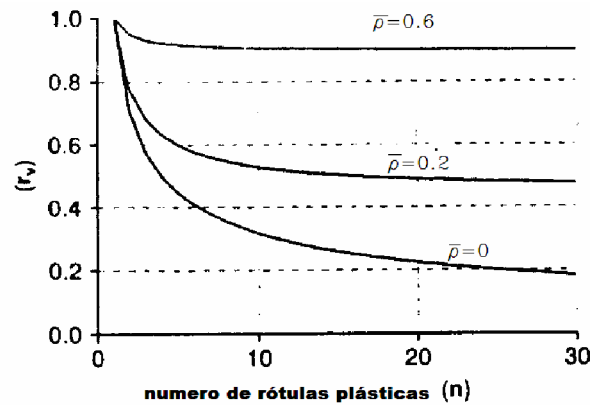


Figura 2.2. Índice de variación de redundancia en función del número de rótulas plásticas en el mecanismo de colapso para varios niveles y correlación entre elementos fuertes.

2.4 MODELO PROPUESTO DE CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUNDANCIA DE FUERZAS SÍSMICAS.

Para la propuesta de cálculo se analizaron 432 estructuras constituidas por pórticos de 2 y 3 vanos, de 1 a 6 pisos.

Se determinó el número total de rótulas plásticas presentes por cada estructura analizada, posteriormente se determinó el número de rótulas que arrojaba el programa DISIPA.

Se estableció el índice de resistencia de cada estructura analizada con anterioridad en la ecuación 2.2.

$$R_R = \frac{\# \text{ de rótulas} \times \gamma_s}{\# \text{ total de rótulas}} \quad (2.5)$$

En la ecuación 2.5 se detalla la metodología propuesta de cálculo con la finalidad de comparar resultados con los valores que serán obtenidos en el capítulo III con la metodología de Tsopelas y Husain.

Se plantea también calcular el factor de redundancia R_R en base al cortante basal de la estructura asociada al fallo de la estructura v_u , el cortante basal asociado a la formación de la primera rótula plástica v_1

$$R_R = \frac{V_u}{V_1} \quad (2.6)$$

Se debe tomar en cuenta que v_u se origina cuando al formarse las rótulas plásticas en todos los extremos de las vigas y pies de columna de tal manera que no se produce reducción del valor de R_R .

Se considera que un sistema tendrá mayor redundancia si se forma una mayor cantidad de rótulas al llegar el colapso

2.4.1 MECANISMO DE COLAPSO

En el diseño sismorresistente de edificios de concreto reforzado a menudo resulta más económico plantear el diseño con fuerzas laterales menores que las que se esperarían si la construcción respondiera en el rango elástico durante un evento sísmico de gran magnitud. El diseño hecho con las fuerzas laterales reducidas implica que algunas regiones de la estructura se comportarán en el rango inelástico. Estas regiones deben detallarse apropiadamente para mantener su resistencia bajo cierto rango de deformaciones plásticas, es decir, el diseño de estas regiones debe garantizar cierto grado de ductilidad. Existe un número de posibilidades donde las deformaciones plásticas pueden surgir: por flexión en las vigas y columnas, por corte en las vigas, en las columnas y en las uniones viga-columna.

La deformación plástica asociada con la rotación inelástica por flexión se obtiene fácilmente si el refuerzo en los miembros se detalla adecuadamente. La máxima rotación plástica también puede evaluarse utilizando métodos analíticos como un análisis de momento-curvatura. Que consideran las propiedades mecánicas del acero y del concreto confinado y sin confinar. La respuesta histerética en miembros cuya deformación está dominada por flexión, esta caracterizada por una curva esfuerzo-deformación. La respuesta histerética asociada con flexión posee buenas características

de disipación de energía, lo cual es beneficioso para reducir la repuesta en estructuras con períodos cortos.

Las rótulas plásticas pueden formarse en las siguientes partes de la estructura:

- Los empotramientos, los nudos rígidos y las uniones no articuladas donde ocurran dos o más elementos.
- Los apoyos intermedios de las vigas continuas
- Los puntos de aplicación de las cargas concentradas
- Bajo cargas distribuidas, a partir de los puntos donde el momento flector es máximo.

Una vez conocidos los lugares donde pueden formarse las articulaciones plásticas, y por lo tanto el número N de ellas, deseamos determinar el número n de mecanismos de colapso que esas articulaciones pueden generar. El grado de hiperestaticidad de un sistema de cuerpos es la diferencia entre el número de incógnitas que se deben conocer para determinar por completo las fuerzas reactivas externas e internas del sistema, menos el número de ecuaciones que las condiciones universales de equilibrio permiten escribir.

El objetivo principal del estudio del mecanismo de colapso es “diseñar las fallas” para que se produzcan del modo más favorable para la seguridad de la construcción.

Se pueden distinguir tres objetivos parciales en distintos niveles de importancia.

- Establecer las zonas críticas de la estructura
- Elegir los modos de falla
- Relacionar los modos de falla

2.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE CALIDAD (Q) SEGÚN LA NORMATIVA DE GUATEMALA.

Tomando en consideración que el análisis estructural de una edificación en general depende del criterio del ingeniero calculista y la parte estética le corresponde a un arquitecto, la Normativa de Guatemala ha definido como calificar la calidad de una estructura en base a la introducción de un factor de calidad “Q”.

Considerando que el valor de Q se encuentra en función de la configuración y forma estructural de la edificación se hace mención a éste factor de calidad Q.

El valor del factor de calidad se encuentra dentro de los rangos de 1 a 1.15 para estructuras básicamente beneficiosas. Algo importante por recalcar es que su valor no debe bajar de 0.8.

Es necesario definir un reporte de parámetros en el cual se reportará un índice de calidad q_i . Por lo tanto haremos referencia a continuación de la configuración de las edificaciones para definir las representaciones que tiene el índice en mención.

2.5.1. SISTEMA ESTRUCTURAL:

Las Normas de Guatemala en el sistema estructural clasifica la dirección de análisis independientemente en cinco posibles familias de la E1 a E5 y en caso de duda direcciona a una E6, a su vez, cada familia se encuentra subdivida considerando la clase de elementos verticales que proporcionan resistencia y rigidez laterales.

2.5.1.1 SISTEMA CAJÓN “E1”:

El Sistema Cajón E1 se encuentra definido como un sistema estructural constituido con muros estructurales con el fin de soportar la carga vertical, sea completa o en parte; por otra parte se debe considerar que las fuerzas sísmicas deben ser resistidas por los muros estructurales en mención o también por marcos arriostrados, los cuales deben encontrarse unidos por diafragmas en el plano horizontal.

2.5.1.2 SISTEMA DE MARCOS “E2”:

El Sistema de Marcos E2 se encuentra definido como un sistema estructural integrado con marcos espaciales resistente a flexión con el fin de soportar la carga vertical, así como las sollicitaciones sísmicas, al igual que en el punto anterior, los marcos pueden ser ordinario o especiales y al igual que en punto anterior deben encontrarse unidos por diafragmas en el plano horizontal.

2.5.1.3 E2-1 SISTEMA DE MARCOS ORDINARIOS.

La principal característica del sistema de Marcos Ordinarios, se encuentra en los requisitos sismo resistentes fundamentales definidos para cada uno de los sistemas constructivos, como única condición a se cumplida por los marcos

2.5.1.4 E2-2 SISTEMA DE MARCOS ESPECIALES.

Con el fin de incrementar la confiabilidad y la capacidad post-elástica definida para cada sistema constructivo, el sistema de Marcos Especiales a diferencia del Sistema de

marcos Ordinarios debe cumplir un número de requisitos sismo – resistentes adicionales.

2.5.1.5 “E3” SISTEMA COMBINADO DE MUROS Y MARCOS:

El sistema combinado de Muros y Marcos se define como un sistema estructural constituido por un marco espacial esencialmente completo que soporta la carga vertical, entre las características que debe cumplir este sistema tenemos que los marcos pueden limitarse cuidando la capacidad portante vertical con el fin de que acepten las acciones inducidas por derivas laterales de la estructura, además dichos marcos pueden ser ordinarios.

En este sistema también se debe considerar que los muros estructurales o marcos arriostrados incorporados en algunos de los marcos deben resistir la totalidad de las sollicitaciones sísmicas.

2.5.1.6 “E4” SISTEMA DUAL DE MUROS Y MARCOS:

El Sistema Dual de Muros y Marcos se define como un sistema estructural constituido por marco espacial esencialmente completo que soporta la carga vertical, entre las características que debe cumplir el sistema tenemos que los marcos que lo componen deben ser especiales y resistir el 25% de las sollicitaciones sísmicas especificadas cuando el modelo estructural se anula la rigidez lateral de los muros, los marcos deber estar unidos por diafragmas horizontales, las sollicitaciones sísmicas en proporción a rigideces relativas (interrelación entre muros y marcos) deben ser resistidos por los

marcos, los muros estructurales incorporados en algunos de los marcos incluyendo marcos arriostrados deben resistir las solicitaciones sísmicas.

2.5.1.7 “E5” PÉNDULO INVERTIDO:

El sistema de Péndulo Invertido se caracteriza por contener elementos que soportan la carga vertical, además resisten todas las fuerzas sísmicas actuando como voladizos verticales aislados. Para verificar si la estructura cumple con el sistema los elementos que soportan la carga vertical deben estar conectados horizontalmente entre si.

Finalmente cabe destacar que éste sistema no presenta la acción de marco.

2.5.1.8 COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES:

Para que una edificación reúna varios sistemas estructurales debe considerar:

- a. En cualquier piso y dirección de análisis, el valor de R no debe de exceder del menor de los valores obtenidos en el tabla 2.2 para los diferentes sistemas estructurales existentes en esta dirección, por encima del piso considerado.
- b. Los componentes comunes a varios sistemas estructurales se diseñarán y detallarán conforme a los requisitos correspondientes al mayor valor de R.

2.5.2 CONFIGURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN:

Para la configuración de la Edificación se especifica los valores de los índices de calidad q_i con base en la redundancia estructural, la configuración en planta y la configuración en elevación, además no aplica los sistemas estructurales E5 para los que supondrá $Q= 0.75$, por otra parte considerar que no se aplica a edificaciones con

cubiertas especiales como membranas o cáscaras y finalmente que no puede aplicar a sistemas E1, además esta sección no aplica a estructuras con diafragma.

2.5.3 REDUNDANCIA ESTRUCTURAL:

En esta sección es importante recordar que se debe atender al número de tramos, número de ejes estructurales y número de muros en cada dirección para la verificar separadamente para cada dirección de análisis.

Tabla 2.1. Representación de los valores del índice q_1 en función de los tramos presentes en la estructura.

NUMERO DE TRAMOS	INDICE q_1
4 o más : tramo menor > 0.75 tramo mayor	2.50
tramo menor < 0.45 tramo mayor	1.50
3 tramos : tramo menor > 0.75 tramo mayor	1.50
tramo menor < 0.45 tramo mayor	0.00
2 tramos : tramo menor > 0.70 tramo mayor	0.00
tramo menor < 0.45 tramo mayor	2.50
1 tramo	- 3.00
no tramo	es estructura tipo E5

Para relaciones intermedias a las indicadas se puede interpolar o tomar el índice menor. La longitud del tramo, para efectos de la comparación anterior, se define por conveniencia como el claro libre entre soportes consecutivos. Si dos soportes están acoplados por medio de un dintel, no se contará el dintel como uno de los tramos. Si los dos soportes están acoplados con un a viga o elemento articulado en ambos extremos no se contara ese tramo. Si los marcos en una dirección dada tienen diferentes índices, el índice q_1 será el promedio aritmético de los índices de cada marco en esa dirección de análisis.

Tabla 2.2. Representación de los valores del índice q_2 en función del número de ejes estructurales.

NUMERO DE EJES ESTRUCTURALES	INDICE q_2
5 o más	2.5
4 ejes: $S_{min} > 0.70 S_{max}$	2.5
$S_{min} > 0.45 S_{max}$	0.0
3 ejes: $S_{min} > 0.70 S_{max}$	0.0
$S_{min} > 0.45 S_{max}$	-2.5
2 o menos	-3.0

En las expresiones anteriores, S es el espaciamiento entre ejes medido centro a centro.

Para relaciones intermedias a las indicadas se puede interpolar o tomar el índice menor.

2.5.4 PRESENCIA DE MUROS O RIOSTRAS (ÍNDICE q_3):

Si la estructura tiene al menos el 33% de sus ejes estructurales uno o más muros estructurales cuya relación L/h_m , (L representa la longitud en planta del muro y h_m representa es la mayor de las alturas libres de entre pisos) debe ser mayor que 1.5 o bien dos o más muros estructurales cuya L/H_m sea mayor que 0.67 se le podrá asignar un índice de calidad $q_3= 2,5$ siempre y cuando los muros no generen una planta irregular.

Si en cada eje con muros hay al menos dos que estén acoplados entre si con dinteles dúctiles se puede añadir +1.0 al índice q_3 . Los muros pueden construirse por arrostros diagonales excéntricos en tal caso el índice q_3 es de +2. Los sistemas de cajón E1 tienen los índices de calidad $q_3=+2.5$. Es implícito en las estructuras con muros o riostras que debe haber diafragmas horizontales capaces de recolectar y transferir a los muros las demandas sísmicas en cada piso.

2.5.5 CONFIGURACIÓN DE PLANTA:

Las edificaciones se clasificarán como regulares o como irregulares en planta con el objeto de seleccionar el procedimiento de análisis sísmico y para determinar los índices de calidad q_4 , q_5 y q_6 .

Un edificio se considera como regular al cumplir con las siguientes condiciones:

- a. Más del 75% del área del edificio sobre el nivel del suelo está construida por pisos cuyas plantas son regulares sin entrantes o salientes de dimensiones significativas. Los sótanos si están confinados por el terreno circundante no se toman en cuenta.
- b. No hay ningún piso con excesiva excentricidad entre su centro de masa y su centro de rigideces. Se exceptúan los pisos superiores que sumen menos del 15% de la masa del edificio sobre el nivel del suelo.
- c. No hay ningún piso con excesiva anisotropía de rigideces.

2.5.6 REGULARIDAD EN PLANTA ÍNDICE q_4

Si todos y cada uno de los pisos sobre el nivel del suelo tienen plantas regulares, podrán asignarse un índice de calidad $q_4 = +2.5$ en cada dirección de análisis. Si ningún piso tiene planta regular se asignará un índice $q_4 = -2.5$ en cada dirección de análisis. En situaciones intermedias podrán interpolarse entre los extremos.

2.5.7 EXCENTRICIDAD EN PLANTA ÍNDICE q_5

Si cualquier piso tiene excentricidad excesiva se asignará un índice de calidad $q_5 = -3.0$ en dirección de análisis perpendicular a la excentricidad. Si todos los pisos tienen excentricidad grande $q_5 = -2.5$, si ninguno tiene excentricidad (todos los pisos son simétricos), $q_5 = +2.5$. Situaciones intermedias pueden interpolarse, el índice q_5 puede ser diferente en cada dirección de análisis.

2.5.8 ISOTROPÍA EN PLANTA INDICE q_6

Si todos y cada uno de los pisos sobre el nivel del suelo son isotrópicos podrá asignarse un índice de calidad $q_6 = +2.5$ en cada dirección de análisis. Si ninguno es isotrópico se asigna un índice $q_6 = -2.5$ en cada dirección. Podrán interpolarse situaciones intermedias. Si cualquier piso tiene anisotropía exterior se asegurará un índice de calidad $q_6 = -3.0$ en cada dirección de análisis.

2.5.9 CONFIGURACIÓN VERTICAL:

Las edificaciones se clasifican como regulares e irregulares en elevación con el objeto de seleccionar el procedimiento de análisis sísmico y para determinar el índice de calidad q_6 .

Un edificio se clasificará como regular en elevación si cumple con las siguientes condiciones:

- a. Si la estructura tiene una configuración geométrica vertical aproximadamente constante y carece de escalonamientos de un tramo o se exceptúan los

escalonamientos entre las salientes y el cuerpo del edificio y los escalonamientos que ocurran entre el primer 15% de altura.

- b. Si la relación masa/rigidez no sufre cambios de más del 15% entre pisos adyacentes el último piso no requiere verificarse.
- c. Si los tabiques, sillares y otros elementos secundarios están dispuestos de manera que se produzcan cambios significativos de rigidez de un piso a otro; de preferencia los tabiques y muros de concreto y mampostería en el plano de las columnas.

2.5.10 REGULARIDAD EN ELEVACIÓN ÍNDICE q_7

Si en todos los pisos se cumplen los criterios “a”, “b”, y “c” se asignará un índice $q_7 = +0.0$. por cada piso en que no cumpla “a”, “b”, y “c” se descontará 1.5 del índice, aunque no es necesario descontar más allá de $q_7 = -5.0$.

2.5.11 CONDICIÓN DE “PISO SUAVE” ÍNDICE q_8

Si cualquier piso sobre el suelo tiene una rigidez menor que la rigidez del piso inmediato superior habrá tendencia a una condición entre cualquier par de pisos sobre el suelo se asignará un índice $q_8 = -3.0$ siempre que $K_{inf}/K_{sup} > 0.70$.

Cuando $K_{inf} \geq K_{sup}$ en todos los pisos, $q_8 = 0$.

Opcionalmente, $q_8 = 10 * (K_{inf}/K_{sup} - 1)$; la condición se verificará sobre el par de pisos más crítico; no es necesario el último nivel; esta opción maneja coeficientes de piso

menores a 0.70 aunque es altamente recomendable que q_8 no baje de -3. K_{inf} es la rigidez del piso inferior y K_{sup} es la rigidez del piso superior en el par que esta siendo verificado.

2.5.12 FACTOR (R_o) PARA LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES:

Es importante definir los valores del factor de reducción de respuesta sísmica genérico para los 5 sistemas estructurales analizados. Este del factor de reducción de respuesta sísmica genérico toma en cuenta la capacidad post elástica genérica de un sistema estructural, ductilidades más otros disipantes de energía.

Tabla. 2.3. Valores del Factor de Reducción de Respuesta Sísmicas Genérico en función de sistemas estructurales y sistemas de resistencia de fuerza lateral

SISTEMAS ESTRUCTURALES				
	Sistemas Estructurales	Sistemas de Resistencia de Fuerza Lateral	R_o	
E1	Marco de Construcción	Muros sismorresistentes		
		a. Mamposterías reforzadas	2.5	
		b. Concreto reforzado	3.5	
		c. Mampostería no reforzada	1.0	
		d. Mampostería parcialmente reforzada	1.7	
		e. Madera	4.0	
		Marcos reforzados	3.0	
E2	Marco de Resistencia de Momento			
		E2-1 Ordinario (OMRF)	a. Acero	3.5
			b. Concreto reforzado	1.7
		Marco de Resistencia de Momento	a. Acero	5.5
	E2-2 Especial (SMRF)	b. Concreto reforzado	5.0	
E3	Sistemas de Interacción Muro sismorresistente-Marco	Con Muros Sismorresistentes de Mampostería Reforzada	3.5	
		Con Muros Sismorresistentes de Concreto Reforzado	4.5	
		Con Marcos Reforzados en vez de Muros Sismorresistentes		
		a. Concéntricos	3.5	
		b. Excéntricos	4.0	
E4	Doble	Con Muros Sismorresistentes de Mampostería Reforzada	3.5	
		Con Muros Sismorresistentes de Concreto Reforzado	5.5	
		Con Marcos Reforzados en vez de Muros Sismorresistentes		
		a. Concéntricos	3.5	
		b. Excéntricos	5.0	
E5	Péndulo Invertido	Concreto Reforzado		
		a. Encerrado	2.0	
		b. Ordinario — No Permitido	—	
		Acero		
		a. Detalle Ordinario	1.0	
		b. Detalle Sísmico	2.0	
	Madera	2.5		
E6	Otros	Clasificado como E5 o chequear Caps. 3-7, 3-8, 3-9.		

Como al inicio de este tema dijimos que Q es un factor de calidad que no puede ser menor a 0.80 caso contrario el proyecto estructural debe ser modificado, este factor viene dado en la ec(2.7). Cabe destacar además que la normativa de Guatemala establece una manera de calcular el factor R por medio de la ecuación (2.8)

$$Q = 1.00 + 0.01 \sum q_i \quad (2.7)$$

Donde se establece una constante de 1 añadido a la reducción del 1% de la sumatoria total de los índices de calidad.

$$R = 1.2 + R_0 \times Q_i \quad (2.8)$$

En la ecuación 2.8 se establece el cálculo del factor R en base a la normas de Guatemala, en donde R_0 representa el factor de reducción de fuerzas sísmicas cuyo valor se toma de la tabla 2.3 para un sistema estructura E2-2 Especial de un sistema de resistencia de fuerza lateral para una edificación de concreto reforzado cuyo valor de $R_0=5$. Finalmente al valor de R_0 se le multiplica el factor de calidad q_i , el mismo que se obtiene en base a la ecuación 2.7. A éste producto se lo mayor a una constante igual a 1.2.

En base al procedimiento detallado en esta parte del capítulo hemos analizado el factor de calidad Q y el valor del factor de reducción de fuerzas sísmicas R para nuestra estructura dándonos los siguientes resultados detallados en la Tabla (2.4)

Tabla 2.4 Reporte de parámetros de calidad y factor R

GUIA PARA ESTABLECER LA ESTRUCTURACIÓN SISMORRESISTENTE DE UNA EDIFICACIÓN E INTEGRAR EL INDICE DE CALIDAD "Q" Y EL FACTOR DE REDUCCIÓN "R"				
EDIFICACIÓN: (nombre)		TESIS		
CLASIFICACIÓN DE LA OBRA:		_____		
INDICE DE SISMICIDAD DEL SITIO:		_____		
NIVEL DE PROTECCIÓN REQUERIDO		ASIGNADO: _____		
PERFIL DEL SUELO:		S4		
ACELERACIÓN max EFECTIVA DEL TERRENO: Ao=		0.4		
TIPO DE ESTRUCTURA:		E2-2		
APLICA ALGUNA RESTRICCIÓN:		NO		
DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA				
NÚMERO DE PISOS BAJO EL SUELO:		0	SOBRE EL SUELO:	6
ALTURA TOTAL BAJO EL SUELO:		0	SOBRE EL SUELO:	18
LONGITUD "X" max BAJO EL SUELO:		0	SOBRE EL SUELO:	15
LONGITUD "Y" max BAJO EL SUELO:		0	SOBRE EL SUELO:	15
CONFIGURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN:		DIRECCIÓN DE ANÁLISIS		REFERENCIAS "qi"
		X	Y	min. max.
REDUNDANCIA ESTRUCTURAL:				
NUMERO DE TRAMOS	qx1=	2.5	qy1=	2.5
NÚMERO DE EJES ESTRUCTURALES:	qx2=	-2.5	qy2=	-2.5
PRESENCIA DE MUROS O RIOSTRAS:	qx3=	0.0	qy3=	0.0
CONFIGURACIÓN EN PLANTA				
REGULARIDAD EN PLANTA	q4=	2.5		-3.0 2.5
EXCENTRICIDAD EN PLANTA	qx5=	2.0	qY5=	2.0
ISOTROPÍA EN PLANTA:	q6=	2.5		-3.0 2.5
CONFIGURACIÓN VERTICAL				
CAMBIOS DE RIGIDEZ	qx7=	-1.5	qY7=	-1.5
POSICIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	qx8=	0.0	qY8=	0.0
FACTOR "Q" DE CALIDAD SISMO-RESISTENTE	Qx=	5.5 1.055	QY=	5.5 1.055
FACTOR "Ro" DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA	RoX=	5.0	RoY=	5.0
FACTOR DE REDUCCIÓN "R"	Rx=	6.33	Ry=	6.33
FORMULARIO				
Q= 1,00+0,01 Σqi				
R= 1,2 * Ro * Qi				

En la Tabla 2.4 se representa el sistema de reporte que detalla la obtención del índice de calidad q_i , el mismo que se encuentra en función de la redundancia estructural, que a su vez está representado por el número de ejes estructurales y presencia de muros o riostras. La tabla para este sistema de reporte detallará la obtención del factor de calidad de una estructura y el factor de reducción de fuerzas sísmicas. Para éste proceso se detalló con anterioridad los índices de calidad q_i , los valores del factor de calidad Q y de redundancia R_r empleados en cada dirección de análisis.

CAPÍTULO III

ECUACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA

RESUMEN

En este capítulo se realizará el análisis de estructuras de dos vanos, aplicando las metodologías expuestas en los capítulos anteriores. Se estudiará la variación de los índices de resistencia R_s como de redundancia R_v en relación con el número de pisos.

Se analizará la variación del coeficiente de redundancia R_R en función del número de pisos para valores de $K v_e = 0.12$, $K v_e = 0.22$, $K v_e = 0.35$.

Se expondrá la metodología propuesta para el cálculo de R_R y por último se detallará una comparación de valores medios de R_R con valores de $K v_e = 0.12$, $K v_e = 0.22$, $K v_e = 0.35$, incluyendo la metodología propuesta.

3.1 ESTRUCTURA DE ANÁLISIS DE DOS VANOS.

Las estructuras a analizar se encuentran compuestas por dos vanos con luces de 4m y alturas de entrepiso de 3m. Son estructuras completamente regulares tanto en elevación como en planta, tomando en cuenta que tanto la en elevación como en planta la geometría es igual para las 6 edificaciones. Tenemos edificaciones de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 pisos.

En los gráficos 3 y 3.1 podemos observar la geometría tanto en planta como en elevación una de las estructuras a analizarse.

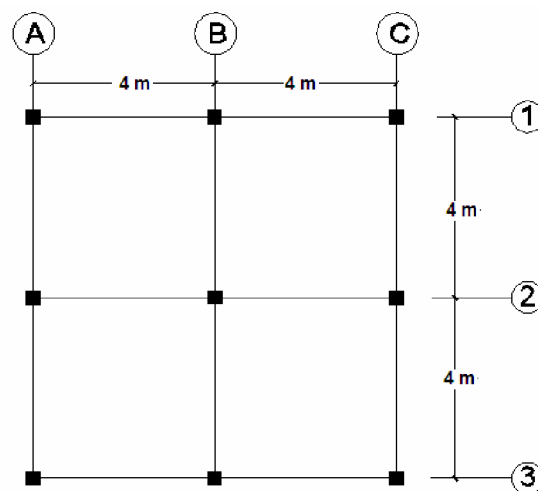
En las siguientes tablas se detallan las secciones tanto de vigas como de columnas de las estructuras analizadas.

Tabla 3.1 Dimensiones para vigas de estructuras calculadas.

EDIFICIO	SECCIÓN DE VIGAS EN (cm)						CARGA
	1 nivel	2 nivel	3 nivel	4 nivel	5 nivel	6 nivel	MUERTA T/m2
1 piso	20/20						0.4
2 pisos	25/20	25/20					0.4
3 pisos	30/30	30/30	30/30				0.5
4 pisos	40/30	40/30	40/30	40/30			0.5
5 pisos	50/30	50/30	45/30	45/30	40/30		0.7;0.63;0.567
6 pisos	50/30	50/30	45/30	45/30	40/30	40/30	0.7;0.63;0.567

Tabla 3.2 Dimensiones para columnas de estructuras calculadas

EDIFICIO	SECCIÓN DE COLUMNAS EN (cm)						CARGA MUERTA
	1 nivel	2 nivel	3 nivel	4 nivel	5 nivel	6 nivel	T/m2
1 piso	20/20						0.4
2 pisos	25/25	25/25					0.4
3 pisos	30/30	30/30	30/30				0.5
4 pisos	40/40	40/40	40/40	40/40			0.5
5 pisos	45/45	45/45	40/40	40/40	35/35		0.7;0.63;0.567
6 pisos	45/45	45/45	40/40	40/40	35/35	35/35	0.7;0.63;0.567

**Figura 3.1** Vista en planta

En cada caso de armadura longitudinal se consideró tres casos de refuerzo transversal en columnas, el primero compuesto por estribos simples, el segundo por estribo más gancho y el tercero por estribo doble. El diámetro de los estribos tanto de vigas como de columnas es de 8 mm., y el espaciamiento es de 10 cm., en los extremos del elemento y 20 cm., en el centro de la luz.

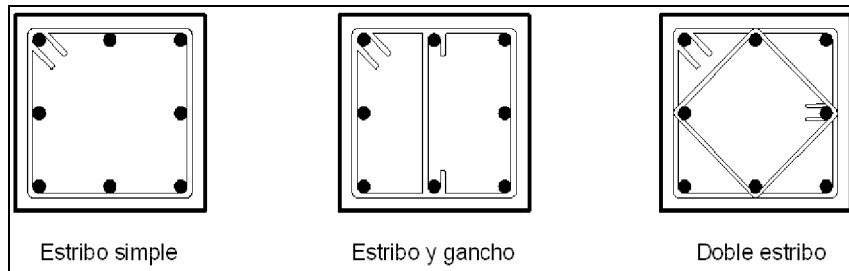


Figura 3.2 Tipos de confinamiento para las columnas.

Tanto las dimensiones de las columnas y vigas, como la armadura longitudinal y transversal considerada, corresponden a la forma como se construye normalmente en el Ecuador.

3.2 VARIACIÓN DE r_s CON EL NÚMERO DE PISOS.

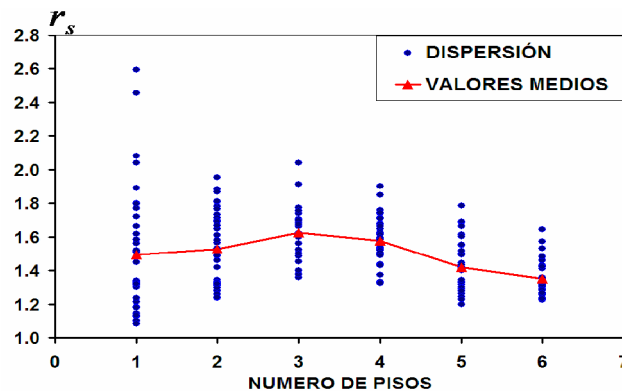


Figura 3.3 Valores Medios de la Variación del r_s en función a Nro de pisos.

El comportamiento del índice de redundancia según el número de pisos en la figura 3.3 da una dispersión bastante diferenciada especialmente en las estructuras de un piso. Para determinar el comportamiento general para estructuras de uno, dos, tres, cuatro,

cinco y seis pisos, se tomaron los valores promedios, obteniéndose los siguientes: $r_s = 1.49$, $r_s = 1.53$, $r_s = 1.6$, $r_s = 1.58$, $r_s = 1.42$, $r_s = 1.35$ respectivamente para 1, 2, 3, 4, 5, 6 pisos. Se considera el valor del índice de resistencia más bajo para 6 pisos y el más alto para tres pisos.

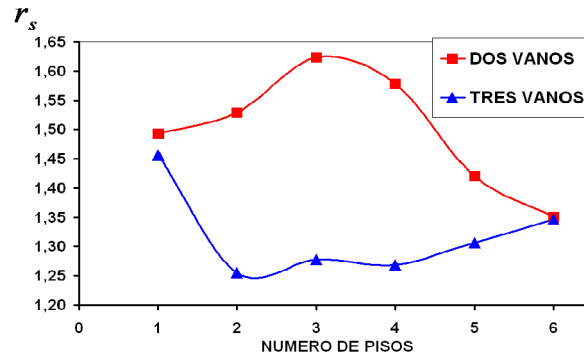


Figura 3.4 Comparación de Valores Medios para estructura de dos y tres vanos

Para la figura 3.4 se realizó una comparación de los valores medios entre estructuras de dos y tres vanos, concluyendo que el índice de resistencia r_s para estructuras de 2 vanos se encuentra por encima de 1.35, y para estructuras de tres vanos se encuentra por debajo de el mismo valor exceptuando para un piso, el cual alcanza un valor promedio de 1.46.

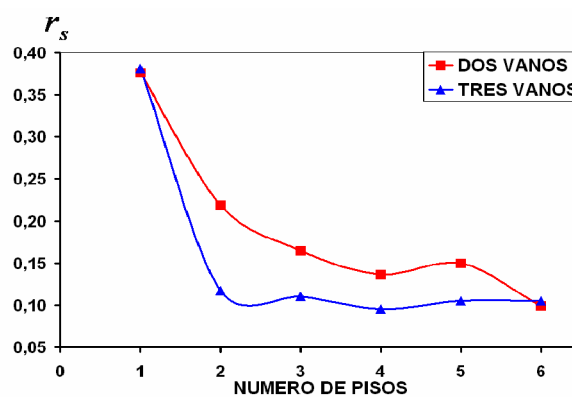


Figura 3.5 Comparación de las desviaciones estándar de r_s en función del # de pisos

Para la figura 3.5 las el valor mínimo presentado de r_s es 0.095 perteneciente a la curva para estructuras de tres vanos, para estructuras de dos vanos se presentan valores por encima de 1 para el índice de resistencia.

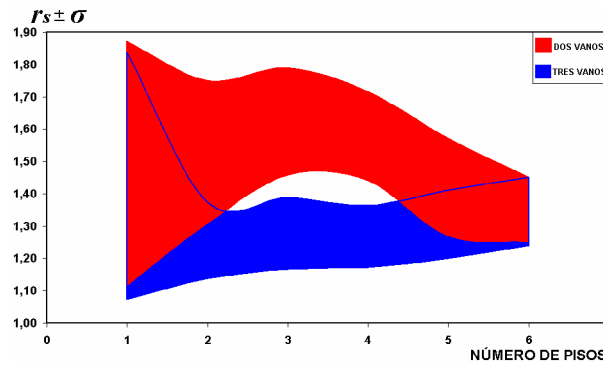


Figura 3.6 Comparación de dos y tres vanos producto de la relación del índice de resistencia más menos la desviación estándar en función al número de pisos.

Para la figura 3.6 se establece que los valores más altos de $r_s \pm \sigma$ (índice de resistencia \pm desviación estándar se tiene para estructuras de dos vanos, y para estructuras de tres vanos se presentan valores más bajos por lo tanto el valor de $r_s \pm \sigma$ será mayor para estructuras de dos vanos y su media se encuentra para $r_s \pm \sigma = 1.45$

3.3 VARIACIÓN DE r_v CON EL NÚMERO DE PISOS.

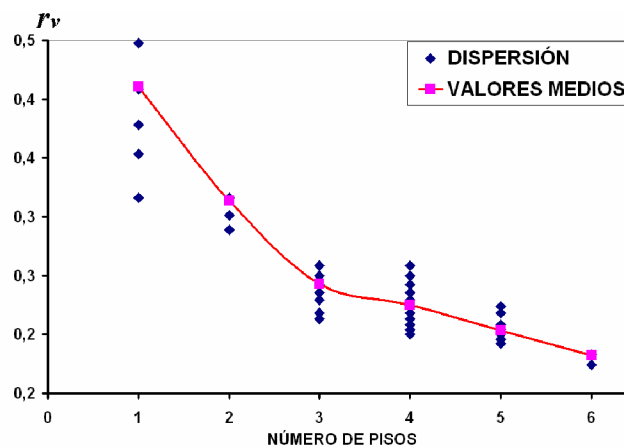


Figura 3.7 Diagrama índice de redundancia por variación en función del número de pisos.

En la figura 3.7 se observa el comportamiento del índice de variación por redundancia r_V el mismo que presenta valores altos para el menor número de pisos y disminuye su valor si se presentan estructuras con mayor número de pisos. Al disminuir r_V el valor de R_R que se obtiene con ecuación (3.1) aumenta.

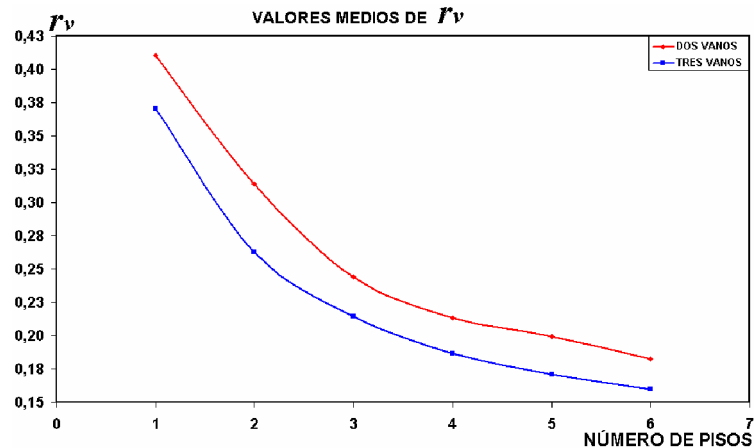


Figura 3.8 Diagrama índice de redundancia por variación (valores medios) de dos y tres vanos en función al número de pisos.

En la figura 3.8 se tomaron los valores medios de r_V con la finalidad de determinar su comportamiento tanto para estructuras de dos vanos como de tres vanos. Observamos que los valores de r_V para las estructuras de dos vanos están por encima de los valores promedios de las estructuras de tres vanos, presentándose una proporcionalidad constante tanto es así que resultan ser dos paralelas las curvas presentadas en la figura 3.8.

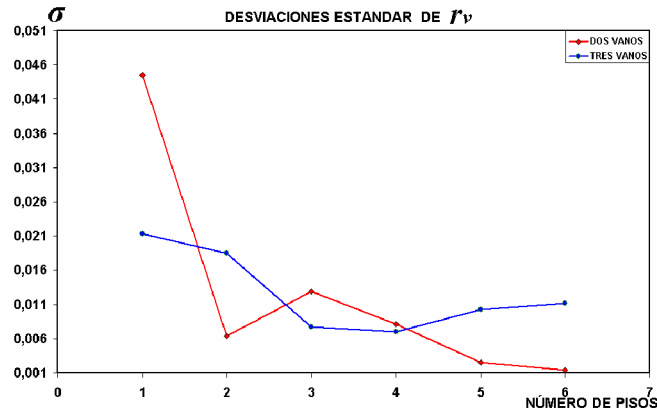


Figura 3.9 Diagrama de la desviación estándar del índice de redundancia por variación en función del número de pisos de dos y tres vanos

Para la figura 3.9 se presenta la desviación estándar del comportamiento del índice de variación para tres y dos vanos de 1 a 6 pisos observándose un comportamiento muy irregular.

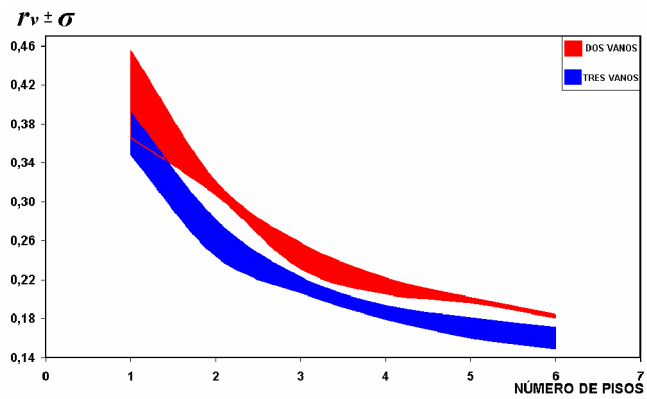


Figura 3.10 Diagrama del índice de redundancia por variación más menos la desviación estándar en función del número de pisos de dos y tres vanos.

Para la figura 3.10 se analizó el índice de redundancia más menos su desviación estándar tanto para edificios de dos y tres vanos de uno a seis pisos, el comportamiento es similar al de la figura 3.8.

3.4 VARIACIÓN DE R_R CON NÚMERO DE PISOS.

En base a los estudios realizados por Tsopelas y Husain (2004) se propone la manera de calcular el factor de redundancia R_R por medio de la siguiente expresión.

$$R_R = r_s \left(\frac{1 - k v_e r_v}{1 - k v_e} \right) \quad (3.1)$$

Donde v_e es el coeficiente de variación de las fuerzas y varía entre 0.08 y 0.14; k es un factor de forma de la resistencia que varía entre 1.5 y 2.5. De tal manera que $k v_e$ varía entre 0.12 y 0.35.

En la tesis presente se obtuvo el valor del factor de redundancia R_R para valores de $k v_e = 0.12, 0.22$ y 0.35 .

Se analizaron estos casos para determinar el comportamiento de R_R dentro de los límites ya establecidos de $k v_e$ con el fin de comparar resultados, y saber el porcentaje de variación del factor de redundancia.

Es importante definir los valores obtenidos para los índices de redundancia y resistencia, por lo cual se expondrán los resultados incluidos los valores del coeficiente de variación elástica igual a 0.12 en la tabla 3.2.

3.4.1 VALORES DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN ELÁSTICA ($K_{ve} = 0.12$).

Tabla 3.3 Valores de $K_{ve} = 0.12$ para edificaciones de 1, 2, 3, 4 pisos dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kv=0,12	TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kv=0,12
ESTRIBO SIMPLE	1P1	10	0.32	4.21	2.78	1.51	1.66	ESTRIBO y GANCHO	2P1	12	0.29	5.89	4.42	1.33	1.46
	1P2	8	0.35	4.93	3.16	1.56	1.70		2P2	10	0.32	5.89	4.43	1.33	1.45
	1P3	7	0.38	4.87	1.88	2.59	2.81		2P3	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.44
	1P4	6	0.41	5.00	3.15	1.59	1.71		2P4	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.44
	1P5	6	0.41	3.10	2.74	1.13	1.22		2P5	10	0.32	6.62	5.34	1.24	1.36
	1P6	5	0.45	3.20	2.79	1.15	1.23		2P6	10	0.32	7.91	5.31	1.49	1.63
	1P7	5	0.45	3.22	2.84	1.13	1.22		2P7	10	0.32	7.91	4.37	1.81	1.98
	1P8	5	0.45	3.25	2.88	1.13	1.21		2P8	10	0.32	7.80	4.30	1.81	1.98
	1P9	5	0.45	3.51	2.63	1.34	1.44		2P9	11	0.30	8.32	5.43	1.53	1.68
	1P10	5	0.45	4.01	3.65	1.10	1.18		2P10	10	0.32	9.64	6.11	1.58	1.73
	1P11	8	0.35	5.22	3.46	1.51	1.64		2P11	10	0.32	9.86	5.99	1.65	1.80
	1P12	5	0.45	5.02	4.13	1.21	1.31		2P12	10	0.32	10.01	6.00	1.67	1.82
ESTRIBO DOBLE	1P1	8	0.35	3.89	2.34	1.66	1.81	ESTRIBO SIMPLE	3P1	15	0.26	9.04	6.65	1.36	1.50
	1P2	8	0.35	4.87	2.70	1.80	1.96		3P2	19	0.23	12.48	7.46	1.67	1.85
	1P3	6	0.41	4.96	2.80	1.77	1.91		3P3	15	0.26	13.63	8.02	1.70	1.87
	1P4	6	0.41	5.47	3.18	1.72	1.86		3P4	18	0.24	16.43	8.05	2.04	2.25
	1P5	5	0.45	2.84	2.30	1.23	1.33		3P5	17	0.24	11.97	8.05	1.49	1.64
	1P6	7	0.38	5.22	2.76	1.89	2.05		3P6	21	0.22	14.65	8.81	1.66	1.84
	1P7	5	0.45	4.19	2.89	1.45	1.56		3P7	15	0.26	15.16	8.88	1.71	1.88
	1P8	7	0.38	6.02	2.89	2.08	2.26		3P8	15	0.26	15.29	9.08	1.68	1.85
	1P9	5	0.45	3.39	2.61	1.30	1.40		3P9	17	0.24	13.37	8.77	1.52	1.68
	1P10	5	0.45	3.92	3.56	1.10	1.19		3P10	18	0.24	16.56	11.84	1.40	1.54
	1P11	8	0.35	5.04	3.41	1.48	1.61		3P11	19	0.23	18.85	12.07	1.56	1.73
	1P12	5	0.45	5.04	3.76	1.34	1.44		3P12	16	0.25	19.49	12.04	1.62	1.78
ESTRIBO y GANCHO	1P1	10	0.32	4.19	2.59	1.62	1.77	ESTRIBO DOBLE	3P1	17	0.24	9.30	6.74	1.38	1.52
	1P2	8	0.35	5.07	2.07	2.45	2.67		3P2	22	0.21	14.01	8.05	1.74	1.93
	1P3	5	0.45	3.18	1.77	1.80	1.93		3P3	16	0.25	14.01	8.64	1.62	1.79
	1P4	5	0.45	2.27	2.00	1.13	1.22		3P4	16	0.25	16.56	8.66	1.91	2.11
	1P5	5	0.45	3.20	2.71	1.18	1.27		3P5	18	0.24	11.85	8.15	1.45	1.60
	1P6	5	0.45	3.92	2.98	1.32	1.41		3P6	21	0.22	14.52	8.54	1.70	1.88
	1P7	5	0.45	4.10	3.09	1.33	1.43		3P7	15	0.26	15.03	8.47	1.78	1.95
	1P8	6	0.41	5.78	2.84	2.04	2.20		3P8	15	0.26	15.16	8.63	1.76	1.93
	1P9	5	0.45	3.48	2.63	1.32	1.42		3P9	17	0.24	13.12	8.75	1.50	1.66
	1P10	5	0.45	3.98	3.68	1.08	1.16		3P10	18	0.24	16.05	11.46	1.40	1.55
	1P11	8	0.35	5.31	3.49	1.52	1.66		3P11	15	0.26	18.60	11.62	1.60	1.76
	1P12	5	0.45	4.96	4.20	1.18	1.27		3P12	15	0.26	19.36	11.56	1.67	1.84
ESTRIBO SIMPLE	2P1	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.47	ESTRIBO y GANCHO	3P1	17	0.24	9.30	6.76	1.38	1.52
	2P2	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.47		3P2	19	0.23	12.61	7.66	1.65	1.82
	2P3	10	0.32	5.52	4.33	1.28	1.39		3P3	15	0.26	14.39	8.27	1.74	1.92
	2P4	10	0.32	5.52	4.31	1.28	1.40		3P4	16	0.25	16.30	8.58	1.90	2.09
	2P5	10	0.32	6.72	5.34	1.26	1.37		3P5	17	0.24	11.72	8.15	1.44	1.59
	2P6	10	0.32	8.00	5.47	1.46	1.60		3P6	17	0.24	14.65	9.21	1.59	1.76
	2P7	10	0.32	7.91	4.56	1.73	1.90		3P7	15	0.26	15.16	9.34	1.62	1.79
	2P8	10	0.32	7.91	4.61	1.72	1.88		3P8	15	0.26	15.29	9.41	1.62	1.79
	2P9	11	0.30	8.46	5.41	1.56	1.71		3P9	17	0.24	13.12	8.81	1.49	1.64
	2P10	10	0.32	9.72	6.03	1.61	1.76		3P10	17	0.24	16.56	11.58	1.43	1.58
	2P11	10	0.32	10.01	5.93	1.69	1.85		3P11	18	0.24	18.47	11.78	1.57	1.73
	2P12	10	0.32	10.08	5.93	1.70	1.86		3P12	15	0.26	19.23	11.47	1.68	1.85
ESTRIBO DOBLE	2P1	10	0.32	5.52	3.89	1.42	1.55	ESTRIBO SIMPLE	4P1	21	0.22	20.00	14.99	1.33	1.48
	2P2	10	0.32	5.89	4.50	1.31	1.43		4P2	20	0.22	25.71	16.38	1.57	1.74
	2P3	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.42		4P3	21	0.22	29.29	17.50	1.67	1.85
	2P4	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.42		4P4	20	0.22	29.29	16.63	1.76	1.95
	2P5	10	0.32	6.62	5.37	1.23	1.35		4P5	24	0.20	27.14	17.62	1.54	1.71
	2P6	11	0.30	9.20	4.89	1.88	2.06		4P6	25	0.20	33.57	21.87	1.53	1.70
	2P7	10	0.32	9.57	5.12	1.87	2.04		4P7	24	0.20	38.57	23.92	1.61	1.79
	2P8	10	0.32	9.79	5.01	1.96	2.14		4P8	23	0.21	41.43	24.16	1.71	1.90
	2P9	11	0.30	8.24	5.55	1.49	1.63		4P9	21	0.22	30.00	18.92	1.59	1.75
	2P10	10	0.32	9.49	5.61	1.69	1.85		4P10	23	0.21	37.14	24.65	1.51	1.67
	2P11	10	0.32	9.94	5.57	1.78	1.95		4P11	20	0.22	42.86	28.64	1.50	1.65
	2P12	10	0.32	10.01	5.67	1.77	1.93		4P12	22	0.21	52.14	28.17	1.85	2.05

En la tabla 3.3 se observan las variaciones que presenta R_R para $K_{ve} = 0.12$ los valores más altos de éste factor se presentan para tres pisos.

Tabla 3.4 Valores de $K_{ve} = 0.12$ para edificaciones de 4, 5, 6 pisos dos vanos

TIPO	No	No de	rv	Vu	Vy	rs	RR	TIPO	No	No de	rv	Vu	Vy	rs	RR
DE CASO	PISOS	Rotulas					$K_v=0,12$	DE CASO	PISOS	Rotulas					$K_v=0,12$
ESTRIBO DOBLE	4P1	20	0.22	20.00	15.02	1.33	1.47	ESTRIBO y GANCHO	5P1	25	0.20	17.68	14.23	1.24	1.38
	4P2	24	0.20	27.86	18.22	1.53	1.70		5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.44
	4P3	22	0.21	29.29	17.11	1.71	1.90		5P3	25	0.20	26.79	19.14	1.40	1.55
	4P4	20	0.22	30.00	17.21	1.74	1.93		5P5	25	0.20	30.54	20.15	1.52	1.68
	4P5	24	0.20	26.43	17.29	1.53	1.69		5P5	25	0.20	20.36	15.81	1.29	1.43
	4P6	23	0.21	32.86	21.62	1.52	1.68		5P6	25	0.20	29.46	20.83	1.41	1.57
	4P7	24	0.20	37.86	23.74	1.59	1.77		5P7	27	0.19	34.82	24.72	1.41	1.56
	4P8	23	0.21	40.71	24.48	1.66	1.84		5P8	25	0.20	34.29	26.41	1.30	1.44
	4P9	21	0.22	29.29	18.48	1.58	1.75		5P9	25	0.20	21.96	15.59	1.41	1.56
	4P10	22	0.21	36.43	24.22	1.50	1.67		5P10	25	0.20	27.86	20.75	1.34	1.49
	4P11	20	0.22	42.14	28.31	1.49	1.65		5P11	25	0.20	33.75	26.39	1.28	1.42
	4P12	20	0.22	41.43	31.22	1.33	1.47		5P12	25	0.20	38.04	31.00	1.23	1.36
ESTRIBO y GANCHO	4P1	21	0.22	20.00	15.06	1.33	1.47	ESTRIBO SIMPLE	6P1	30	0.18	18.75	14.85	1.26	1.40
	4P2	24	0.20	27.86	16.55	1.68	1.87		6P2	30	0.18	24.00	18.65	1.29	1.43
	4P3	21	0.22	29.29	16.40	1.79	1.98		6P3	30	0.18	29.25	22.17	1.32	1.47
	4P4	20	0.22	30.00	17.74	1.69	1.87		6P4	33	0.17	33.75	23.93	1.41	1.57
	4P5	25	0.20	27.14	17.49	1.55	1.72		6P5	30	0.18	21.75	14.90	1.46	1.62
	4P6	24	0.20	32.86	21.86	1.50	1.67		6P6	30	0.18	27.75	20.45	1.36	1.51
	4P7	24	0.20	37.86	23.45	1.61	1.79		6P7	30	0.18	33.00	26.96	1.22	1.36
	4P8	23	0.21	40.71	24.50	1.66	1.84		6P8	30	0.18	37.50	30.37	1.23	1.37
	4P9	21	0.22	29.29	18.29	1.60	1.77		6P9	30	0.18	24.00	14.61	1.64	1.83
	4P10	23	0.21	37.14	24.83	1.50	1.66		6P10	30	0.18	30.75	21.64	1.42	1.58
	4P11	21	0.22	42.14	28.18	1.50	1.66		6P11	30	0.18	36.75	27.69	1.33	1.48
	4P12	20	0.22	41.43	31.41	1.32	1.46		6P12	30	0.18	41.25	32.67	1.26	1.40
ESTRIBO SIMPLE	5P1	25	0.20	17.68	13.70	1.29	1.43	ESTRIBO DOBLE	6P1	30	0.18	19.50	14.96	1.30	1.45
	5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.44		6P2	30	0.18	24.75	18.67	1.33	1.47
	5P3	25	0.20	26.79	19.45	1.38	1.53		6P3	30	0.18	28.50	21.76	1.31	1.46
	5P4	25	0.20	30.54	20.90	1.46	1.62		6P4	30	0.18	32.25	23.88	1.35	1.50
	5P5	25	0.20	20.36	15.27	1.33	1.48		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	1.65
	5P6	25	0.20	30.00	21.29	1.41	1.56		6P6	30	0.18	27.75	20.72	1.34	1.49
	5P7	28	0.19	34.82	23.81	1.46	1.62		6P7	30	0.18	33.00	25.42	1.30	1.44
	5P8	25	0.20	34.29	27.71	1.24	1.37		6P8	30	0.18	37.50	29.80	1.26	1.40
	5P9	25	0.20	21.96	15.76	1.39	1.55		6P9	30	0.18	24.75	15.75	1.57	1.75
	5P10	25	0.20	28.39	21.21	1.34	1.48		6P10	30	0.18	30.75	21.52	1.43	1.59
	5P11	25	0.20	33.75	26.36	1.28	1.42		6P11	30	0.18	36.75	27.65	1.33	1.48
	5P12	25	0.20	38.04	30.47	1.25	1.38		6P12	30	0.18	41.25	32.88	1.25	1.39
ESTRIBO DOBLE	5P1	25	0.20	17.14	14.30	1.20	1.33	ESTRIBO y GANCHO	6P1	30	0.18	19.50	14.97	1.30	1.45
	5P2	25	0.20	22.50	16.94	1.33	1.47		6P2	30	0.18	24.00	18.64	1.29	1.43
	5P3	26	0.20	27.32	18.90	1.45	1.60		6P3	30	0.18	29.25	22.24	1.32	1.46
	5P4	27	0.19	32.14	20.68	1.55	1.73		6P4	30	0.18	33.00	24.66	1.34	1.49
	5P5	25	0.20	19.82	15.70	1.26	1.40		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	1.65
	5P6	25	0.20	29.46	20.53	1.44	1.59		6P6	30	0.18	27.75	20.39	1.36	1.51
	5P7	27	0.19	34.82	24.47	1.42	1.58		6P7	30	0.18	33.00	25.79	1.28	1.42
	5P8	25	0.20	34.29	25.73	1.33	1.48		6P8	30	0.18	37.50	30.40	1.23	1.37
	5P9	25	0.20	22.50	15.68	1.44	1.59		6P9	30	0.18	24.00	15.66	1.53	1.70
	5P10	25	0.20	27.86	20.74	1.34	1.49		6P10	30	0.18	30.75	21.62	1.42	1.58
	5P11	25	0.20	33.75	26.22	1.29	1.43		6P11	30	0.18	36.75	27.56	1.33	1.48
	5P12	25	0.20	38.04	30.99	1.23	1.36		6P12	30	0.18	41.25	32.58	1.27	1.41

En la tabla 3.4 se observan los valores de R_R para 4,5 ,6 pisos los cuales demuestran el comportamiento de éste factor siendo los más altos para cuatro pisos.

Al realizar una comparación de valores entre la tabla 3.3 y 3.4 observamos que el mayor valor para el factor de redundancia se presenta para edificaciones de tres pisos, lo que se confirmara en la figura 3.11.

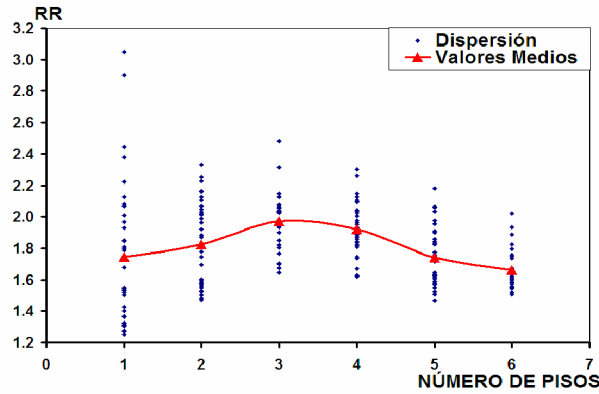


Figura 3.11 Diagrama dispersión de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.12$ para dos vanos.

Para la figura 3.11 se han tomado los valores medios para determinar el factor de redundancia con un $K_{ve}=0.12$ teniendo un valor promedio de $R_R = 1.62$.

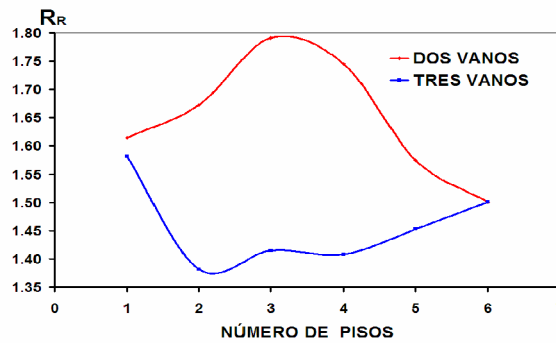


Figura 3.12 Diagrama valores medios de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.12$ para dos y tres vanos.

En la figura 3.12 el factor de redundancia para estructuras de dos vanos se encuentra por encima de 1.50 mientras que para tres vanos se presentan valores por debajo de este valor.

Para dos vanos el valor más alto del factor de redundancia se presenta en estructuras de tres pisos $R_R = 1.79$ mientras el valor más alto para estructuras de tres vanos se presenta para un piso $R_R = 1.58$.

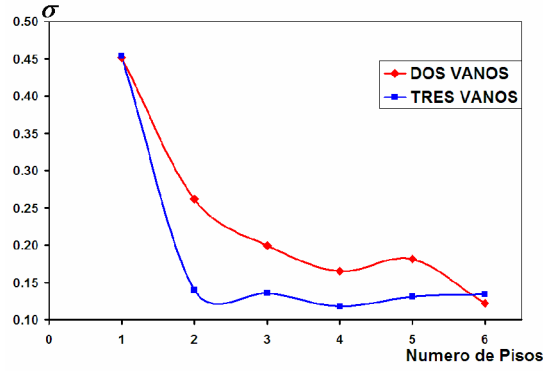


Figura 3.13 Desviación estándar de los valores del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.12$ para dos y tres vanos

Para la figura 3.13 la desviación presente en el factor R_R va de la mano tanto para estructuras de dos como de tres vanos con un punto en común de $R_R = 0.417$ para un piso, para el resto de pisos se presenta una diferencia notable.

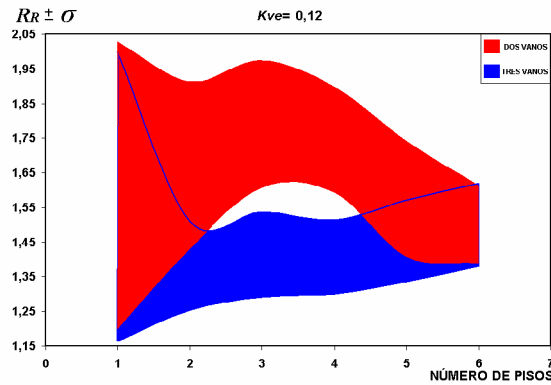


Figura 3.14 Comparación de dos y tres vanos consecuencia de la relación del factor de redundancia más menos la desviación estándar en función al número de pisos para $K_{ve}= 0.12$

En la figura 3.14 se presenta el rango de valores para $R_R \pm \sigma$ lo que determina una amplitud máxima para dos vanos. Los valores $R_R \pm \sigma$ presentan una intersección en los rangos comprendidos por uno a dos pisos y 5 a seis pisos. Obteniéndose un valor promedio de $R_R \pm \sigma = 1.55$ tanto para dos como tres vanos.

3.4.2 VALORES DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN ELÁSTICA (Kve=0.22).

Tabla 3.5 Valores de Kve = 0.22 para 1, 2, 3, 4 pisos dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0,22	TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0,22
ESTRIBO SIMPLE	1P1	10	0.32	4.21	2.78	1.51	1.81	ESTRIBO y GANCHO	2P1	12	0.29	5.89	4.42	1.33	1.60
	1P2	8	0.35	4.93	3.16	1.56	1.85		2P2	10	0.32	5.89	4.43	1.33	1.59
	1P3	7	0.38	4.87	1.88	2.59	3.05		2P3	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.57
	1P4	6	0.41	5.00	3.15	1.59	1.85		2P4	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.58
	1P5	6	0.41	3.10	2.74	1.13	1.32		2P5	10	0.32	6.62	5.34	1.24	1.48
	1P6	5	0.45	3.20	2.79	1.15	1.32		2P6	10	0.32	7.91	5.31	1.49	1.78
	1P7	5	0.45	3.22	2.84	1.13	1.31		2P7	10	0.32	7.91	4.37	1.81	2.16
	1P8	5	0.45	3.25	2.88	1.13	1.30		2P8	10	0.32	7.80	4.30	1.81	2.16
	1P9	5	0.45	3.51	2.63	1.34	1.54		2P9	11	0.30	8.32	5.43	1.53	1.83
	1P10	5	0.45	4.01	3.65	1.10	1.27		2P10	10	0.32	9.64	6.11	1.58	1.88
	1P11	8	0.35	5.22	3.46	1.51	1.79		2P11	10	0.32	9.86	5.99	1.65	1.96
	1P12	5	0.45	5.02	4.13	1.21	1.40		2P12	10	0.32	10.01	6.00	1.67	1.99
ESTRIBO DOBLE	1p1	8	0.35	3.89	2.34	1.66	1.97	ESTRIBO SIMPLE	3P1	15	0.26	9.04	6.65	1.36	1.65
	1P2	8	0.35	4.87	2.70	1.80	2.13		3P2	19	0.23	12.48	7.46	1.67	2.04
	1P3	6	0.41	4.96	2.80	1.77	2.07		3P3	15	0.26	13.63	8.02	1.70	2.06
	1P4	6	0.41	5.47	3.18	1.72	2.01		3P4	18	0.24	16.43	8.05	2.04	2.48
	1P5	5	0.45	2.84	2.30	1.23	1.43		3P5	17	0.24	11.97	8.05	1.49	1.81
	1P6	7	0.38	5.22	2.76	1.89	2.22		3P6	21	0.22	14.65	8.81	1.66	2.03
	1P7	5	0.45	4.19	2.89	1.45	1.68		3P7	15	0.26	15.16	8.88	1.71	2.06
	1P8	7	0.38	6.02	2.89	2.08	2.45		3P8	15	0.26	15.29	9.08	1.68	2.04
	1P9	5	0.45	3.39	2.61	1.30	1.50		3P9	17	0.24	13.37	8.77	1.52	1.85
	1P10	5	0.45	3.92	3.56	1.10	1.27		3P10	18	0.24	16.56	11.84	1.40	1.70
	1P11	8	0.35	5.04	3.41	1.48	1.75		3P11	19	0.23	18.85	12.07	1.56	1.90
	1P12	5	0.45	5.04	3.76	1.34	1.55		3P12	16	0.25	19.49	12.04	1.62	1.96
ESTRIBO y GANCHO	1P1	10	0.32	4.19	2.59	1.62	1.93	ESTRIBO DOBLE	3P1	17	0.24	9.30	6.74	1.38	1.67
	1P2	8	0.35	5.07	2.07	2.45	2.90		3P2	22	0.21	14.01	8.05	1.74	2.13
	1P3	5	0.45	3.18	1.77	1.80	2.08		3P3	16	0.25	14.01	8.64	1.62	1.97
	1P4	5	0.45	2.27	2.00	1.13	1.31		3P4	16	0.25	16.56	8.66	1.91	2.32
	1P5	5	0.45	3.20	2.71	1.18	1.37		3P5	18	0.24	11.85	8.15	1.45	1.77
	1P6	5	0.45	3.92	2.98	1.32	1.52		3P6	21	0.22	14.52	8.54	1.70	2.08
	1P7	5	0.45	4.10	3.09	1.33	1.53		3P7	15	0.26	15.03	8.47	1.78	2.15
	1P8	6	0.41	5.78	2.84	2.04	2.38		3P8	15	0.26	15.16	8.63	1.76	2.12
	1P9	5	0.45	3.48	2.63	1.32	1.53		3P9	17	0.24	13.12	8.75	1.50	1.82
	1P10	5	0.45	3.98	3.68	1.08	1.25		3P10	18	0.24	16.05	11.46	1.40	1.70
	1P11	8	0.35	5.31	3.49	1.52	1.80		3P11	15	0.26	18.60	11.62	1.60	1.93
	1P12	5	0.45	4.96	4.20	1.18	1.36		3P12	15	0.26	19.36	11.56	1.67	2.02
ESTRIBO SIMPLE	2P1	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.60	ESTRIBO y GANCHO	3P1	17	0.24	9.30	6.76	1.38	1.67
	2P2	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.60		3P2	19	0.23	12.61	7.66	1.65	2.00
	2P3	10	0.32	5.52	4.33	1.28	1.52		3P3	15	0.26	14.39	8.27	1.74	2.10
	2P4	10	0.32	5.52	4.31	1.28	1.53		3P4	16	0.25	16.30	8.58	1.90	2.30
	2P5	10	0.32	6.72	5.34	1.26	1.50		3P5	17	0.24	11.72	8.15	1.44	1.75
	2P6	10	0.32	8.00	5.47	1.46	1.74		3P6	17	0.24	14.65	9.21	1.59	1.93
	2P7	10	0.32	7.91	4.56	1.73	2.07		3P7	15	0.26	15.16	9.34	1.62	1.96
	2P8	10	0.32	7.91	4.61	1.72	2.05		3P8	15	0.26	15.29	9.41	1.62	1.96
	2P9	11	0.30	8.46	5.41	1.56	1.87		3P9	17	0.24	13.12	8.81	1.49	1.81
	2P10	10	0.32	9.72	6.03	1.61	1.92		3P10	17	0.24	16.56	11.58	1.43	1.73
	2P11	10	0.32	10.01	5.93	1.69	2.01		3P11	18	0.24	18.47	11.78	1.57	1.91
	2P12	10	0.32	10.08	5.93	1.70	2.03		3P12	15	0.26	19.23	11.47	1.68	2.03
ESTRIBO DOBLE	2P1	10	0.32	5.52	3.89	1.42	1.69	ESTRIBO SIMPLE	4P1	21	0.22	20.00	14.99	1.33	1.63
	2P2	10	0.32	5.89	4.50	1.31	1.56		4P2	20	0.22	25.71	16.38	1.57	1.91
	2P3	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.55		4P3	21	0.22	29.29	17.50	1.67	2.04
	2P4	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.55		4P4	20	0.22	29.29	16.63	1.76	2.15
	2P5	10	0.32	6.62	5.37	1.23	1.47		4P5	24	0.20	27.14	17.62	1.54	1.89
	2P6	11	0.30	9.20	4.89	1.88	2.25		4P6	25	0.20	33.57	21.87	1.53	1.88
	2P7	10	0.32	9.57	5.12	1.87	2.23		4P7	24	0.20	38.57	23.92	1.61	1.97
	2P8	10	0.32	9.79	5.01	1.96	2.33		4P8	23	0.21	41.43	24.16	1.71	2.10
	2P9	11	0.30	8.24	5.55	1.49	1.78		4P9	21	0.22	30.00	18.92	1.59	1.94
	2P10	10	0.32	9.49	5.61	1.69	2.02		4P10	23	0.21	37.14	24.65	1.51	1.84
	2P11	10	0.32	9.94	5.57	1.78	2.13		4P11	20	0.22	42.86	28.64	1.50	1.82
	2P12	10	0.32	10.01	5.67	1.77	2.11		4P12	22	0.21	52.14	28.17	1.85	2.26

Se presentan los valores tabulados para R_R con $Kve = 0.22$ cuyo comportamiento se analizará en las gráficas 3.15, 3.16 y 3.17.

Tabla 3.6 Valores de $K_{ve} = 0.22$ para 4, 5, 6 pisos dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0.22	TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0.22
ESTRIBO DOBLE	4P1	20	0.22	20.00	15.02	1.33	1.62	ESTRIBO y GANCHO	5P1	25	0.20	17.68	14.23	1.24	1.52
	4P2	24	0.20	27.86	18.22	1.53	1.87		5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.59
	4P3	22	0.21	29.29	17.11	1.71	2.09		5P3	25	0.20	26.79	19.14	1.40	1.72
	4P4	20	0.22	30.00	17.21	1.74	2.13		5P5	25	0.20	30.54	20.15	1.52	1.86
	4P5	24	0.20	26.43	17.29	1.53	1.87		5P5	25	0.20	20.36	15.81	1.29	1.58
	4P6	23	0.21	32.86	21.62	1.52	1.86		5P6	25	0.20	29.46	20.83	1.41	1.73
	4P7	24	0.20	37.86	23.74	1.59	1.95		5P7	27	0.19	34.82	24.72	1.41	1.73
	4P8	23	0.21	40.71	24.48	1.66	2.03		5P8	25	0.20	34.29	26.41	1.30	1.59
	4P9	21	0.22	29.29	18.48	1.58	1.93		5P9	25	0.20	21.96	15.59	1.41	1.73
	4P10	22	0.21	36.43	24.22	1.50	1.84		5P10	25	0.20	27.86	20.75	1.34	1.65
	4P11	20	0.22	42.14	28.31	1.49	1.81		5P11	25	0.20	33.75	26.39	1.28	1.57
	4P12	20	0.22	41.43	31.22	1.33	1.62		5P12	25	0.20	38.04	31.00	1.23	1.50
ESTRIBO y GANCHO	4P1	21	0.22	20.00	15.06	1.33	1.62	ESTRIBO SIMPLE	6P1	30	0.18	18.75	14.85	1.26	1.55
	4P2	24	0.20	27.86	16.55	1.68	2.06		6P2	30	0.18	24.00	18.65	1.29	1.58
	4P3	21	0.22	29.29	16.40	1.79	2.18		6P3	30	0.18	29.25	22.17	1.32	1.62
	4P4	20	0.22	30.00	17.74	1.69	2.06		6P4	33	0.17	33.75	23.93	1.41	1.74
	4P5	25	0.20	27.14	17.49	1.55	1.90		6P5	30	0.18	21.75	14.90	1.46	1.80
	4P6	24	0.20	32.86	21.86	1.50	1.84		6P6	30	0.18	27.75	20.45	1.36	1.67
	4P7	24	0.20	37.86	23.45	1.61	1.98		6P7	30	0.18	33.00	26.96	1.22	1.51
	4P8	23	0.21	40.71	24.50	1.66	2.03		6P8	30	0.18	37.50	30.37	1.23	1.52
	4P9	21	0.22	29.29	18.29	1.60	1.95		6P9	30	0.18	24.00	14.61	1.64	2.02
	4P10	23	0.21	37.14	24.83	1.50	1.83		6P10	30	0.18	30.75	21.64	1.42	1.75
	4P11	21	0.22	42.14	28.18	1.50	1.83		6P11	30	0.18	36.75	27.69	1.33	1.63
	4P12	20	0.22	41.43	31.41	1.32	1.61		6P12	30	0.18	41.25	32.67	1.26	1.55
ESTRIBO SIMPLE	5P1	25	0.20	17.68	13.70	1.29	1.58	ESTRIBO DOBLE	6P1	30	0.18	19.50	14.96	1.30	1.60
	5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.59		6P2	30	0.18	24.75	18.67	1.33	1.63
	5P3	25	0.20	26.79	19.45	1.38	1.69		6P3	30	0.18	28.50	21.76	1.31	1.61
	5P4	25	0.20	30.54	20.90	1.46	1.79		6P4	30	0.18	32.25	23.88	1.35	1.66
	5P5	25	0.20	20.36	15.27	1.33	1.63		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	1.83
	5P6	25	0.20	30.00	21.29	1.41	1.73		6P6	30	0.18	27.75	20.72	1.34	1.65
	5P7	28	0.19	34.82	23.81	1.46	1.80		6P7	30	0.18	33.00	25.42	1.30	1.60
	5P8	25	0.20	34.29	27.71	1.24	1.52		6P8	30	0.18	37.50	29.80	1.26	1.55
	5P9	25	0.20	21.96	15.76	1.39	1.71		6P9	30	0.18	24.75	15.75	1.57	1.93
	5P10	25	0.20	28.39	21.21	1.34	1.64		6P10	30	0.18	30.75	21.52	1.43	1.76
	5P11	25	0.20	33.75	26.36	1.28	1.57		6P11	30	0.18	36.75	27.65	1.33	1.64
	5P12	25	0.20	38.04	30.47	1.25	1.53		6P12	30	0.18	41.25	32.88	1.25	1.54
ESTRIBO DOBLE	5P1	25	0.20	17.14	14.30	1.20	1.47	ESTRIBO y GANCHO	6P1	30	0.18	19.50	14.97	1.30	1.60
	5P2	25	0.20	22.50	16.94	1.33	1.63		6P2	30	0.18	24.00	18.64	1.29	1.58
	5P3	26	0.20	27.32	18.90	1.45	1.77		6P3	30	0.18	29.25	22.24	1.32	1.62
	5P4	27	0.19	32.14	20.68	1.55	1.91		6P4	30	0.18	33.00	24.66	1.34	1.65
	5P5	25	0.20	19.82	15.70	1.26	1.55		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	1.83
	5P6	25	0.20	29.46	20.53	1.44	1.76		6P6	30	0.18	27.75	20.39	1.36	1.67
	5P7	27	0.19	34.82	24.47	1.42	1.75		6P7	30	0.18	33.00	25.79	1.28	1.57
	5P8	25	0.20	34.29	25.73	1.33	1.63		6P8	30	0.18	37.50	30.40	1.23	1.52
	5P9	25	0.20	22.50	15.68	1.44	1.76		6P9	30	0.18	24.00	15.66	1.53	1.89
	5P10	25	0.20	27.86	20.74	1.34	1.65		6P10	30	0.18	30.75	21.62	1.42	1.75
	5P11	25	0.20	33.75	26.22	1.29	1.58		6P11	30	0.18	36.75	27.56	1.33	1.64
	5P12	25	0.20	38.04	30.99	1.23	1.50		6P12	30	0.18	41.25	32.58	1.27	1.56

En la tabla 3.6 se presentan los valores de R_r para estructuras de 4,5, 6 pisos de los cuales se presenta un $R_r=1.92$ siendo éste el más alto valor entre los pisos anteriormente mencionados. Tanto para la tabla 3.5 como para la 3.6 se tomaron los mismos valores de las tablas 3.3 y 3.4 para las rótulas, los cortantes e índices tanto de redundancia como de resistencia, siendo la única variante el factor de redundancia.

En la figura 3.15 se considera el mayor valor de $R_R=1.97$ para tres pisos de las seis estructuras analizadas.

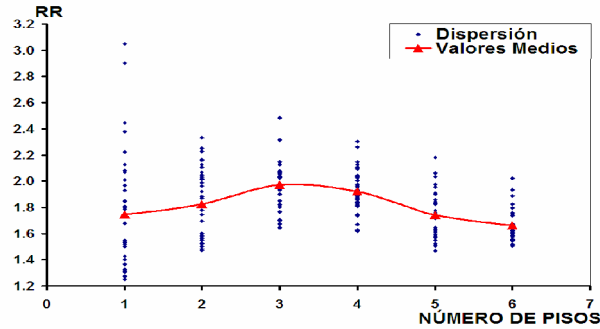


Figura 3.15 Diagrama dispersión de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.22$ para dos vanos.

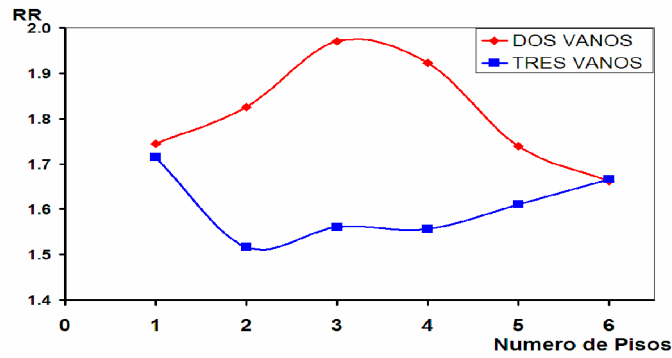


Figura 3.16 Diagrama valores medios de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.22$ para dos y tres vanos

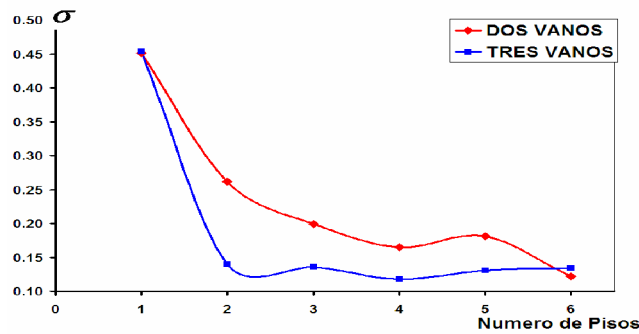


Figura 3.17 Desviación estándar de los valores del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.22$ para dos y tres vanos

Los valores obtenidos para la figura 3.16 están claramente definidos siguen demostrando que el factor de redundancia para dos vanos presentan los valores de mayor connotación en relación con los valores presentados para tres vanos.

Al comparar con los valores de $K_{ve}=0.12$ con los valores de $K_{ve}=0.22$ se determina que el valor más alto del coeficiente de redundancia es para tres pisos, el cuál se comporta de la misma manera para ambos casos.

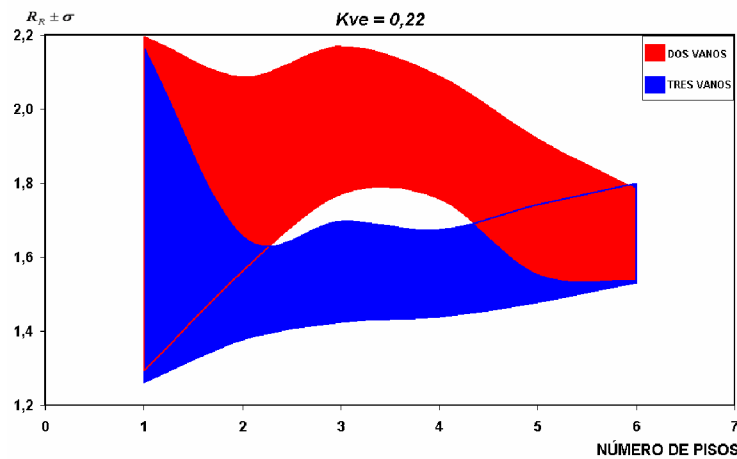


Figura 3.18 Comparación de dos y tres vanos consecuencia de la relación del factor de redundancia más menos la desviación estándar en función al número de pisos para $K_{ve}=0.22$.

En la figura 3.18 se denota el comportamiento determinado con la desviación estándar, esto genera una idea más clara del comportamiento para R_R .

Al comparar los valores obtenidos para el factor $R_R \pm \sigma$ que se tuvo para $K_{ve}=0.12$ y $K_{ve}=0.22$ se sacó un porcentaje de diferencia del 15% la cual se establece como variación de valores presente, en el estudio realizado.

3.4.3 VALORES DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN ELÁSTICA $K_{ve} = 0.35$.

Tabla 3.7 Valores de $K_{ve} = 0.35$ para 1, 2, 3, 4 pisos dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR $K_{ve}=0,35$	TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR $K_{ve}=0,35$
ESTRIBO SIMPLE	1P1	10	0.32	4.21	2.78	1.51	2.07	ESTRIBO y GANCHO	2P1	12	0.29	5.89	4.42	1.33	1.84
	1P2	8	0.35	4.93	3.16	1.56	2.10		2P2	10	0.32	5.89	4.43	1.33	1.82
	1P3	7	0.38	4.87	1.88	2.59	3.46		2P3	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.81
	1P4	6	0.41	5.00	3.15	1.59	2.09		2P4	10	0.32	5.89	4.46	1.32	1.81
	1P5	6	0.41	3.10	2.74	1.13	1.49		2P5	10	0.32	6.62	5.34	1.24	1.70
	1P6	5	0.45	3.20	2.79	1.15	1.49		2P6	10	0.32	7.91	5.31	1.49	2.04
	1P7	5	0.45	3.22	2.84	1.13	1.47		2P7	10	0.32	7.91	4.37	1.81	2.48
	1P8	5	0.45	3.25	2.88	1.13	1.46		2P8	10	0.32	7.80	4.30	1.81	2.48
	1P9	5	0.45	3.51	2.63	1.34	1.73		2P9	11	0.30	8.32	5.43	1.53	2.11
	1P10	5	0.45	4.01	3.65	1.10	1.42		2P10	10	0.32	9.64	6.11	1.58	2.16
	1P11	8	0.35	5.22	3.46	1.51	2.04		2P11	10	0.32	9.86	5.99	1.65	2.25
	1P12	5	0.45	5.02	4.13	1.21	1.58		2P12	10	0.32	10.01	6.00	1.67	2.28
ESTRIBO DOBLE	1p1	8	0.35	3.89	2.34	1.66	2.24	ESTRIBO SIMPLE	3P1	15	0.26	9.04	6.65	1.36	1.90
	1P2	8	0.35	4.87	2.70	1.80	2.43		3P2	19	0.23	12.48	7.46	1.67	2.37
	1P3	6	0.41	4.96	2.80	1.77	2.33		3P3	15	0.26	13.63	8.02	1.70	2.38
	1P4	6	0.41	5.47	3.18	1.72	2.27		3P4	18	0.24	16.43	8.05	2.04	2.88
	1P5	5	0.45	2.84	2.30	1.23	1.60		3P5	17	0.24	11.97	8.05	1.49	2.09
	1P6	7	0.38	5.22	2.76	1.89	2.52		3P6	21	0.22	14.65	8.81	1.66	2.36
	1P7	5	0.45	4.19	2.89	1.45	1.88		3P7	15	0.26	15.16	8.88	1.71	2.39
	1P8	7	0.38	6.02	2.89	2.08	2.78		3P8	15	0.26	15.29	9.08	1.68	2.36
	1P9	5	0.45	3.39	2.61	1.30	1.69		3P9	17	0.24	13.37	8.77	1.52	2.15
	1P10	5	0.45	3.92	3.56	1.10	1.43		3P10	18	0.24	16.56	11.84	1.40	1.97
	1P11	8	0.35	5.04	3.41	1.48	1.99		3P11	19	0.23	18.85	12.07	1.56	2.21
	1P12	5	0.45	5.04	3.76	1.34	1.74		3P12	16	0.25	19.49	12.04	1.62	2.27
ESTRIBO y GANCHO	1P1	10	0.32	4.19	2.59	1.62	2.21	ESTRIBO DOBLE	3P1	17	0.24	9.30	6.74	1.38	1.94
	1P2	8	0.35	5.07	2.07	2.45	3.31		3P2	22	0.21	14.01	8.05	1.74	2.48
	1P3	5	0.45	3.18	1.77	1.80	2.33		3P3	16	0.25	14.01	8.64	1.62	2.28
	1P4	5	0.45	2.27	2.00	1.13	1.47		3P4	16	0.25	16.56	8.66	1.91	2.68
	1P5	5	0.45	3.20	2.71	1.18	1.53		3P5	18	0.24	11.85	8.15	1.45	2.05
	1P6	5	0.45	3.92	2.98	1.32	1.71		3P6	21	0.22	14.52	8.54	1.70	2.42
	1P7	5	0.45	4.10	3.09	1.33	1.72		3P7	15	0.26	15.03	8.47	1.78	2.48
	1P8	6	0.41	5.78	2.84	2.04	2.69		3P8	15	0.26	15.16	8.63	1.76	2.46
	1P9	5	0.45	3.48	2.63	1.32	1.72		3P9	17	0.24	13.12	8.75	1.50	2.11
	1P10	5	0.45	3.98	3.68	1.08	1.40		3P10	18	0.24	16.05	11.46	1.40	1.98
	1P11	8	0.35	5.31	3.49	1.52	2.05		3P11	15	0.26	18.60	11.62	1.60	2.24
	1P12	5	0.45	4.96	4.20	1.18	1.53		3P12	15	0.26	19.36	11.56	1.67	2.34
ESTRIBO SIMPLE	2P1	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.84	ESTRIBO y GANCHO	3P1	17	0.24	9.30	6.76	1.38	1.94
	2P2	10	0.32	5.89	4.38	1.34	1.84		3P2	19	0.23	12.61	7.66	1.65	2.33
	2P3	10	0.32	5.52	4.33	1.28	1.75		3P3	15	0.26	14.39	8.27	1.74	2.44
	2P4	10	0.32	5.52	4.31	1.28	1.75		3P4	16	0.25	16.30	8.58	1.90	2.67
	2P5	10	0.32	6.72	5.34	1.26	1.72		3P5	17	0.24	11.72	8.15	1.44	2.03
	2P6	10	0.32	8.00	5.47	1.46	2.00		3P6	17	0.24	14.65	9.21	1.59	2.24
	2P7	10	0.32	7.91	4.56	1.73	2.37		3P7	15	0.26	15.16	9.34	1.62	2.27
	2P8	10	0.32	7.91	4.61	1.72	2.35		3P8	15	0.26	15.29	9.41	1.62	2.27
	2P9	11	0.30	8.46	5.41	1.56	2.15		3P9	17	0.24	13.12	8.81	1.49	2.10
	2P10	10	0.32	9.72	6.03	1.61	2.20		3P10	17	0.24	16.56	11.58	1.43	2.01
	2P11	10	0.32	10.01	5.93	1.69	2.31		3P11	18	0.24	18.47	11.78	1.57	2.21
	2P12	10	0.32	10.08	5.93	1.70	2.33		3P12	15	0.26	19.23	11.47	1.68	2.35
ESTRIBO DOBLE	2P1	10	0.32	5.52	3.89	1.42	1.94	ESTRIBO SIMPLE	4P1	21	0.22	20.00	14.99	1.33	1.90
	2P2	10	0.32	5.89	4.50	1.31	1.79		4P2	20	0.22	25.71	16.38	1.57	2.23
	2P3	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.77		4P3	21	0.22	29.29	17.50	1.67	2.38
	2P4	10	0.32	5.89	4.54	1.30	1.77		4P4	20	0.22	29.29	16.63	1.76	2.50
	2P5	10	0.32	6.62	5.37	1.23	1.69		4P5	24	0.20	27.14	17.62	1.54	2.20
	2P6	11	0.30	9.20	4.89	1.88	2.59		4P6	25	0.20	33.57	21.87	1.53	2.20
	2P7	10	0.32	9.57	5.12	1.87	2.56		4P7	24	0.20	38.57	23.92	1.61	2.30
	2P8	10	0.32	9.79	5.01	1.96	2.68		4P8	23	0.21	41.43	24.16	1.71	2.45
	2P9	11	0.30	8.24	5.55	1.49	2.04		4P9	21	0.22	30.00	18.92	1.59	2.25
	2P10	10	0.32	9.49	5.61	1.69	2.31		4P10	23	0.21	37.14	24.65	1.51	2.15
	2P11	10	0.32	9.94	5.57	1.78	2.44		4P11	20	0.22	42.86	28.64	1.50	2.12
	2P12	10	0.32	10.01	5.67	1.77	2.42		4P12	22	0.21	52.14	28.17	1.85	2.64

Tabla 3.8 Valores de $K_{ve} = 0.35$ para 4, 5, 6 pisos dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0,35	TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Kve=0,35
ESTRIBO DOBLE	4P1	20	0.22	20.00	15.02	1.33	1.89	ESTRIBO y GANCHO	5P1	25	0.20	17.68	14.23	1.24	1.78
	4P2	24	0.20	27.86	18.22	1.53	2.18		5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.86
	4P3	22	0.21	29.29	17.11	1.71	2.44		5P3	25	0.20	26.79	19.14	1.40	2.00
	4P4	20	0.22	30.00	17.21	1.74	2.47		5P5	25	0.20	30.54	20.15	1.52	2.17
	4P5	24	0.20	26.43	17.29	1.53	2.18		5P5	25	0.20	20.36	15.81	1.29	1.84
	4P6	23	0.21	32.86	21.62	1.52	2.17		5P6	25	0.20	29.46	20.83	1.41	2.02
	4P7	24	0.20	37.86	23.74	1.59	2.28		5P7	27	0.19	34.82	24.72	1.41	2.02
	4P8	23	0.21	40.71	24.48	1.66	2.37		5P8	25	0.20	34.29	26.41	1.30	1.86
	4P9	21	0.22	29.29	18.48	1.58	2.25		5P9	25	0.20	21.96	15.59	1.41	2.02
	4P10	22	0.21	36.43	24.22	1.50	2.14		5P10	25	0.20	27.86	20.75	1.34	1.92
	4P11	20	0.22	42.14	28.31	1.49	2.11		5P11	25	0.20	33.75	26.39	1.28	1.83
	4P12	20	0.22	41.43	31.22	1.33	1.88		5P12	25	0.20	38.04	31.00	1.23	1.76
ESTRIBO y GANCHO	4P1	21	0.22	20.00	15.06	1.33	1.89	ESTRIBO SIMPLE	6P1	30	0.18	18.75	14.85	1.26	1.82
	4P2	24	0.20	27.86	16.55	1.68	2.40		6P2	30	0.18	24.00	18.65	1.29	1.85
	4P3	21	0.22	29.29	16.40	1.79	2.54		6P3	30	0.18	29.25	22.17	1.32	1.90
	4P4	20	0.22	30.00	17.74	1.69	2.40		6P4	33	0.17	33.75	23.93	1.41	2.04
	4P5	25	0.20	27.14	17.49	1.55	2.22		6P5	30	0.18	21.75	14.90	1.46	2.10
	4P6	24	0.20	32.86	21.86	1.50	2.15		6P6	30	0.18	27.75	20.45	1.36	1.95
	4P7	24	0.20	37.86	23.45	1.61	2.31		6P7	30	0.18	33.00	26.96	1.22	1.76
	4P8	23	0.21	40.71	24.50	1.66	2.37		6P8	30	0.18	37.50	30.37	1.23	1.78
	4P9	21	0.22	29.29	18.29	1.60	2.28		6P9	30	0.18	24.00	14.61	1.64	2.37
	4P10	23	0.21	37.14	24.83	1.50	2.13		6P10	30	0.18	30.75	21.64	1.42	2.05
	4P11	21	0.22	42.14	28.18	1.50	2.13		6P11	30	0.18	36.75	27.69	1.33	1.91
	4P12	20	0.22	41.43	31.41	1.32	1.87		6P12	30	0.18	41.25	32.67	1.26	1.82
ESTRIBO SIMPLE	5P1	25	0.20	17.68	13.70	1.29	1.85	ESTRIBO DOBLE	6P1	30	0.18	19.50	14.96	1.30	1.88
	5P2	25	0.20	22.50	17.34	1.30	1.86		6P2	30	0.18	24.75	18.67	1.33	1.91
	5P3	25	0.20	26.79	19.45	1.38	1.97		6P3	30	0.18	28.50	21.76	1.31	1.89
	5P4	25	0.20	30.54	20.90	1.46	2.09		6P4	30	0.18	32.25	23.88	1.35	1.95
	5P5	25	0.20	20.36	15.27	1.33	1.91		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	2.14
	5P6	25	0.20	30.00	21.29	1.41	2.02		6P6	30	0.18	27.75	20.72	1.34	1.93
	5P7	28	0.19	34.82	23.81	1.46	2.10		6P7	30	0.18	33.00	25.42	1.30	1.87
	5P8	25	0.20	34.29	27.71	1.24	1.77		6P8	30	0.18	37.50	29.80	1.26	1.81
	5P9	25	0.20	21.96	15.76	1.39	1.99		6P9	30	0.18	24.75	15.75	1.57	2.26
	5P10	25	0.20	28.39	21.21	1.34	1.92		6P10	30	0.18	30.75	21.52	1.43	2.06
	5P11	25	0.20	33.75	26.36	1.28	1.83		6P11	30	0.18	36.75	27.65	1.33	1.91
	5P12	25	0.20	38.04	30.47	1.25	1.79		6P12	30	0.18	41.25	32.88	1.25	1.81
ESTRIBO DOBLE	5P1	25	0.20	17.14	14.30	1.20	1.72	ESTRIBO y GANCHO	6P1	30	0.18	19.50	14.97	1.30	1.88
	5P2	25	0.20	22.50	16.94	1.33	1.90		6P2	30	0.18	24.00	18.64	1.29	1.85
	5P3	26	0.20	27.32	18.90	1.45	2.07		6P3	30	0.18	29.25	22.24	1.32	1.89
	5P4	27	0.19	32.14	20.68	1.55	2.23		6P4	30	0.18	33.00	24.66	1.34	1.93
	5P5	25	0.20	19.82	15.70	1.26	1.81		6P5	30	0.18	21.75	14.66	1.48	2.14
	5P6	25	0.20	29.46	20.53	1.44	2.05		6P6	30	0.18	27.75	20.39	1.36	1.96
	5P7	27	0.19	34.82	24.47	1.42	2.04		6P7	30	0.18	33.00	25.79	1.28	1.84
	5P8	25	0.20	34.29	25.73	1.33	1.91		6P8	30	0.18	37.50	30.40	1.23	1.78
	5P9	25	0.20	22.50	15.68	1.44	2.05		6P9	30	0.18	24.00	15.66	1.53	2.21
	5P10	25	0.20	27.86	20.74	1.34	1.92		6P10	30	0.18	30.75	21.62	1.42	2.05
	5P11	25	0.20	33.75	26.22	1.29	1.84		6P11	30	0.18	36.75	27.56	1.33	1.92
	5P12	25	0.20	38.04	30.99	1.23	1.76		6P12	30	0.18	41.25	32.58	1.27	1.82

Tanto en la tabla 3.7 y 3.8 se analiza el comportamiento de R_R para un $K_{ve}=0.35$ con variación.

En la figura 3.19 observamos que el mayor valor de R_R se sigue presentando para tres pisos tomando en cuenta que corresponden a los valores medios de la dispersión de R_R con un $K_{ve} = 0.35$ para cada piso. El valor máximo de $R_R = 2.29$. El resto de valores de R_R se encuentra comprendido entre rangos de 1.95 a 2.29.

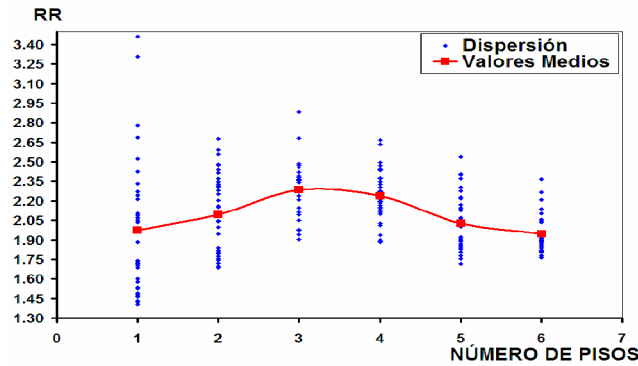


Figura 3.19 Diagrama dispersión de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.35$ para dos vanos.

En la figura 3.20 se determina el comportamiento de R_R con un K_{ve} de 0.35, éste es similar a los analizados en las figuras 3.12 y 3.16. Obteniéndose el mayor valor del sistema para dos vanos con un $R_R=2.29$ y el menor valor de $R_R=1.75$ para tres vanos.

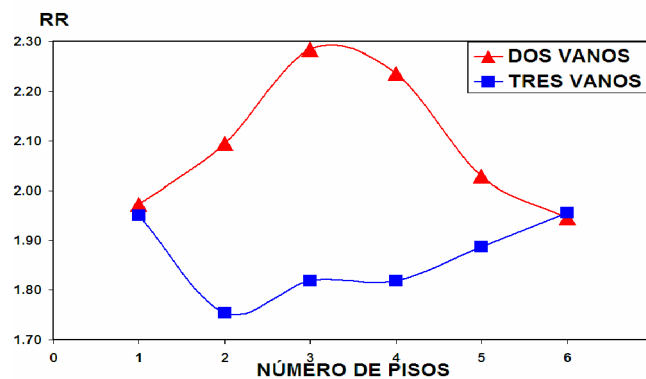


Figura 3.20 Diagrama valores medios de la variación del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.35$ para dos y tres vanos

El valor promedio de R_R para las graficas de la figura 3.20 tanto para dos como tres vanos es de 1.96, dado que para tres vanos no existen valores superiores a éste valor y para dos vanos no existen valores menores para el mismo.

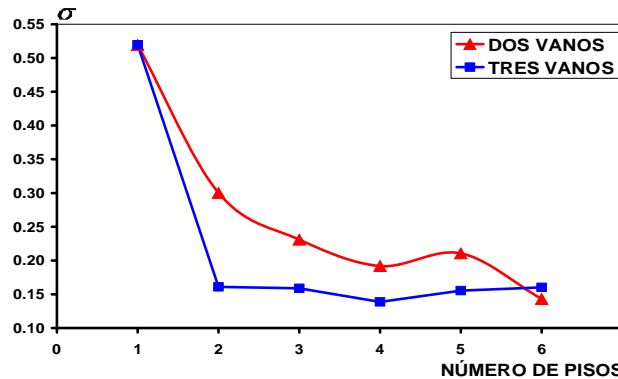


Figura 3.21 Desviación estándar de los valores del Factor de redundancia en función del número de pisos para un $K_{ve}=0.35$ para dos y tres vanos.

En la figura 3.21 se detalla la desviación estándar de los valores, los cuales presentan un punto común de llegada para un piso siendo éste el mayor valor de $R_R = 0.52$ y en el resto de pisos existe una equidistancia entre los valores de dos como de tres vanos siendo la más notoria para dos pisos.

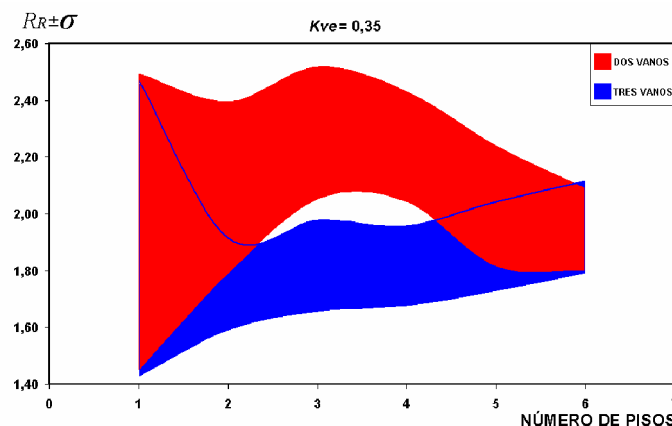


Figura 3.22 Comparación de dos y tres vanos consecuencia de la relación del factor de redundancia más menos la desviación estándar en función al número de pisos para $K_{ve}= 0.35$

Para la figura 3.22 se observa claramente el comportamiento de rango de acción de $R_R \pm \sigma$.

3.5 RESULTADOS DEL FACTOR DE REDUNDANCIA DE FUERZAS SÍSMICAS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA.

Básicamente hemos analizado nuestra estructura por medio de Tsopelas y Gusain, y hemos encontrado resultados esperados. En esta parte del capítulo vamos a realizar una propuesta de cálculo en base al cortante basal de la estructura que lo llamaremos V_U , relacionado a V_1 que es el cortante basal asociado a la formación de la primera rótula plástica.

$$\gamma_s = \frac{V_u}{V_y} \quad (3.1)$$

De tal manera que el índice de resistencia definido por los cortantes se obtiene al relacionar con el número de rótulas extraídas del programa disipa y asociado con el número de rótulas totales, las cuales se toman al formarse éstas al pie y cabeza de columna o a los extremos de las vigas. De todo este análisis se tiene la ecuación 3.2 con la cual se comparará los resultados conseguidos en las propuestas anteriores.

$$R_R = \frac{\# \text{ de rótulas} \times \gamma_s}{\# \text{ total de rótulas}} \quad (3.2)$$

En base a la propuesta analizada se detallarán los resultados de R_R obtenidos al representarlos en las tablas 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14. Éstas tablas se realizan en función del número de rótulas formadas en la estructura, las cuales dependerán del número de vanos, de pisos y de la forma que presente la estructura.

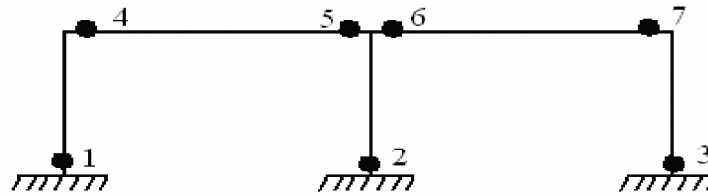


Figura 3.23 Mecanismo de colapso para un piso dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NUMERO TOTAL DE RÓTULAS = 7

Tabla 3.9 Valores de R_R con la metodología propuesta para un piso y dos vanos.

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	1P1	10	0.316	4.210	2.780	1.510	2.160
	1P2	8	0.354	4.930	3.160	1.560	1.780
	1P3	7	0.378	4.870	1.880	2.590	2.590
	1P4	6	0.408	5.000	3.150	1.590	1.360
	1P5	6	0.408	3.100	2.740	1.130	0.970
	1P6	5	0.447	3.200	2.790	1.150	0.820
	1P7	5	0.447	3.220	2.840	1.130	0.810
	1P8	5	0.447	3.250	2.880	1.130	0.810
	1P9	5	0.447	3.510	2.630	1.340	0.950
	1P10	5	0.447	4.010	3.650	1.100	0.780
	1P11	8	0.354	5.220	3.460	1.510	1.730
	1P12	5	0.447	5.020	4.130	1.210	0.870
ESTRIBO DOBLE	1P1	8	0.354	3.890	2.340	1.660	1.900
	1P2	8	0.354	4.870	2.700	1.800	2.060
	1P3	6	0.408	4.960	2.800	1.770	1.520
	1P4	6	0.408	5.470	3.180	1.720	1.480
	1P5	5	0.447	2.840	2.300	1.230	0.880
	1P6	7	0.378	5.220	2.760	1.890	1.890
	1P7	5	0.447	4.190	2.890	1.450	1.040
	1P8	7	0.378	6.020	2.890	2.080	2.080
	1P9	5	0.447	3.390	2.610	1.300	0.930
	1P10	5	0.447	3.920	3.560	1.100	0.790
	1P11	8	0.354	5.040	3.410	1.480	1.690
	1P12	5	0.447	5.040	3.760	1.340	0.960
Estribo y GANCHO	1P1	10	0.316	4.190	2.590	1.620	2.310
	1P2	8	0.354	5.070	2.070	2.450	2.810
	1P3	5	0.447	3.180	1.770	1.800	1.280
	1P4	5	0.447	2.270	2.000	1.130	0.810
	1P5	5	0.447	3.200	2.710	1.180	0.840
	1P6	5	0.447	3.920	2.980	1.320	0.940
	1P7	5	0.447	4.100	3.090	1.330	0.950
	1P8	6	0.408	5.780	2.840	2.040	1.750
	1P9	5	0.447	3.480	2.630	1.320	0.950
	1P10	5	0.447	3.980	3.680	1.080	0.770
	1P11	8	0.354	5.310	3.490	1.520	1.740
	1P12	5	0.447	4.960	4.200	1.180	0.840

En la tabla 3.9 se representan los valores de las rótulas obtenidas por medio del programa DISIPA, los valores de R_R por la metodología propuesta.

El número de rótulas totales obtenidas en la estructura fue de 7

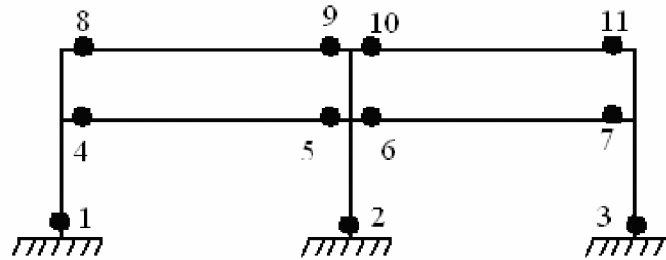


Figura 3.24 Mecanismo de colapso para dos pisos dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NÚMERO TOTAL DE RÓTULAS= 11

Tabla 3.10 Valores de R_R con la metodología propuesta para dos pisos y dos vanos

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	2P1	10	0.316	5.890	4.380	1.340	1.220
	2P2	10	0.316	5.890	4.380	1.340	1.220
	2P3	10	0.316	5.520	4.330	1.280	1.160
	2P4	10	0.316	5.520	4.310	1.280	1.160
	2P5	10	0.316	6.720	5.340	1.260	1.140
	2P6	10	0.316	8.000	5.470	1.460	1.330
	2P7	10	0.316	7.910	4.560	1.730	1.580
	2P8	10	0.316	7.910	4.610	1.720	1.560
	2P9	11	0.302	8.460	5.410	1.560	1.560
	2P10	10	0.316	9.720	6.030	1.610	1.460
	2P11	10	0.316	10.010	5.930	1.690	1.530
	2P12	10	0.316	10.080	5.930	1.700	1.550
ESTRIBO DOBLE	2P1	10	0.316	5.520	3.890	1.420	1.290
	2P2	10	0.316	5.890	4.500	1.310	1.190
	2P3	10	0.316	5.890	4.540	1.300	1.180
	2P4	10	0.316	5.890	4.540	1.300	1.180
	2P5	10	0.316	6.620	5.370	1.230	1.120
	2P6	11	0.302	9.200	4.890	1.880	1.880
	2P7	10	0.316	9.570	5.120	1.870	1.700
	2P8	10	0.316	9.790	5.010	1.960	1.780
	2P9	11	0.302	8.240	5.550	1.490	1.490
	2P10	10	0.316	9.490	5.610	1.690	1.540
	2P11	10	0.316	9.940	5.570	1.780	1.620
	2P12	10	0.316	10.010	5.670	1.770	1.610
Estribo y GANCHO	2P1	12	0.289	5.890	4.420	1.330	1.450
	2P2	10	0.316	5.890	4.430	1.330	1.210
	2P3	10	0.316	5.890	4.460	1.320	1.200
	2P4	10	0.316	5.890	4.460	1.320	1.200
	2P5	10	0.316	6.620	5.340	1.240	1.130
	2P6	10	0.316	7.910	5.310	1.490	1.350
	2P7	10	0.316	7.910	4.370	1.810	1.650
	2P8	10	0.316	7.800	4.300	1.810	1.650
	2P9	11	0.302	8.320	5.430	1.530	1.530
	2P10	10	0.316	9.640	6.110	1.580	1.440
	2P11	10	0.316	9.860	5.990	1.650	1.500
	2P12	10	0.316	10.010	6.000	1.670	1.520

Valores de R_R representados por las rótulas plásticas formadas en estructura de 2 pisos.

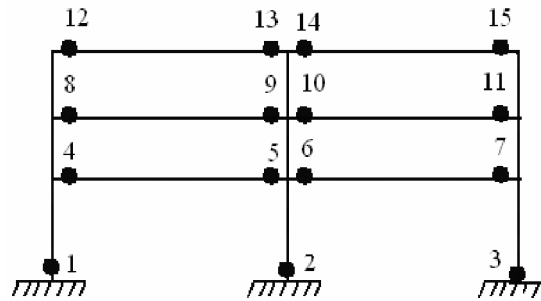


Figura 3.25 Mecanismo de colapso para tres pisos dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NÚMERO TOTAL DE RÓTULAS= 15

Tabla 3.11 Valores de R_R con la metodología propuesta para tres pisos y dos vanos.

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	3P1	15	0.258	9.040	6.650	1.360	1.360
	3P2	19	0.229	12.480	7.460	1.670	2.120
	3P3	15	0.258	13.630	8.020	1.700	1.700
	3P4	18	0.236	16.430	8.050	2.040	2.450
	3P5	17	0.243	11.970	8.050	1.490	1.690
	3P6	21	0.218	14.650	8.810	1.660	2.330
	3P7	15	0.258	15.160	8.880	1.710	1.710
	3P8	15	0.258	15.290	9.080	1.680	1.680
	3P9	17	0.243	13.370	8.770	1.520	1.730
	3P10	18	0.236	16.560	11.840	1.400	1.680
	3P11	19	0.229	18.850	12.070	1.560	1.980
	3P12	16	0.250	19.490	12.040	1.620	1.730
ESTRIBO DOBLE	3P1	17	0.243	9.300	6.740	1.380	1.560
	3P2	22	0.213	14.010	8.050	1.740	2.550
	3P3	16	0.250	14.010	8.640	1.620	1.730
	3P4	16	0.250	16.560	8.660	1.910	2.040
	3P5	18	0.236	11.850	8.150	1.450	1.740
	3P6	21	0.218	14.520	8.540	1.700	2.380
	3P7	15	0.258	15.030	8.470	1.780	1.780
	3P8	15	0.258	15.160	8.630	1.760	1.760
	3P9	17	0.243	13.120	8.750	1.500	1.700
	3P10	18	0.236	16.050	11.460	1.400	1.680
	3P11	15	0.258	18.600	11.620	1.600	1.600
	3P12	15	0.258	19.360	11.560	1.670	1.670
Estribo y GANCHO	3P1	17	0.243	9.300	6.760	1.380	1.560
	3P2	19	0.229	12.610	7.660	1.650	2.090
	3P3	15	0.258	14.390	8.270	1.740	1.740
	3P4	16	0.250	16.300	8.580	1.900	2.030
	3P5	17	0.243	11.720	8.150	1.440	1.630
	3P6	17	0.243	14.650	9.210	1.590	1.800
	3P7	15	0.258	15.160	9.340	1.620	1.620
	3P8	15	0.258	15.290	9.410	1.620	1.620
	3P9	17	0.243	13.120	8.810	1.490	1.690
	3P10	17	0.243	16.560	11.580	1.430	1.620
	3P11	18	0.236	18.470	11.780	1.570	1.880
	3P12	15	0.258	19.230	11.470	1.680	1.680

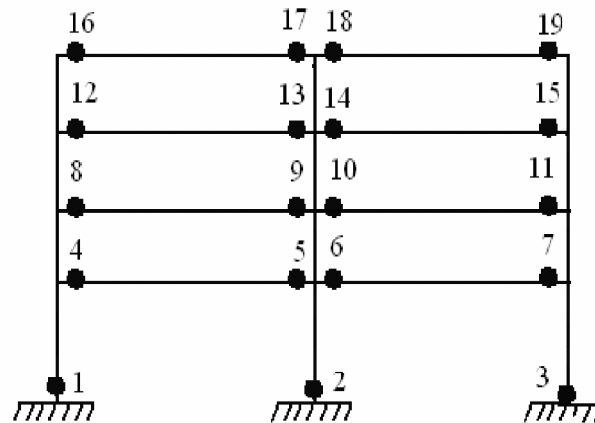


Figura 3.26 Mecanismo de colapso para cuatro pisos dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NÚMERO TOTAL DE RÓTULAS= 19

Tabla 3.12 Valores de R_R con la metodología propuesta para cuatro pisos y dos vanos.

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	4P1	21	0.218	20.000	14.990	1.330	1.470
	4P2	20	0.224	25.710	16.380	1.570	1.650
	4P3	21	0.218	29.290	17.500	1.670	1.850
	4P4	20	0.224	29.290	16.630	1.760	1.850
	4P5	24	0.204	27.140	17.620	1.540	1.950
	4P6	25	0.200	33.570	21.870	1.530	2.020
	4P7	24	0.204	38.570	23.920	1.610	2.040
	4P8	23	0.209	41.430	24.160	1.710	2.080
	4P9	21	0.218	30.000	18.920	1.590	1.750
	4P10	23	0.209	37.140	24.650	1.510	1.820
	4P11	20	0.224	42.860	28.640	1.500	1.580
	4P12	22	0.213	52.140	28.170	1.850	2.140
ESTRIBO DOBLE	4P1	20	0.224	20.000	15.020	1.330	1.400
	4P2	24	0.204	27.860	18.220	1.530	1.930
	4P3	22	0.213	29.290	17.110	1.710	1.980
	4P4	20	0.224	30.000	17.210	1.740	1.840
	4P5	24	0.204	26.430	17.290	1.530	1.930
	4P6	23	0.209	32.860	21.620	1.520	1.840
	4P7	24	0.204	37.860	23.740	1.590	2.010
	4P8	23	0.209	40.710	24.480	1.660	2.010
	4P9	21	0.218	29.290	18.480	1.580	1.750
	4P10	22	0.213	36.430	24.220	1.500	1.740
	4P11	20	0.224	42.140	28.310	1.490	1.570
	4P12	20	0.224	41.430	31.220	1.330	1.400
Estribo y GANCHO	4P1	21	0.218	20.000	15.060	1.330	1.470
	4P2	24	0.204	27.860	16.550	1.680	2.130
	4P3	21	0.218	29.290	16.400	1.790	1.970
	4P4	20	0.224	30.000	17.740	1.690	1.780
	4P5	25	0.200	27.140	17.490	1.550	2.040
	4P6	24	0.204	32.860	21.860	1.500	1.900
	4P7	24	0.204	37.860	23.450	1.610	2.040
	4P8	23	0.209	40.710	24.500	1.660	2.010
	4P9	21	0.218	29.290	18.290	1.600	1.770
	4P10	23	0.209	37.140	24.830	1.500	1.810
	4P11	21	0.218	42.140	28.180	1.500	1.650
	4P12	20	0.224	41.430	31.410	1.320	1.390

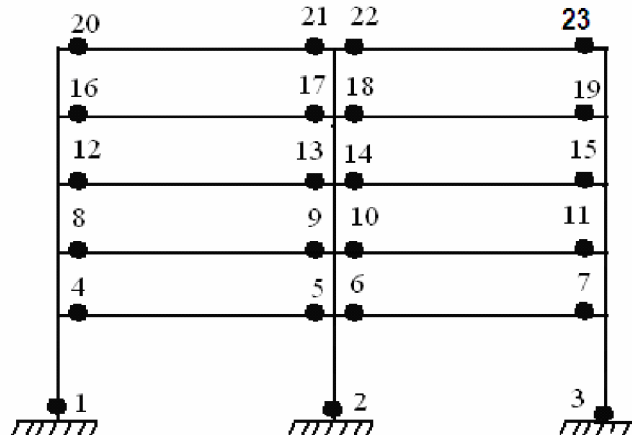


Figura 3.27 Mecanismo de colapso para cinco pisos dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NÚMERO TOTAL DE RÓTULAS= 23

Tabla 3.13 Valores de R_R con la metodología propuesta para cinco pisos y dos vanos.

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	5P1	25	0.200	17.680	13.700	1.290	1.400
	5P2	25	0.200	22.500	17.340	1.300	1.410
	5P3	25	0.200	26.790	19.450	1.380	1.500
	5P4	25	0.200	30.540	20.900	1.460	1.590
	5P5	25	0.200	20.360	15.270	1.330	1.450
	5P6	25	0.200	30.000	21.290	1.410	1.530
	5P7	28	0.189	34.820	23.810	1.460	1.780
	5P8	25	0.200	34.290	27.710	1.240	1.350
	5P9	25	0.200	21.960	15.760	1.390	1.520
	5P10	25	0.200	28.390	21.210	1.340	1.460
	5P11	25	0.200	33.750	26.360	1.280	1.390
	5P12	25	0.200	38.040	30.470	1.250	1.360
ESTRIBO DOBLE	5P1	25	0.200	17.140	14.300	1.200	1.300
	5P2	25	0.200	22.500	16.940	1.330	1.440
	5P3	26	0.196	27.320	18.900	1.450	1.630
	5P4	27	0.192	32.140	20.680	1.550	1.820
	5P5	25	0.200	19.820	15.700	1.260	1.370
	5P6	25	0.200	29.460	20.530	1.440	1.560
	5P7	27	0.192	34.820	24.470	1.420	1.670
	5P8	25	0.200	34.290	25.730	1.330	1.450
	5P9	25	0.200	22.500	15.680	1.440	1.560
	5P10	25	0.200	27.860	20.740	1.340	1.460
	5P11	25	0.200	33.750	26.220	1.290	1.400
	5P12	25	0.200	38.040	30.990	1.230	1.330
Estribo y GANCHO	5P1	25	0.200	17.680	14.230	1.240	1.350
	5P2	25	0.200	22.500	17.340	1.300	1.410
	5P3	25	0.200	26.790	19.140	1.400	1.520
	5P5	25	0.200	30.540	20.150	1.520	1.650
	5P5	25	0.200	20.360	15.810	1.290	1.400
	5P6	25	0.200	29.460	20.830	1.410	1.540
	5P7	27	0.192	34.820	24.720	1.410	1.650
	5P8	25	0.200	34.290	26.410	1.300	1.410
	5P9	25	0.200	21.960	15.590	1.410	1.530
	5P10	25	0.200	27.860	20.750	1.340	1.460
	5P11	25	0.200	33.750	26.390	1.280	1.390
	5P12	25	0.200	38.040	31.000	1.230	1.330

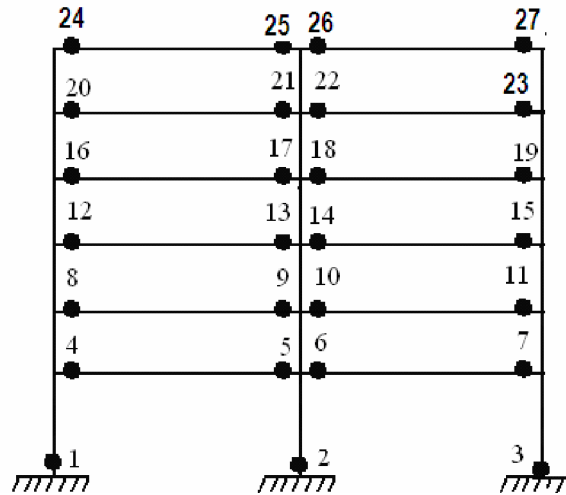


Figura 3.28 Mecanismo de colapso para seis pisos dos vanos, representado por la formación de rótulas.

NÚMERO TOTAL DE RÓTULAS= 27

Tabla 3.14 Valores de R_R con la metodología propuesta para seis pisos y dos vanos.

TIPO DE CASO	No PISOS	No de Rotulas	rv	Vu	Vy	rs	RR Met Propuesta
ESTRIBO SIMPLE	6P1	30	0.183	18.750	14.850	1.260	1.400
	6P2	30	0.183	24.000	18.650	1.290	1.430
	6P3	30	0.183	29.250	22.170	1.320	1.470
	6P4	33	0.174	33.750	23.930	1.410	1.720
	6P5	30	0.183	21.750	14.900	1.460	1.620
	6P6	30	0.183	27.750	20.450	1.360	1.510
	6P7	30	0.183	33.000	26.960	1.220	1.360
	6P8	30	0.183	37.500	30.370	1.230	1.370
	6P9	30	0.183	24.000	14.610	1.640	1.830
	6P10	30	0.183	30.750	21.640	1.420	1.580
	6P11	30	0.183	36.750	27.690	1.330	1.470
	6P12	30	0.183	41.250	32.670	1.260	1.400
ESTRIBO DOBLE	6P1	30	0.183	19.500	14.960	1.300	1.450
	6P2	30	0.183	24.750	18.670	1.330	1.470
	6P3	30	0.183	28.500	21.760	1.310	1.460
	6P4	30	0.183	32.250	23.880	1.350	1.500
	6P5	30	0.183	21.750	14.660	1.480	1.650
	6P6	30	0.183	27.750	20.720	1.340	1.490
	6P7	30	0.183	33.000	25.420	1.300	1.440
	6P8	30	0.183	37.500	29.800	1.260	1.400
	6P9	30	0.183	24.750	15.750	1.570	1.750
	6P10	30	0.183	30.750	21.520	1.430	1.590
	6P11	30	0.183	36.750	27.650	1.330	1.480
	6P12	30	0.183	41.250	32.880	1.250	1.390
Estribo y GANCHO	6P1	30	0.183	19.500	14.970	1.300	1.450
	6P2	30	0.183	24.000	18.640	1.290	1.430
	6P3	30	0.183	29.250	22.240	1.320	1.460
	6P4	30	0.183	33.000	24.660	1.340	1.490
	6P5	30	0.183	21.750	14.660	1.480	1.650
	6P6	30	0.183	27.750	20.390	1.360	1.510
	6P7	30	0.183	33.000	25.790	1.280	1.420
	6P8	30	0.183	37.500	30.400	1.230	1.370
	6P9	30	0.183	24.000	15.660	1.530	1.700
	6P10	30	0.183	30.750	21.620	1.420	1.580
	6P11	30	0.183	36.750	27.560	1.330	1.480
	6P12	30	0.183	41.250	32.580	1.270	1.410

Tanto para las tablas 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 se analizan los mecanismos de colapsos representados en cada estructura de dos vanos de uno a seis pisos. Es importante analizar el comportamiento del factor R_R y comparar sus resultados con las metodologías propuestas por TSOPELAS y HUSAIN.

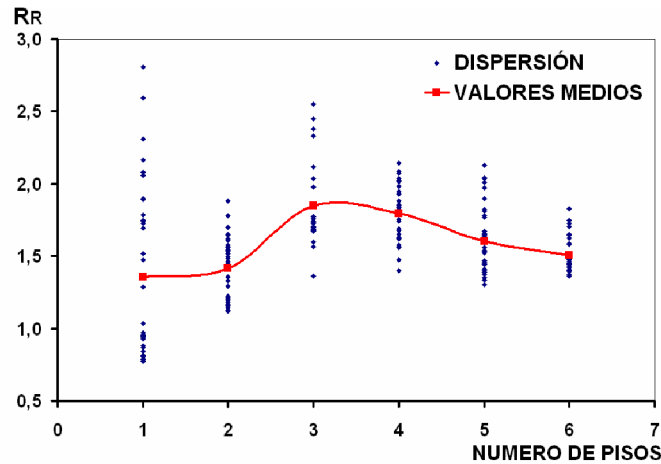


Figura 3.29 Valores medios de la dispersión Factor de Redundancia en función al número de pisos, Metodología Propuesta (dos vanos)

En la gráfica 3.29 se observa el comportamiento de los valores medios de R_R obtenidos por la metodología propuesta, el máximo valor de $R_R=1.85$ para tres pisos, un valor de R_R promedio para la estructura analizada de 1 a 6 pisos y dos vanos sería de 1.60. El valor mínimo para $R_R=1.36$ se lo encuentra para un piso.

La importancia de comparar los valores obtenidos por la metodología propuesta y por la representación analizada por TSOPELAS y HUSAIN es de vital importancia para establecer rangos de variación y de esta manera determinar los valores más aproximados del factor de redundancia.

En la tabla 3.15 se detallarán los resultados obtenidos, por las dos propuestas y se determinarán las variaciones existentes entre cada una de ellas.

3.6 COMPARACIÓN DE VALORES MEDIOS PARA ($K_{ve}=0.12, 0.22, 0.35$ y metodología propuesta).

DOS VANOS					
Kve=0,12			Kve=0,22		
No de Pisos	Promedio	Desv Estand	No de Pisos	Promedio	Desv Estand
1	1.615	0.412	1	1.744	0.451
2	1.672	0.240	2	1.825	0.262
3	1.791	0.181	3	1.970	0.199
4	1.745	0.150	4	1.923	0.165
5	1.574	0.165	5	1.739	0.182
6	1.501	0.110	6	1.662	0.122
METODOLOGÍA PROPUESTA					
Kve=0,35			METODOLOGÍA PROPUESTA		
No de Pisos	Promedio	Desv Estand	No de Pisos	Promedio	Desv Estand
1	1.972	0.519	1	1.356	0.586
2	2.094	0.300	2	1.413	0.210
3	2.285	0.231	3	1.848	0.304
4	2.237	0.192	4	1.794	0.200
5	2.029	0.211	5	1.600	0.235
6	1.945	0.143	6	1.505	0.116

Tabla 3.15 Valores medios de R_R para $K_{ve}=0.12, 0.22, 0.35$ y metodología propuesta.

Al determinar los valores promedios para R_R tanto de la metodología propuesta como la analizada a partir de los índices de variación y redundancia se podrá definir el la diferencia existente entre los valores máximos y mínimos presentes. Los valores máximos de R_R para todos los casos se generan a los tres pisos de altura esto se puede deber para la metodología propuesta al número de rótulas que se obtuvo en el programa DISIPA, y para la segunda propuesta se puede atribuir a los índices de redundancia y de variación obtenidos.

El mínimo valor se presenta para la metodología de Tsopelas y Husaín a los seis pisos de altura mientras para la metodología propuesta a un piso de altura. Todas estas diferencias se dan en base a los resultados anteriormente obtenidos. El rango de variación oscila en un 23% entre las cuatro curvas analizadas, sin considerar el desfase ocurrido a un piso y a dos pisos, que determinaría un porcentaje mayor de variación.

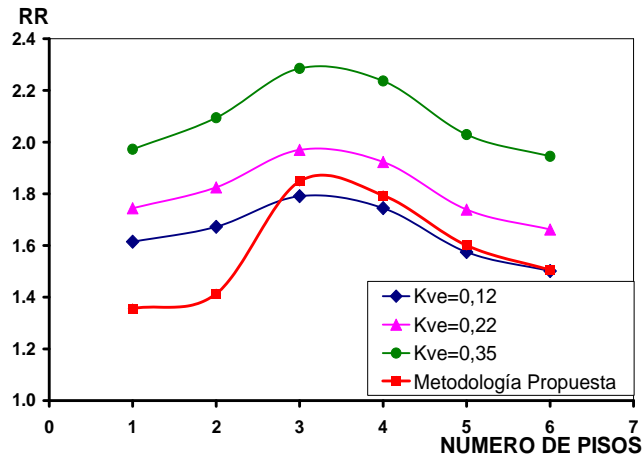


Figura 3.30 Comparación de los diagramas de los Valores medios de R_R para $K_{ve}=0.12$, 0.22 , 0.35 y metodología propuesta (dos vanos)

En la figura 3.30 se puede observar más claramente el comportamiento del factor de redundancia con las dos metodologías. La variación presente dentro de las gráficas analizadas por el modelo de TSOPELAS y HUSAIN presenta un comportamiento proporcional tanto para $K_{ve}=0.12$, 0.22 y 0.35 , mientras la metodología propuesta sufre un gran quiebre a uno y dos pisos, mientras tanto para 3, 4, 5, 6 pisos presenta un comportamiento proporcional y se establece entre los rangos para $K_{ve}=0.12$ y $K_{ve}=0.22$. El valor para R_R tomando en cuenta un promedio de las cuatro gráficas analizadas estaría tomando el valor de 1.8.

Por lo tanto el valor del factor de redundancia para edificaciones regulares de dos vanos, de uno a seis pisos de altura presenta un valor de $R_R=1.8$.

CAPÍTULO IV

FACTOR DE REDUNDANCIA Y DUCTILIDAD POR CURVATURA

RESUMEN

En el presente capítulo se hace una reseña de la obtención del Factor de redundancia y la ductilidad por curvatura. Se analiza la ductilidad por curvatura tanto en vigas como en columnas. Posteriormente, se detalla con ejemplos la obtención de la ductilidad por medio del programa CEINCI1.

Por otro lado, se observará el comportamiento que presenta la variación del factor de redundancia con la ductilidad por curvatura en elementos estructurales.

Finalmente, se estudiará cada caso tanto en vigas y columnas con: estribo simple, estribo doble, bincha y todos los casos en un solo estudio.

4.1 INTRODUCCIÓN

Para el cálculo del factor de redundancia R_R se lo hará por medio de la metodología propuesta, la cual está expresada en la siguiente ecuación:

$$R_R = \frac{\# \text{ de rótulas} \times \gamma_s}{\# \text{ total de rótulas}} \quad (4.1)$$

$$\gamma_s = \frac{V_u}{V_y} \quad (4.2)$$

Donde, r_s es el índice de redundancia por resistencia; V_u es el cortante último y V_y es el cortante inicial. El número de rótulas expuesto en la ecuación del factor de redundancia se obtiene por medio del programa DISIPA que más adelante se explica por medio de ejemplos. Las rótulas totales se obtienen mediante la configuración del pórtico y dependiendo del número de pisos que presente éste. Es importante después de analizar una estructura, saber determinar la relación momento curvatura, de las secciones presentes en sus elementos con la finalidad de conocer cuál es la capacidad de ductilidad por curvatura μ_ϕ , la máxima capacidad a flexión del elemento M_μ y comparar estas cantidades con las demandas que se tiene en el diseño.

Hay que considerar que si un elemento presenta muy poca capacidad de ductilidad por curvatura va a presentar una falla frágil cuando la estructura ingrese al rango no lineal, lo cual no es muy conveniente. Lo más conveniente es que el valor de μ_ϕ para que la estructura disipe la mayor cantidad de energía, para que sea posible la redistribución de momentos y de esa manera trabajen todos los elementos de una forma adecuada. Básicamente la ductilidad por curvatura (μ_ϕ) no es más que la relación entre la curvatura última (ϕ_μ) y la curvatura de fluencia (ϕ_y), que se denomina también como la capacidad de ductilidad por curvatura de una sección.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_{\mu}}{\phi_y} \quad (4.3)$$

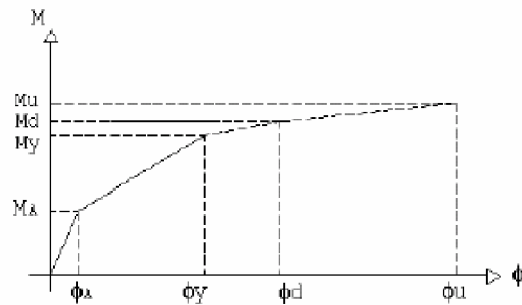


Figura 4.1 Modelo Trilineal y un momento actuante M_d ante un sismo muy fuerte.

Es importante que en el diseño de una estructura el valor de la ductilidad (μ_{ϕ}) sea lo más alta posible para que la estructura sea capaz de disipar la mayor cantidad de energía ante un sismo muy fuerte.

4.2 DUCTILIDAD POR CURVATURA EN VIGAS:

Para la determinación de la ductilidad por curvatura en vigas explicaremos paso a paso el desarrollo del proceso. Observemos la figura 4.3 que es el pórtico a analizarse:

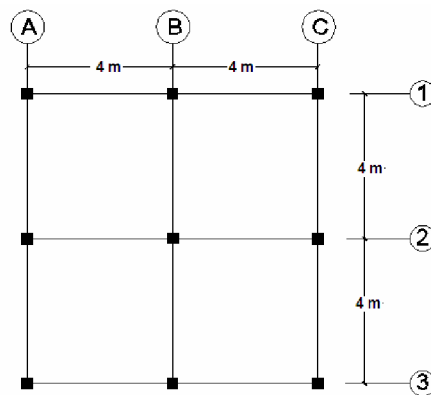


Figura 4.2 Vista en planta

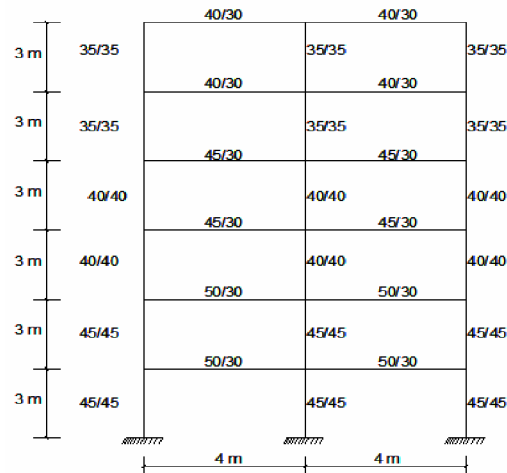


Figura 4.3 Secciones en estructura de 6 pisos

1.- En base a la Tabla 4.2 de cuantías que son doce casos por nivel obtenemos las armaduras de las vigas.

Tabla 4.1 Dimensiones de vigas y carga muerta en edificio de dos vanos

EDIFICIO	SECCIÓN DE VIGAS EN (cm)						CARGA MUERTA
	1 nivel	2 nivel	3 nivel	4 nivel	5 nivel	6 nivel	T/m2
1 piso	20/20						0,4
2 pisos	25/20	25/20					0,4
3 pisos	30/30	30/30	30/30				0,5
4 pisos	40/30	40/30	40/30	40/30			0,5
5 pisos	50/30	50/30	45/30	45/30	40/30		0.7;0.63;0.567
6 pisos	50/30	50/30	45/30	45/30	40/30	40/30	0.7;0.63;0.567

Tabla 4.2 Cuantías para vigas

Caso	Cuantía Armadura Inferior Viga	Cuantía Armadura Superior Viga
1	0,0050	0,0075
2	0,0075	0,0100
3	0,0100	0,0125
4	0,0125	0,0150
5	0,0050	0,0075
6	0,0075	0,0100
7	0,0100	0,0125
8	0,0125	0,0150
9	0,0050	0,0075
10	0,0075	0,0100
11	0,0100	0,0125
12	0,0125	0,0150

2.- En la tabla 4.3 se expresan los valores de las armaduras obtenidas en base a las cuantías expuestas en la tabla 4.2

Tabla 4.3 Armaduras inferior y superior en vigas para 1, 2, 3, 4, 5, 6 niveles.

NIVELES	Armaduras		NIVELES	Armaduras	
	Inferior	Superior		Inferior	Superior
	Viga cm2	Viga cm2		Viga cm2	Viga cm2
1 Nivel	7,5	11,3	2 Nivel	7,5	11,3
	11,3	15,0		11,3	15,0
	15,0	18,8		15,0	18,8
	18,8	22,5		18,8	22,5
	7,5	11,3		7,5	11,3
	11,3	15,0		11,3	15,0
	15,0	18,8		15,0	18,8
	18,8	22,5		18,8	22,5
	7,5	11,3		7,5	11,3
	11,3	15,0		11,3	15,0
3 Nivel	6,8	10,1	4 Nivel	6,8	10,1
	10,1	13,5		10,1	13,5
	13,5	16,9		13,5	16,9
	16,9	20,3		16,9	20,3
	6,8	10,1		6,8	10,1
	10,1	13,5		10,1	13,5
	13,5	16,9		13,5	16,9
	16,9	20,3		16,9	20,3
	6,8	10,1		6,8	10,1
	10,1	13,5		10,1	13,5
5 Nivel	6,0	9,0	6 Nivel	6,0	9,0
	9,0	12,0		9,0	12,0
	12,0	15,0		12,0	15,0
	15,0	18,0		15,0	18,0
	6,0	9,0		6,0	9,0
	9,0	12,0		9,0	12,0
	12,0	15,0		12,0	15,0
	15,0	18,0		15,0	18,0
	6,0	9,0		6,0	9,0
	9,0	12,0		9,0	12,0
12,0	15,0	12,0	15,0		
15,0	18,0	15,0	18,0		

3.- Para la obtención de la ductilidad en las vigas utilizaremos el programa CEINCI1 en el cuál ingresamos los siguientes valores:

```

3
1
210  210000.0  0.002  21  0  0
4200.0  6430  2000000  44463  0.015
50  30  30  0  3  7.5  11.3  0.8  10
400
    
```

Resistencia a la compresión del Hormigón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
 Modulo de Elasticidad del Hormigón $f'c = 2100 \text{ 000 Kg/cm}^2$

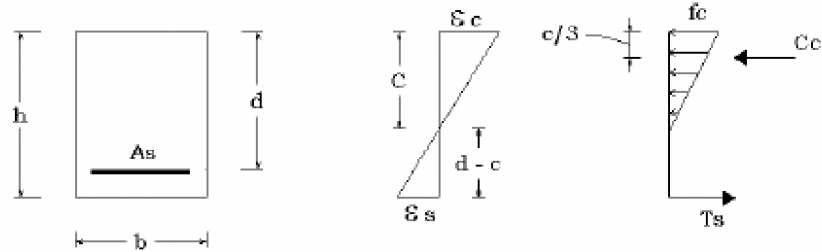


Figura 4.4 Sección transversal de una viga simplemente reforzada, diagramas de deformaciones y esfuerzos

Se tiene una deformación $\epsilon_c = 0.002$

Resistencia a la tracción del acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Altura de viga = 50 cm

Diámetro del estribo = 0.8 cm

Base de viga = 30 cm

Espaciamiento entre estribos = 10 cm

Recubrimiento = 3 cm

Armadura inferior = 7.5 cm²

Armadura Superior = 11.3 cm²

Longitud Total de la viga = 400 cm

4. Una vez corrido el programa se tiene el reporte de resultados.

ANALISIS SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN FLEXION-CORTE

MA (KG CM) = 283065.07702 CURVATURA A (1/CM) = .000005294

MY (KG CM) = 2044298.91602 CURVATURA Y (1/CM) = .000092646

MS (KG CM) = 2114427.28713 CURVATURA S (1/CM) = .000378527

MU (KG CM) = 3283499.14785 CURVATURA U (1/CM) = .001736458

Ductilidad = 18.74 Sobrerresistencia = 1.61

En la tabla 4.4 se detallan las ductilidades tomadas del programa CEINCI1, cabe destacar que los valores obtenidos están basados en estructuras regulares de 1 a 6 pisos, y por lo tanto estos valores no son aplicables a estructuras irregulares.

Tabla 4.4 Ductilidades de todas las vigas analizadas

No de Pisos	SECCIONES DE VIGAS	Ductilidad vigas	No de Pisos	SECCIONES DE VIGAS	Ductilidad vigas
1	20/20	20,43	3	30/30	18,12
1		16,14	3		15,92
1		18,64	3		17,33
1		18,05	3		16,40
2	25/20	19,55	4	40/30	17,99
2		21,67	4		14,11
2		17,70	4		11,86
2		16,50	4		7,75
5	50/30	18,15	6	50/30	18,74
5		8,45	6		8,45
5		7,47	6		7,47
5		6,05	6		6,05
5	45/30	17,95	6	45/30	17,95
5		14,84	6		14,84
5		7,52	6		7,52
5		6,80	6		6,80
5	40/30	17,99	6	40/30	17,99
5		14,11	6		14,11
5		11,86	6		11,86
5		7,75	6		7,75

4.3 DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS:

Para el análisis de la obtención de la ductilidad en columnas explicaremos paso a paso su obtención mediante un ejemplo.

1.- Determinamos las áreas cooperantes presentes para cada columna según su posición en la estructura.

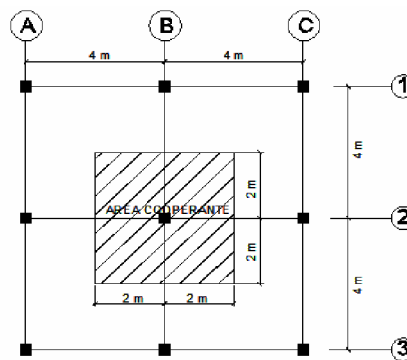


Figura 4.5. Vista en planta de Areas Cooperantes presentes en la loza

2.- Calculamos la carga total que se simplifica en multiplicar el área cooperante para el número de toneladas por metro cuadrado. Esta carga ya viene normalizada por metro cuadrado en la (tabla 4.5).

Tabla 4.5 Dimensiones de columnas y carga muerta en edificios de 2 vanos

EDIFICIO	SECCIÓN DE COLUMNAS EN (cm)						CARGA MUERTA
	1 nivel	2 nivel	3 nivel	4 nivel	5 nivel	6 nivel	T/m2
1 piso	20/20						0,4
2 pisos	25/25	25/25					0,4
3 pisos	30/30	30/30	30/30				0,5
4 pisos	40/40	40/40	40/40	40/40			0,5
5 pisos	45/45	45/45	40/40	40/40	35/35		0.7;0.63;0.567
6 pisos	45/45	45/45	40/40	40/40	35/35	35/35	0.7;0.63;0.567

Tabla 4.6 Cargas calculadas para la estructura de un piso, dos pisos y tres pisos

EDIFICIO DE UN 1 PISO				EDIFICIO DE 3 PISOS			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	NIVEL 1			
3-A	4	0,4	1600	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-B	8	0,4	3200	3-A	4	1,5	6000
3-C	4	0,4	1600	3-B	8	1,5	12000
2-A	8	0,4	3200	3-C	4	1,5	6000
2-B	16	0,4	6400	2-A	8	1,5	12000
2-C	8	0,4	3200	2-B	16	1,5	24000
1-A	4	0,4	1600	2-C	8	1,5	12000
1-B	8	0,4	3200	1-A	4	1,5	6000
1-C	4	0,4	1600	1-B	8	1,5	12000
EDIFICIO DE 2 PISOS				1-C	4	1,5	6000
NIVEL 1				NIVEL 2			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	0,8	3200	3-A	4	1	4000
3-B	8	0,8	6400	3-B	8	1	8000
3-C	4	0,8	3200	3-C	4	1	4000
2-A	8	0,8	6400	2-A	8	1	8000
2-B	16	0,8	12800	2-B	16	1	16000
2-C	8	0,8	6400	2-C	8	1	8000
1-A	4	0,8	3200	1-A	4	1	4000
1-B	8	0,8	6400	1-B	8	1	8000
1-C	4	0,8	3200	1-C	4	1	4000
NIVEL 2				NIVEL 3			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	0,4	1600	3-A	4	0,5	2000
3-B	8	0,4	3200	3-B	8	0,5	4000
3-C	4	0,4	1600	3-C	4	0,5	2000
2-A	8	0,4	3200	2-A	8	0,5	4000
2-B	16	0,4	6400	2-B	16	0,5	8000
2-C	8	0,4	3200	2-C	8	0,5	4000
1-A	4	0,4	1600	1-A	4	0,5	2000
1-B	8	0,4	3200	1-B	8	0,5	4000
1-C	4	0,4	1600	1-C	4	0,5	2000

En la tabla 4.6 se muestran los valores de las diversas cargas encontradas por medio de la tabla 4.5 y su respectiva área cooperante.

Tabla 4.7 Cargas calculadas para la estructura de cuatro y cinco pisos

EDIFICIO DE 4 PISOS				EDIFICIO DE 5 PISOS			
NIVEL 1				NIVEL 1			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	2	8000	3-A	4	3,227	12908
3-B	8	2	16000	3-B	8	3,227	25816
3-C	4	2	8000	3-C	4	3,227	12908
2-A	8	2	16000	2-A	8	3,227	25816
2-B	16	2	32000	2-B	16	3,227	51632
2-C	8	2	16000	2-C	8	3,227	25816
1-A	4	2	8000	1-A	4	3,227	12908
1-B	8	2	16000	1-B	8	3,227	25816
1-C	4	2	8000	1-C	4	3,227	12908
NIVEL 2				NIVEL 2			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	1,5	6000	3-A	4	2,527	10108
3-B	8	1,5	12000	3-B	8	2,527	20216
3-C	4	1,5	6000	3-C	4	2,527	10108
2-A	8	1,5	12000	2-A	8	2,527	20216
2-B	16	1,5	24000	2-B	16	2,527	40432
2-C	8	1,5	12000	2-C	8	2,527	20216
1-A	4	1,5	6000	1-A	4	2,527	10108
1-B	8	1,5	12000	1-B	8	2,527	20216
1-C	4	1,5	6000	1-C	4	2,527	10108
NIVEL 3				NIVEL 3			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	1	4000	3-A	4	1,827	7308
3-B	8	1	8000	3-B	8	1,827	14616
3-C	4	1	4000	3-C	4	1,827	7308
2-A	8	1	8000	2-A	8	1,827	14616
2-B	16	1	16000	2-B	16	1,827	29232
2-C	8	1	8000	2-C	8	1,827	14616
1-A	4	1	4000	1-A	4	1,827	7308
1-B	8	1	8000	1-B	8	1,827	14616
1-C	4	1	4000	1-C	4	1,827	7308
NIVEL4				NIVEL4			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	0,5	2000	3-A	4	1,197	4788
3-B	8	0,5	4000	3-B	8	1,197	9576
3-C	4	0,5	2000	3-C	4	1,197	4788
2-A	8	0,5	4000	2-A	8	1,197	9576
2-B	16	0,5	8000	2-B	16	1,197	19152
2-C	8	0,5	4000	2-C	8	1,197	9576
1-A	4	0,5	2000	1-A	4	1,197	4788
1-B	8	0,5	4000	1-B	8	1,197	9576
1-C	4	0,5	2000	1-C	4	1,197	4788
NIVEL5				NIVEL5			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	0,567	2268	3-A	4	0,567	2268
3-B	8	0,567	4536	3-B	8	0,567	4536
3-C	4	0,567	2268	3-C	4	0,567	2268
2-A	8	0,567	4536	2-A	8	0,567	4536
2-B	16	0,567	9072	2-B	16	0,567	9072
2-C	8	0,567	4536	2-C	8	0,567	4536
1-A	4	0,567	2268	1-A	4	0,567	2268
1-B	8	0,567	4536	1-B	8	0,567	4536
1-C	4	0,567	2268	1-C	4	0,567	2268

En la tabla 4.7 se muestran los valores de la carga muerta en toneladas por metro cuadrado, con la finalidad de determinar la ductilidad de cada columna presente.

Para obtener las ductilidades de las columnas con el programa CEINCI1. Las cargas obtenidas se encuentran para las estructuras de 4 y 5 pisos.

Tabla 4.8 Cargas calculadas para la estructura de seis pisos

EDIFICIO DE 6 PISOS							
NIVEL 1				NIVEL4			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	3.794	15176	3-A	4	1.764	7056
3-B	8	3.794	30352	3-B	8	1.764	14112
3-C	4	3.794	15176	3-C	4	1.764	7056
2-A	8	3.794	30352	2-A	8	1.764	14112
2-B	16	3.794	60704	2-B	16	1.764	28224
2-C	8	3.794	30352	2-C	8	1.764	14112
1-A	4	3.794	15176	1-A	4	1.764	7056
1-B	8	3.794	30352	1-B	8	1.764	14112
1-C	4	3.794	15176	1-C	4	1.764	7056
NIVEL 2				NIVEL5			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	3.094	12376	3-A	4	1.134	4536
3-B	8	3.094	24752	3-B	8	1.134	9072
3-C	4	3.094	12376	3-C	4	1.134	4536
2-A	8	3.094	24752	2-A	8	1.134	9072
2-B	16	3.094	49504	2-B	16	1.134	18144
2-C	8	3.094	24752	2-C	8	1.134	9072
1-A	4	3.094	12376	1-A	4	1.134	4536
1-B	8	3.094	24752	1-B	8	1.134	9072
1-C	4	3.094	12376	1-C	4	1.134	4536
NIVEL 3				NIVEL6			
EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)	EJES	m2	T/m2	Carga (Kg)
3-A	4	2.394	9576	3-A	4	0.567	2268
3-B	8	2.394	19152	3-B	8	0.567	4536
3-C	4	2.394	9576	3-C	4	0.567	2268
2-A	8	2.394	19152	2-A	8	0.567	4536
2-B	16	2.394	38304	2-B	16	0.567	9072
2-C	8	2.394	19152	2-C	8	0.567	4536
1-A	4	2.394	9576	1-A	4	0.567	2268
1-B	8	2.394	19152	1-B	8	0.567	4536
1-C	4	2.394	9576	1-C	4	0.567	2268

3.- La armadura se calcula en base a una tabla de cuantías para columnas (tabla 4.9) hay que tomar en cuenta que estas cuantías se repiten, reduciéndose a tres tipos diferentes de armaduras.

Tabla 4.9 Cuantías de columnas

Caso	Cuantía de columna
1	0.0100
2	0.0100
3	0.0100
4	0.0100
5	0.0150
6	0.0150
7	0.0150
8	0.0150
9	0.0200
10	0.0200
11	0.0200
12	0.0200

Tabla 4.10 Armaduras para columnas de todos los tipos de secciones analizadas, con su tipo de cuantías respectivas

Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2	Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2
20/20	1	4	25/25	1	6,3
	2	4		2	6,3
	3	4		3	6,3
	4	4		4	6,3
	5	6,0		5	9,4
	6	6,0		6	9,4
	7	6,0		7	9,4
	8	6,0		8	9,4
	9	8,0		9	12,5
	10	8,0		10	12,5
	11	8,0		11	12,5
	12	8,0		12	12,5
Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2	Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2
30/30	1	9,0	35/35	1	12,25
	2	9,0		2	12,25
	3	9		3	12,25
	4	9		4	12,25
	5	13,5		5	18,375
	6	13,5		6	18,375
	7	13,5		7	18,375
	8	13,5		8	18,375
	9	18		9	24,5
	10	18		10	24,5
	11	18		11	24,5
	12	18		12	24,5
Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2	Secciones	No de Cuantías	Armaduras cm2
40/40	1	16	45/45	1	20,25
	2	16		2	20,25
	3	16		3	20,25
	4	16		4	20,25
	5	24		5	30,375
	6	24		6	30,375
	7	24		7	30,375
	8	24		8	30,375
	9	32		9	40,5
	10	32		10	40,5
	11	32		11	40,5
	12	32		12	40,5

4.- Una vez determinadas las cargas y las armaduras para cada columna de cada estructura obtenemos la ductilidad de las mismas.

Por medio del programa CEINCI1 se obtienen las ductilidades en cada columna, éste programa pide a su inicio el ingreso de la sección, la armadura, la carga axial que soporta la columna y la longitud del pórtico.

INGRESO DE DATOS EN EL PROGRAMA CEINCI1

```

1
210 210000.0 0.002 21 0 0
4200.0 6430 2000000 44463 0.015
6400 20. 20. 4 4 0.8 10 0.5
400.0

```

Sección= 20/20

Armadura= 4, 6 y 8 cm² (tres casos de cuantías)

Carga determinada=6400 kg

Resistencia a la compresión del Hormigón $f^c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Modulo de Elasticidad del Hormigón $f^c = 2100 \text{ 000 Kg/cm}^2$

Se tiene una deformación $\epsilon_c = 0.002$

Re sistencia a la tracción del acero $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$

Altura de viga= 50 cm

Diámetro del estribo= 0.8 cm

Base de viga= 30 cm

Espaciamiento entre estribos= 10 cm

Recubrimiento= 3cm

Armadura inferior= 7.5cm²

Armadura Superior = 11.3 cm²

Longitud del pórtico = 400 cm

Estribo simple = 0.5

5.- Ya corrido el programa se tiene el reporte de resultados.

ANALISIS SIN CONSIDERAR LA INTERACCIÓN FLEXIÓN-CORTE

MA (KG CM) = 236637.08015 CURVATURA A (1/CM) = .000008686

MY (KG CM) = 669796.30422 CURVATURA Y (1/CM) = .000084600

MS (KG CM) = 6962435710.47117 CURVATURA S (1/CM) = .000473400

MU (KG CM) = 1013167.78905 CURVATURA U (1/CM) = .002028600

Ductilidad = 16.53 Sobrerresistencia = 1.51

ANALISIS CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN FLEXIÓN-CORTE

IMPLEMENTADO POR EL DR. ING. ROBERTO AGUIAR FALCONI EN
2003

CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

IELTYPE = 1

MA (KG CM) = 236637.08015 CURVATURA A (1/CM) = .000008686

MY (KG CM) = 669796.30422 CURVATURA Y (1/CM) = .000084600

MS (KG CM) = 696710.47117 CURVATURA S (1/CM) = .000473400

MU (KG CM) = 1013167.78905 CURVATURA U (1/CM) = .002028600

Ductilidad = 16.53 Sobrerresistencia = 1.51

6.- Se realiza el mismo proceso para columnas con estribo doble, y gancho.

7.- Como anteriormente se mencionó se tenían 12 casos de cuantías, las cuales se repetían quedando en 3 casos para armaduras, lo mismo en las cargas se tenían tres casos. De esta manera se corre un sinnúmero de veces el programa con la finalidad de obtener las ductilidades, de las cuales se saca un promedio para una ductilidad final.

Tabla 4.11 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de un piso, dos vanos)

EDIFICIO DE UN PISO									
sección 20/20	ESTRIBO SIMPLE =0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	4 /2= 2cm2	6 /2= 3cm2	8 /2= 4cm2	4 /2= 2cm2	6 /2= 3cm2	8 /2= 4cm2	4 /2= 2cm2	6 /2= 3cm2	8 /2= 4cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
1600	25	18.92	16.85	25.15	19.09	15.51	24.77	16.85	15.26
3200	20.65	21.08	20.95	21.54	17.43	20.58	20.29	17.25	20.82
6400	16.53	20.91	18.08	16.86	21.06	18.05	17.17	20.73	18.26
promedios	18.59	20.995	19.515	19.2	19.245	19.315	18.73	18.99	19.54

Tabla 4.12 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de dos pisos, dos vanos)

EDIFICIO DE DOS PISOS									
NIVEL 1									
sección 25/25	ESTRIBO SIMPLE =0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	6.25/2=3.125 cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2	6.25/2=3.125cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2	6.25/2=3.125cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
3200	22.89	17.9	19.89	22.46	17.7	20.71	22.72	17.8	20.86
6400	18.79	22.08	18.72	18.37	21.96	18.58	18.58	21.96	18.72
12800	21.73	18.52	14.56	19.66	17.9	16.04	21.37	18	15.81
NIVEL 2									
sección 25/25	ESTRIBO SIMPLE =0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	6.25/2=3.125 cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2	6.25/2=3.125cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2	6.25/2=3.125cm2	9.375/2=4.687 cm2	12.5/2=6.25 cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
1600	24.23	18.69	20.86	24.49	19.11	15.8	24.78	18.58	17.2
3200	22.89	17.9	19.89	22.46	17.7	20.71	22.72	17.8	20.86
6400	18.79	22.08	18.72	18.37	21.96	18.58	18.58	21.96	18.72
promedios	20.55	20.145	17.9725	19.715	19.88	18.4775	20.3125	19.93	18.5275

Tabla 4.13 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de tres pisos, dos vanos)

EDIFICIO DE TRES PISOS									
NIVEL 1									
sección =30/30	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
6000	20.34	16.54	19.65	20.74	16.32	18.84	20.84	16.43	19
12000	16.07	19.86	17.69	16.07	19.77	16.82	16.07	19.9	17.55
24000	16.8	17.2	13.44	15.93	15.81	14.26	12.05	16.97	16.05
NIVEL 2									
sección =30/30	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2	9/2=4.5 cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
4000	22.23	23.42	20.04	22.13	17.83	20.04	22.23	17.2	17.25
8000	19.08	21.05	19.48	19.43	21.86	18.52	19	20.91	18.68
16000	19.49	17.88	11.23	20.32	18.06	16.41	18.76	18.77	16.55
NIVEL 3									
sección =30/30	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	9/2=4.5cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=9cm2	9/2=4.5cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=9cm2	9/2=4.5cm2	13.5/2=6.75cm2	18/2=9cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
2000	23.98	18.64	14.89	23.87	18.51	15.51	23.98	18.64	15.51
4000	22.23	23.42	20.04	22.13	17.83	20.04	22.23	17.2	20.04
8000	19.08	21.05	19.48	19.43	21.86	18.52	19	20.91	18.68
promedios	18.792	20.077	16.893	18.885	19.198	17.428	17.852	19.110	17.925

Tabla 4.14 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de cuatro pisos, dos vanos).

EDIFICIO DE CUATRO PISOS									
NIVEL 1									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
8000	20.59	16.59	20.76	21.2	16.46	14.57	20.48	16.59	19.39
16000	17.82	20.05	17.79	18.25	15.08	17.27	17.73	19.75	18.31
32000	18.3	11.22	17.2	19.29	17.86	16.15	20.45	13.17	20.4
NIVEL 2									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
6000	21.3	17.28	14.72	21.96	17.15	14.43	22.08	17.28	14.57
12000	19.1	21.25	18.08	19.61	20.93	18.27	19.1	21.09	18.45
24000	21.57	18.06	14.66	21.15	18.58	15.46	21.25	19	17.23
NIVEL 3									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
4000	22.91	18.03	15.43	22.79	17.89	22.15	22.91	18.03	19.39
8000	20.59	16.59	20.76	21.20	16.46	14.57	20.48	16.59	19.39
16000	17.82	20.05	17.79	18.25	15.08	17.27	17.73	19.75	18.31
NIVEL 4									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
2000	23.2	18.30	19.80	24	18.16	15.37	23.08	18.03	15.53
4000	22.91	18.03	15.43	22.79	17.89	22.15	22.91	18.03	15.28
8000	20.59	16.59	20.76	21.20	16.46	14.57	20.48	16.59	19.39
promedios	19.838	17.730	17.809	20.218	17.293	16.964	20.016	17.996	18.345

Tabla 4.15 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de cinco pisos, dos vanos).

EDIFICIO DE CINCO PISOS									
NIVEL 1									
sección =45/45	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
12908	19.53	16.08	8.69	19.32	16.35	13.98	19.42	15.96	14.13
25816	23.75	18.10	14.92	16.53	19.00	19.38	23.62	19.15	17.47
51632	13.09	14.34	13.19	17.46	15.84	23.60	15.91	8.36	12.00
NIVEL 2									
sección =45/45	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
10108	20.21	16.62	8.21	20.82	16.35	14.66	20.1	16.62	14.81
20216	17.86	16.24	8.70	18.02	15.16	17.71	17.77	15.28	18.82
40432	16.86	11.67	16.86	21.79	12.31	21.79	19.87	12.31	13.43
NIVEL 3									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²	16/2=8cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²	16/2=8cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
7308	21.30	16.59	14.87	21.20	17.28	14.57	21.30	16.59	14.57
14616	18.53	15.31	17.79	18.43	15.08	18.27	18.53	15.19	20.76
29232	19.00	12.83	9.85	13.77	17.97	17.83	17.68	14.37	15.85

NIVEL 4									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
4788	22.08	17.28	14.72	21.85	18.03	15.28	21.96	17.28	14.57
9576	19.92	22.40	18.45	20.48	16.46	20.67	20.59	16.59	18.27
19152	22.69	20.29	16.62	17.24	19.75	17.13	16.77	19.00	18.15
NIVEL 5									
sección =35/35	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	12.25/2=6.125cm2	18.375/2=9,1875cm2	24.5/2=12.5cm2	12.25/2=6.125cm2	18.375/2=9,1875cm2	24.5/2=12.5cm2	12.25/2=6.125cm2	18.375/2=9,1875cm2	24.5/2=12.5cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
2268	23.56	18.47	15.46	23.44	18.34	15.46	23.56	18.34	15.46
4536	21.96	16.93	14.78	21.86	17.61	14.78	21.96	17.61	14.78
9072	19.76	16.12	18.48	19.66	16.00	18.13	19.66	16.12	18.31
promedios	19.342	16.423	14.964	18.524	16.518	18.929	19.236	15.398	16.784

Tabla 4.16 Ductilidades de todas las columnas obtenidas (edificio de seis pisos, dos vanos).

EDIFICIO DE SEIS PISOS									
NIVEL 1									
sección =45/45	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
15176	18.7	21.55	8.85	19.21	15.83	19.84	19.21	21.38	20.05
30352	21.89	17.45	15.04	11.80	17.87	15.77	20.29	16.47	17.13
60704	15.28	9.57	12.02	22.41	12.04	19.18	18.69	13.00	14.78
NIVEL 2									
sección =45/45	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²	20.25/2=10.13 cm ²	30.375/2=15.187cm ²	40.5/2=20.25cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
12376	19.53	15.96	8.72	20.1	16.35	13.98	19.42	16.62	14.13
24752	16.71	19.90	8.79	17.00	19.00	18.04	17.09	19.30	19.77
49504	14.24	11.99	14.4	16.88	12.07	17.60	12.12	9.42	10.20
NIVEL 3									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8 cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²	16/2=8 cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²	16/2=8 cm ²	24/2=12cm ²	32/2=16cm ²
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
9576	19.92	22.40	18.45	20.48	16.46	20.67	20.59	16.59	14.13
19152	22.69	20.29	16.62	17.24	19.75	17.13	16.77	19.00	19.77
38304	15.4	11.69	13.56	16.63	12.34	9.71	18.49	15.03	10.20

NIVEL 4									
sección =40/40	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	16/2=8 cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8 cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2	16/2=8 cm2	24/2=12cm2	32/2=16cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
7056	21.30	16.59	14.87	21.20	17.28	14.57	21.30	16.59	14.57
14112	18.53	15.31	20.96	18.34	15.64	18.27	18.53	15.19	19.20
28224	17.94	16.04	13.51	21.25	18.06	13.66	13.98	15.53	16.25
NIVEL 5									
sección =35/35	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
4536	16.86	11.67	16.86	21.79	12.31	21.79	19.87	12.31	13.43
9072	19.66	16.12	18.48	19.57	16.00	18.13	19.66	16.12	18.31
18144	14.6	19.26	14.12	14.60	18.73	16.10	14.60	18.10	18.54
NIVEL 6									
sección =35/35	ESTRIBO SIMPLE=0.5			DOBLE ESTRIBO=1			ESTRIBO Y GANCHO=0.66		
ARMADURAS	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2	12.25/2=6.13 cm2	18.39/2=9.19cm2	24.5/2=12.25cm2
CARGAS (Kg)	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD	DUCTILIDAD
2268	17.94	16.04	13.51	21.25	18.06	13.66	13.98	15.53	16.25
4536	21.96	16.12	14.78	21.86	16.00	14.78	21.86	16.12	14.78
9072	19.66	16.12	18.48	19.57	16.00	18.13	19.66	16.12	18.31
promedios	19.805	16.100	16.313	20.563	16.515	16.175	18.790	15.973	16.913

En la tabla 4.17 tenemos los valores de las ductilidades para columnas con estribo simple, estribo y gancho, estribo doble al observar los valores con su respectivo R_R teniendo un valor máximo de ductilidad igual a 21.

Tabla 4.17 Ductilidades de todas las columnas obtenidas con su respectivo valor de R_R (edificio de uno y dos pisos con dos vanos).

COLUMNAS				COLUMNAS			
Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR	Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR
UN PISO	ESTRIBO SIMPLE	18.59	2.163	2 PISOS	ESTRIBO SIMPLE	20,55	1,221
		18.59	1.784			20,55	1,222
		18.59	2.594			20,55	1,160
		18.59	1.359			20,55	1,164
		21.00	0.970			20,15	1,143
		21.00	0.818			20,15	1,329
		21.00	0.809			20,15	1,577
		21.00	0.805			20,15	1,560
		19.52	0.954			17,97	1,563
		19.52	0.784			17,97	1,465
		19.52	1.726			17,97	1,535
19.52	0.867	17,97	1,546				
UN PISO	ESTRIBO DOBLE	19.20	1.900	2 PISOS	ESTRIBO DOBLE	19,72	1,291
		19.20	2.057			19,72	1,191
		19.20	1.518			19,72	1,179
		19.20	1.476			19,72	1,179
		19.25	0.882			19,88	1,122
		19.25	1.891			19,88	1,882
		19.25	1.036			19,88	1,699
		19.25	2.081			19,88	1,778
		19.32	0.928			18,48	1,485
		19.32	0.788			18,48	1,537
		19.32	1.691			18,48	1,620
19.32	0.957	18,48	1,606				
UN PISO	ESTRIBO Y GANCHO	18.73	2.311	2 PISOS	ESTRIBO Y GANCHO	20,31	1,453
		18.73	2.805			20,31	1,210
		18.73	1.285			20,31	1,200
		18.73	0.810			20,31	1,201
		18.99	0.845			19,93	1,128
		18.99	0.940			19,93	1,355
		18.99	0.948			19,93	1,645
		18.99	1.748			19,93	1,648
		19.54	0.945			18,53	1,532
		19.54	0.773			18,53	1,436
		19.54	1.739			18,53	1,496
19.54	0.843	18,53	1,516				

Para las ductilidades de estructuras de tres y cinco pisos se observan valores establecidos en rangos de 18 a 20 lo que determina que las ductilidades para columnas de estructuras regulares para dos y tres vanos se someten a estos límites.

Los valores de R_R son los calculados por la metodología propuesta establecidos en el capítulo III

Tabla 4.18 Ductilidades de todas las columnas obtenidas con su respectivo valor de R_R (edificio de tres y cuatro pisos con dos vanos).

COLUMNAS				COLUMNAS			
Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR	Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR
3 PISOS	ESTRIBO SIMPLE	18,79	1,361	4 PISOS	ESTRIBO SIMPLE	19,84	1,559
		18,79	2,118			19,84	2,086
		18,79	1,700			19,84	1,741
		18,79	2,450			19,84	2,027
		20,08	1,686			17,73	1,630
		20,08	2,329			17,73	1,803
		20,08	1,707			17,73	1,623
		20,08	1,684			17,73	1,624
		16,89	1,728			17,81	1,688
		16,89	1,678			17,81	1,620
16,89	1,978	17,81	1,882				
16,89	1,726	17,81	1,677				
3 PISOS	ESTRIBO DOBLE	18,89	1,563	4 PISOS	ESTRIBO DOBLE	20,22	1,475
		18,89	2,551			20,22	1,653
		18,89	1,731			20,22	1,850
		18,89	2,039			20,22	1,854
		19,20	1,744			17,29	1,945
		19,20	2,382			17,29	2,020
		19,20	1,775			17,29	2,037
		19,20	1,757			17,29	2,076
		17,43	1,700			16,96	1,752
		17,43	1,681			16,96	1,824
17,43	1,600	16,96	1,575				
17,43	1,674	16,96	2,143				
3 PISOS	ESTRIBO Y GANCHO	17,85	1,563	4 PISOS	ESTRIBO Y GANCHO	20,02	1,402
		17,85	2,551			20,02	1,932
		17,85	1,731			20,02	1,982
		17,85	2,039			20,02	1,835
		19,11	1,744			18,00	1,931
		19,11	2,382			18,00	1,840
		19,11	1,775			18,00	2,014
		19,11	1,757			18,00	2,014
		17,93	1,700			18,35	1,751
		17,93	1,681			18,35	1,741
17,93	1,600	18,35	1,567				
17,93	1,674	18,35	1,397				

Para la tabla 4.19 se han obtenido valores de la ductilidad entre 15 y 19, para estructuras de 5 y seis pisos. Con los resultados de las tablas anteriores y éste se obtendrán las gráficas correspondientes con su respectivo ajuste, para ductilidades en columnas.

Tabla 4.19 Ductilidades de todas las columnas obtenidas con su respectivo valor de R_R (edificio de cinco y seis pisos con dos vanos).

COLUMNAS				COLUMNAS			
Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR	Estructuras	TIPO	Ductilidad	RR
5 PISOS	ESTRIBO SIMPLE	19,34	1,467	6 PISOS	ESTRIBO SIMPLE	18,21	1,403
		19,34	2,127			18,21	1,430
		19,34	1,973			18,21	1,466
		19,34	1,780			18,21	1,724
		16,42	2,042			15,82	1,622
		16,42	1,899			15,82	1,508
		16,42	2,039			15,82	1,360
		16,42	2,012			15,82	1,372
		14,96	1,770			15,06	1,825
		14,96	1,811			15,06	1,579
14,96	1,653	15,06	1,475				
14,96	1,388	15,06	1,403				
5 PISOS	ESTRIBO DOBLE	18,52	1,303	6 PISOS	ESTRIBO DOBLE	18,10	1,449
		18,52	1,443			18,10	1,473
		18,52	1,634			18,10	1,455
		18,52	1,824			18,10	1,501
		16,52	1,372			16,13	1,648
		16,52	1,560			16,13	1,488
		16,52	1,671			16,13	1,442
		16,52	1,449			16,13	1,398
		18,93	1,560			16,38	1,747
		18,93	1,460			16,38	1,588
18,93	1,399	16,38	1,477				
18,93	1,334	16,38	1,394				
5 PISOS	ESTRIBO Y GANCHO	19,24	1,350	6 PISOS	ESTRIBO Y GANCHO	17,65	1,448
		19,24	1,411			17,65	1,431
		19,24	1,521			17,65	1,461
		19,24	1,648			17,65	1,487
		15,40	1,400			15,78	1,649
		15,40	1,538			15,78	1,512
		15,40	1,654			15,78	1,422
		15,40	1,411			15,78	1,371
		16,78	1,531			16,94	1,703
		16,78	1,459			16,94	1,580
16,78	1,390	16,94	1,482				
16,78	1,334	16,94	1,407				

4.4 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN VIGAS (DOS VANOS)

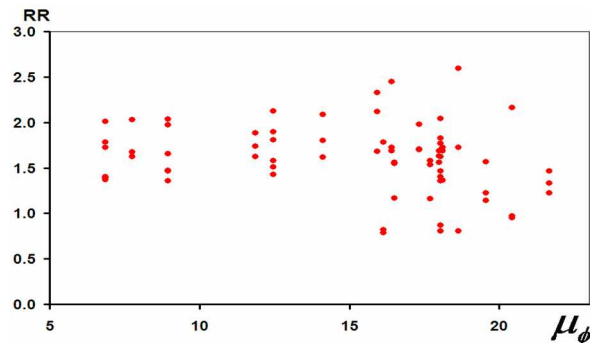


Figura. 4.6 Diagrama de dispersión Factor de Redundancia en función de la ductilidad presente en vigas (dos vanos)

Los puntos de dispersión de la figura 4.6 representan la ductilidad presente en cada viga de cada edificación de dos vanos de 1 a 6 pisos para lo cual se han corrido 576 vigas presentes en las estructuras anteriormente mencionadas. Las vigas se han analizado con el programa CEINCI 1 para determinar su ductilidad. Esta dispersión de puntos se obtuvo con la finalidad de determinar el comportamiento de la ductilidad presente en las vigas y su tendencia.

Al observar la dispersión de las ductilidades presentes en vigas podemos observar que los valores del factor de redundancia tienden a estar por debajo de 2. Con los valores que se trabajaron para la dispersión, dieron lugar a otra conclusión, para edificaciones de 1 piso se obtuvieron valores de ductilidad de alrededor de 20, para dos pisos de 19, para tres pisos 18, para cuatro pisos de 17, para cinco pisos de 15, para seis pisos de 15. Con estos valores concluimos que en el estudio presentado a mayor número de

pisos se presento una ductilidad menor tomando en cuenta con los armados de hierro que se trabajo.

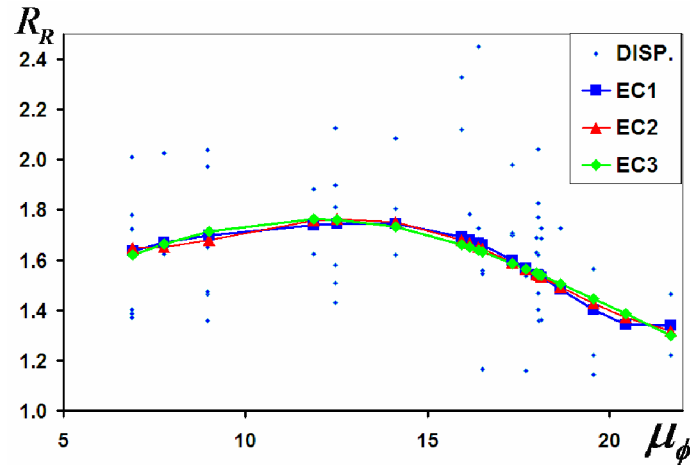


Figura 4.7 Diagrama ajuste de curvas con sus respectivas ecuaciones en vigas (dos vanos)

$$E1: R_R = 1.48\mu_\phi^5 - 9.72\mu_\phi^4 + 2.44\mu_\phi^3 - 0.29\mu_\phi^2 + 1.77\mu_\phi - 2.54 \quad (4.4)$$

$$E2: R_R = 7.83\mu_\phi^4 - 4.40\mu_\phi^3 + 8.36\mu_\phi^2 - 0.63\mu_\phi + 3.31 \quad (4.5)$$

$$E3: R_R = \frac{1}{0.86 - 4.97\mu_\phi + 2.09\mu_\phi^2} \quad (4.6)$$

En la figura (4.7) se establece el ajuste de curvas para la dispersión de las ductilidades obtenidas en vigas. Se tomaron tres curvas, las de mejor ajuste, siendo éstas las que presentaron menor error. Al observar el comportamiento de las curvas definimos que el mayor valor del factor de redundancia se alcanzó con una ductilidad de 12.5 cuyo valor correspondiente de R_R fue de 1.8.

Concluimos que para este estudio el comportamiento de la ductilidad en vigas de 1 a 6 pisos en estructuras regulares de dos vanos, presenta un valor de R_R para cada estructura, entre rangos de 1.3 a 1.8.

De las tres anteriores curvas descritas en los gráficos cualquiera es válida con diferencia de error entre ellas de un 8%.

4.5 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS (DOS VANOS)

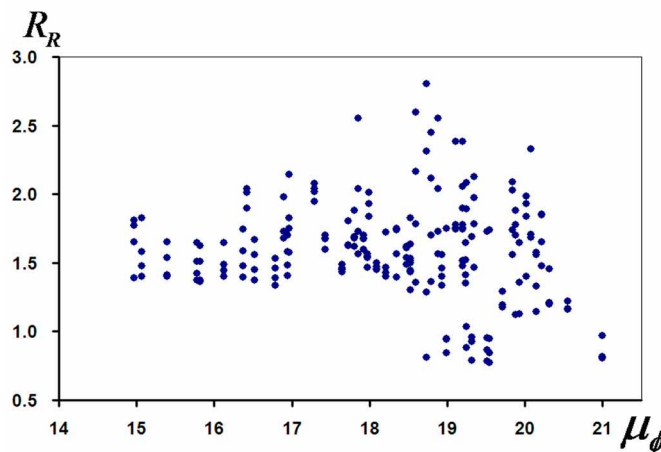


Figura 4.8 Diagrama de dispersión Factor de Redundancia en función de la ductilidad presente en columnas (dos vanos)

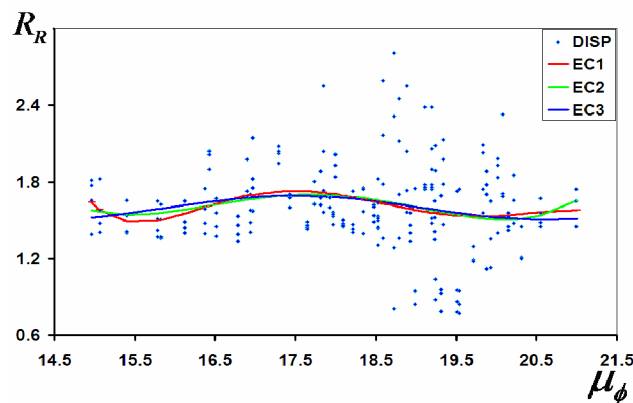


Figura 4.9 Diagrama ajuste de curvas con sus respectivas ecuaciones en columnas (dos vanos)

$$EC1: R_R = -2.78\mu_\phi^5 + 0.26\mu_\phi^4 - 9.43\mu_\phi^3 + 172.39\mu_\phi^2 - 1568.81\mu_\phi + 5685.94 \quad (4.6)$$

$$EC2: R_R = 5.98\mu_\phi^4 - 0.42\mu_\phi^3 + 11.24\mu_\phi^2 - 131.58\mu_\phi + 575.69 \quad (4.7)$$

$$EC3: R_R = 1.59 + 1.89 \cos(\mu_\phi) - 8.95 \sin(\mu_\phi) \quad (4.8)$$

En las graficas 4.8 y 4.9 se observa la dispersión de las ductilidades presentes en columnas tanto de estribo simple, doble y con gancho, aquí se presenta un comportamiento general de la ductilidad.

Al observar las curvas de ajuste se tiene una tendencia casi uniforme al relacionar la ductilidad con el factor de redundancia, donde se presenta un valor de R_R para cada estructura en un rango comprendido de 1.50 a 1.7.

4.5.1 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS ESTRIBO SIMPLE

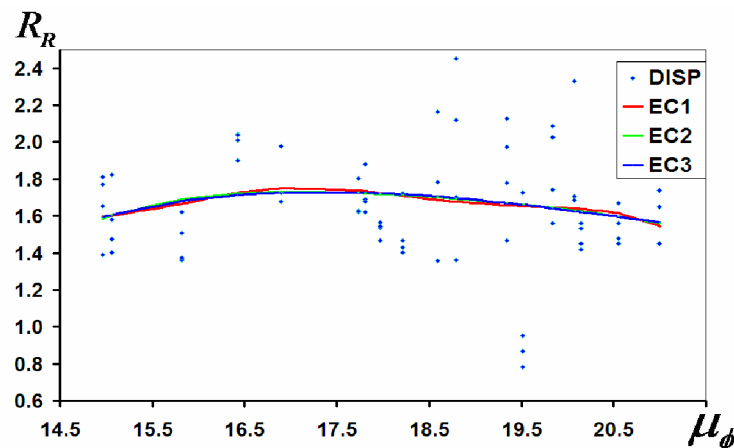


Figura 4.10 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curvas y sus respectivas ecuaciones en columnas y estribo simple (dos vanos)

$$E1: R_R = -1.26\mu_\phi^5 + 0.11\mu_\phi^4 - 4.060\mu_\phi^3 + 71.28\mu_\phi^2 - 638.53\mu_\phi + 2250.20 \quad (4.9)$$

$$E2: R_R = -6.25\mu_\phi^4 + 5.24\mu_\phi^3 - 1.48\mu_\phi^2 + 18.7\mu_\phi - 87.25 \quad (4.10)$$

$$E3: R_R = -1.98 + \frac{1068.44}{\mu_\phi^{1.5}} - \frac{333247}{\mu_\phi^2} \quad (4.11)$$

Para la figura 4.10 se observa la tendencia de las curvas que están representadas por las ecuaciones 4.9, 4.10, 4.11 las cuales describen el comportamiento del R_R en relación a la ductilidad de columnas con estribo simple, de las tres ecuaciones las tres son válidas.

Las curvas presentan una tendencia parabólica el valor de R_R se encuentra en un rango comprendido entre 1.58 a 1.75, considerándose la mayor dispersión de valores entre estos rangos.

4.5.2 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS ESTRIBO DOBLE

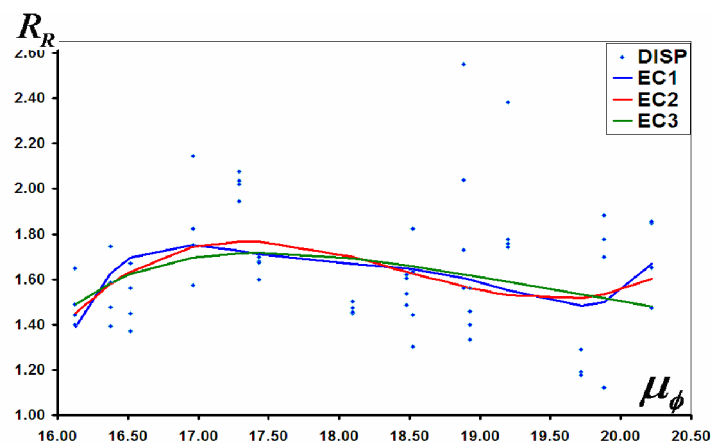


Figura 4.11 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curvas y sus respectivas ecuaciones en columnas y estribo doble (dos vanos)

$$EC1: R_R = 0.023\mu_\phi^5 - 2.11\mu_\phi^4 + 76.93\mu_\phi^3 - 1398.58\mu_\phi^2 + 12701.577\mu_\phi - 46097.98 \quad (4.12)$$

$$EC2: R_R = 4.82\mu_\phi^3 - 2.67\mu_\phi^2 + 48.98\mu_\phi - 297.29 \quad (4.13)$$

$$E3: R_R = 0.302 + \frac{486.062}{\mu_\phi^2} - 6883860.87e^{(-\mu_\phi)} \quad (4.14)$$

En la figura 4.11 se presentan las curvas de ajuste para columnas con estribo doble, obteniéndose rangos de valores para R_R no tan continuos. El valor de R_R para una ductilidad de 16.2 presenta una baja considerable de 1.3. Los rangos establecidos de R_R se encuentran comprendidos entre 1.3 a 1.77.

Concluyendo que el comportamiento del factor R_R para columnas con estribo doble en estructuras regulares de dos vanos con pisos de 1 a 6 presenta un comportamiento muy irregular, no con tendencia a ser uniforme como se presentaban las curvas para columnas con estribo simple.

4.5.3 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS ESTRIBO Y GANCHO

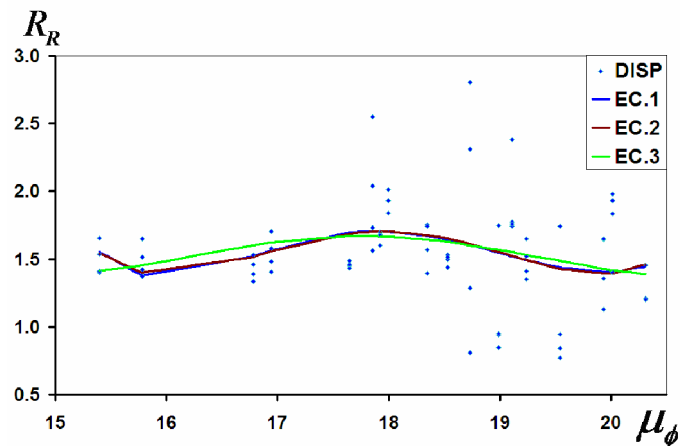


Figura 4.12 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curvas y sus respectivas ecuaciones en columnas (estribo y gancho en dos vanos)

$$EC1: R_R = -2.71\mu_\phi^5 + 0.26\mu_\phi^4 - 10.23\mu_\phi^3 + 196.32\mu_\phi^2 - 1870.62\mu_\phi + 7080.39 \quad (4.15)$$

$$E2: R_R = 2.16\mu_\phi^4 - 1.55\mu_\phi^3 + 41.61\mu_\phi^2 + 494.04\mu_\phi + 2192.412 \quad (4.16)$$

$$E3: R_R = 1.52 + 7.036 \cos(\mu_\phi) - 0.136 \sin(\mu_\phi) \quad (4.17)$$

En la figura 4.12 se presenta la tendencia de tres curvas que describen el comportamiento de R_R en relación con la ductilidad. El rango que se obtuvo para los valores de R_R son de 1.48 a 1.70. Al observar la gráfica 4.12 se visualiza un comportamiento casi uniforme. Al comparar los valores máximos de R_R tanto para columnas con estribo simple, doble y gancho determinamos que el valor de R_R no sobrepasa a 1.77.

4.5.4 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN COLUMNAS TODOS LOS CASOS DOS Y TRES VANOS

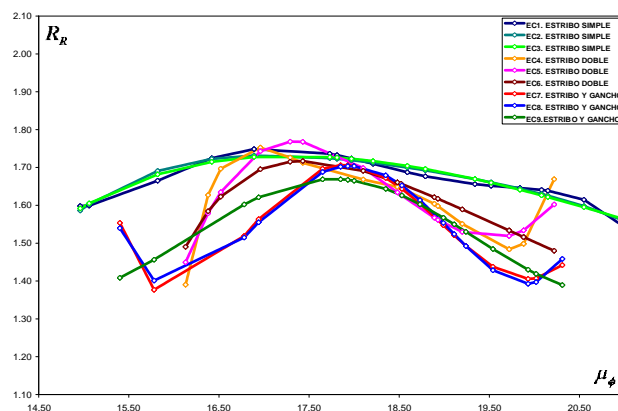


Figura 4.13 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curvas todos los casos en columnas (dos vanos y tres vanos).

En la figura 4.13 observamos el comportamiento de las curvas tanto para estribo simple, estribo doble y estribo – gancho, esta comparación se la hace entre estructuras de dos vanos y de tres vanos con el fin de observar el comportamiento de ambas estructuras. Para estructuras de dos vanos el comportamiento tiende a ser uniforme con la excepción de estribo doble, caso contrario ocurre con estructuras de tres vanos que presentan un

comportamiento muy irregular, estableciéndose para estas estructuras valores de R_R muy diferenciados.

4.5.5 VARIACIÓN DEL FACTOR DE REDUNDANCIA CON DUCTILIDAD POR CURVATURA EN VIGAS Y COLUMNAS (DOS Y TRES VANOS)

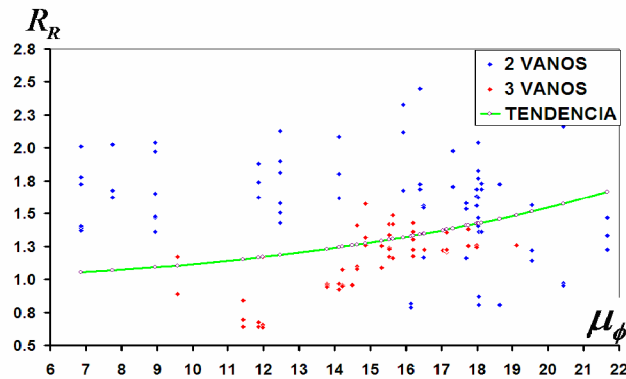


Figura 4.14 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curva y su respectiva ecuación en vigas

$$R_R = \exp(-1.089E - 0.3 \times (\mu\phi)^2) \quad (4.18)$$

Para la figura 4.14 se presenta la ecuación 4.18 que presenta la descripción de la misma.

Esta gráfica representa el comportamiento de R_R con relación a la ductilidad en vigas para estructuras de dos y tres vanos donde se presentan valores de R_R por debajo de 1.8. El porcentaje de error que presenta la ecuación es del 8%.

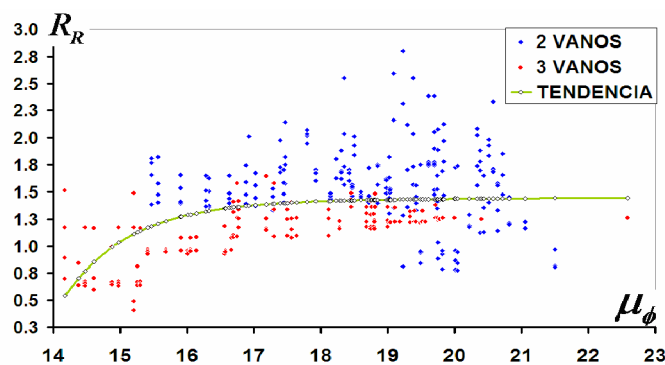


Figura 4.15 Diagrama Factor de Redundancia en función de la ductilidad con ajuste de curva y su respectiva ecuación en columnas

$$R_R = 1.372 + 5.15E - 0.3(\mu\phi)^{\frac{1}{2}} \times \log(\mu\phi) - 764273.97 \times \exp(-\mu\phi) \quad (4.19)$$

Para la figura 4.15 el comportamiento que presentan las columnas en relación al factor R_R y la ductilidad se observa que la dispersión para columnas pertenecientes a estructuras de dos vanos se encuentran por encima de la curva de ajuste representada por la ecuación (4.19) donde su valor máximo de R_R es de 1.5 mientras las estructuras por debajo de la curva de ajuste se representan por las estructuras de tres vanos.

Por lo tanto concluimos que para las columnas de estructuras de tres vanos de 1 a 6 pisos se presentan valores de R_R por debajo de 1.5, mientras para columnas de estructuras de dos vanos de 1 a 6 pisos se presentan valores de R_R por encima de 1.5.

Este comportamiento ocurre de igual manera para las vigas de estructuras de dos y tres vanos con la diferencia que para las primeras se encuentra por encima del valor de $R_R = 1.7$ y para las segundas por debajo de este valor. La curva de ajuste genera un error 6% para la ecuación (4.19).

CAPÍTULO V

CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS GLOBAL “R”

RESUMEN

Se realiza la obtención del Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R) para cuatro tipos de suelo (S1, S2, S3, S4) obteniendo primeramente el Factor de Reducción por Ductilidad (R_{μ}) en función del periodo con ductilidades de ($\mu=2$; $\mu=3$; $\mu=4$). De la misma manera analizamos el Factor de Reducción por Sobre resistencia (R_{Ω}) en función del periodo con derivas de piso ($\gamma = 0.5\%$, $\gamma = 1\%$, $\gamma = 1.5\%$, $\gamma = 2\%$). Posteriormente tenemos el Factor de Reducción por Redundancia (R_R) por la metodología propuesta la cual esta en función del índice de redundancia por resistencia, del número de rótulas en función de las cuantías y el número total de rótulas de la

estructura. Finalmente obtenemos el valor de Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas (R) multiplicando (R_μ, R_R, R_Ω) de cada tipo de suelo y deriva de piso.

5.1 INTRODUCCIÓN:

En el presente capítulo se presenta la obtención del factor de reducción de las fuerzas sísmicas producto de la multiplicación de los factores de redundancia (R_R), de ductilidad (R_μ) y de sobre resistencia (R_Ω).

El factor de ductilidad (R_μ) se ha obtenido en base a estudios realizados con anterioridad, específicamente cuatro trabajos. El primero de ellos analizado por Aguiar y Guerrero (2006), otro por Aguiar y Gonzáles (2006) y finalmente dos trabajos por Aguiar, Romo y Aragón (2007), prácticamente en los últimos trabajos se obtuvo el factor de ductilidad con 80 acelerogramas y 112 acelerogramas de pequeña magnitud.

Sabiendo que el factor de sobre resistencia (R_Ω) depende del período natural de vibración de la estructura y del sistema resistente ante cargas laterales se analizaron 432 edificaciones de uno a seis pisos, este análisis demostró que el factor de sobre resistencia depende de la deriva de piso, este análisis fue realizado por Aguiar, Mora y Guadalupe (2007).

Finalmente el factor de redundancia (R_R) se obtuvo en esta tesis por medio del análisis de 432 edificaciones de uno a seis pisos. Para este análisis se realizaron cálculos basados en la metodología de TSOPELAS y HUSAIN (2004) en la cual se halla el

índice de resistencia y el índice de redundancia, con algunos cambios al introducir la metodología propuesta por Aguiar.

Considerando que en este capítulo se halló el factor de ductilidad para los cuatro diferentes tipos de suelo y para tres diferentes tipos de ductilidad se establece el comportamiento y la relación que estas curvas presentan entre sí con lo cual se forma un compendio general del análisis generado en este capítulo.

5.1.1 FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS (R) PARA SUELOS (S1, S2, S3, S4).

5.1.1.1 FACTOR DE DUCTILIDAD R_{μ}

Para determinar el factor de reducción por ductilidad se obtuvo la ecuación 5.1 la cual es producto de las investigaciones y trabajos realizados en anteriores tesis, mencionadas en este capítulo.

$$R_{\mu} = 1 + (\mu - 1) \left[\frac{aT(1 - 0.165\mu)}{aT(1 - 0.165\mu) + 4900} \right] \quad (5.1)$$

Los valores de (a) para los cuatro tipos de suelo, se indican en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Valores obtenidos para la variable (a) según el tipo de suelo

VARIABLE	Suelo S1	Suelo S2	Suelo S3	Suelo S4
A	100500	91000	73600	38900

En base a la ecuación 5.1 se obtuvieron las figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, en las cuales se representa la tendencia de las curvas para ductilidades de 2, 3 y 4 y para los cuatro tipos de suelo, donde esta tendencia es parabólica la cual parte de uno y va disminuyendo según el tipo de suelo, es decir mientras el suelo presenta propiedades mecánicas

desfavorables el factor de ductilidad disminuye y viceversa. Consideremos que la ecuación 5.1 se encuentra en función de la ductilidad por lo tanto si la ductilidad presenta una disminución. El factor de ductilidad tiende a comportarse de una manera asintótica en dirección a las ordenas que en este caso es el eje de los períodos, y el factor de ductilidad tiende a ser uno, esta ecuación también se encuentra en función del período, si éste tiende a cero el factor de ductilidad tiende a ser uno, por lo tanto a un mayor período existirá una mayor prolongación de la curva, por lo tanto establecemos que el período es directamente proporcional al factor de ductilidad observando el comportamiento de las gráficas, expuestas a continuación:

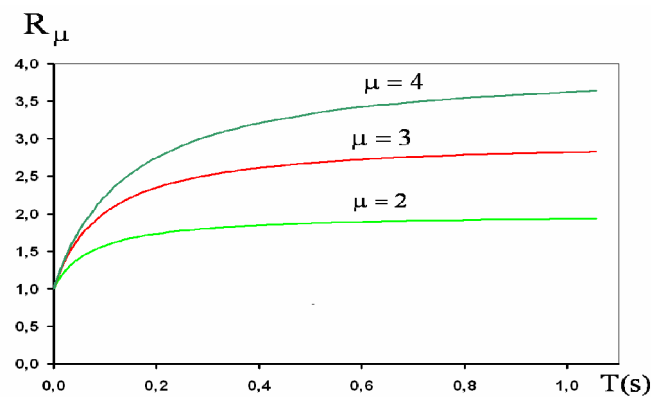


Figura 5.1 Factor de ductilidad en función del período con ductilidades de 2, 3,4 para tipo de suelo S1

En la figura 5.1 observamos el comportamiento de las curvas para un tipo de suelo S1 es de carácter parabólico observamos que al tener una mayor ductilidad el factor de ductilidad tiende a aumentar en una relación proporcional con el período. La diferencia que existe entre las curvas según su ductilidad es de una manera proporcional tal es así que para una ductilidad de 2 con relación a una ductilidad de 3 existe un descenso proporcional del 30% , lo mismo ocurre entre una ductilidad de 4 a 3.

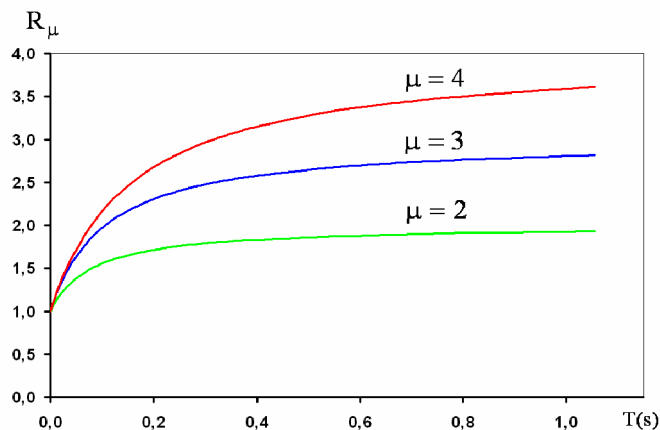


Figura 5.2 Factor de ductilidad en función del período con ductilidades de 2, 3,4 para tipo de suelo S2

Para la figura 5.2 observamos un comportamiento similar al descrito sobre la figura 5.1 con la diferencia que existe un descenso muy leve, casi imperceptible entre cada una de las ductilidades de la figura 5.1 en comparación con las ductilidades descritas en cada curva de la figura 5.2 del orden de un 3%.

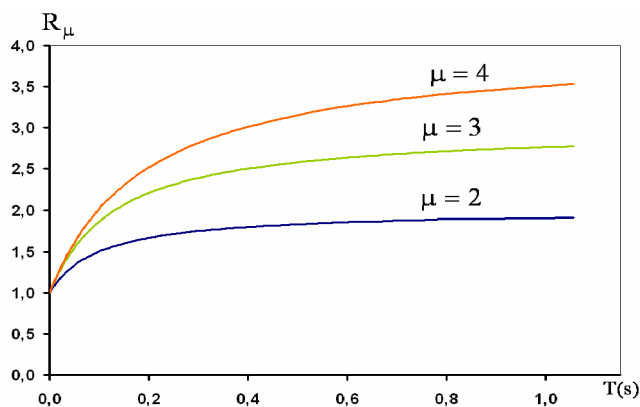


Figura 5.3 Factor de ductilidad en función del período con ductilidades de 2, 3,4 para tipo de suelo S3

En la figura 5.3 al observar las curvas descritas por cada valor de la ductilidad y al compararlas con las graficas descritas por la figura 5.2 observamos existe un descenso

entre el factor de ductilidad para una ductilidad de 4 en la figura 5.2 a la ductilidad de 4 para la figura 5.3 del orden de un 7% lo mismo ocurre entre las ductilidades de 3 y 2.

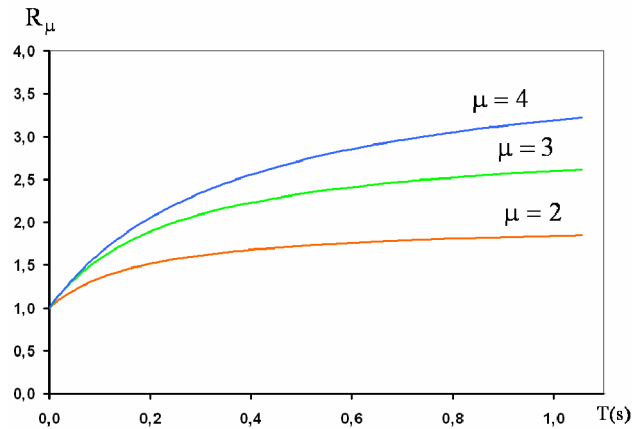


Figura 5.4 Factor de ductilidad en función del período con ductilidades de 2, 3,4 para un tipo de suelo S4

Observamos que las curvas de las Figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, presentan una tendencia parabólica, al comparar los valores de las curvas de las figuras 5.1 a 5.2 presentan una variación descendente del 3%, para las curvas de la figura 5.2 a las de la figura 5.3 presentan una variación descendente del 7% y para las curvas de la figura 5.3 a las curvas de la figura 5.4 presentan una variación del 30%, por lo tanto concluimos que la mayor variación descendente del factor de ductilidad se encuentra presente para un suelo tipo S4, por lo tanto el menor valor del factor de ductilidad. El mayor valor del factor de ductilidad se presenta para un suelo tipo S1, y en relación los suelos que presenta un valor alto para el factor de ductilidad son el suelo tipo S1 y S2. Los valores más bajos presentados por los suelos tipo S3 y S4.

5.1.1.2 FACTOR DE SOBRE RESISTENCIA R_{Ω}

En las figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, y 5.6, se encuentra el ajuste de curvas para las dispersiones presentes en las mismas. Se ha trabajado con derivas del 0.5%, 1%, 1.5% y el 2% por lo tanto se han obtenido diversas tendencias de curvas con su respectiva ecuación y rango de error.

Cada punto representa la sobre resistencia presentada en los elementos estructurales tanto de vigas como de columnas de las 432 edificaciones analizadas que constan tanto de dos vanos como de tres vanos y de uno a seis piso. Los valores de cada punto (sobre resistencia de cada elemento estructural) se obtuvieron en base al programa DISCIPA, en el trabajo realizado por Mora y Guadalupe en la tesis referente al factor de sobre resistencia.

Considerando que el ajuste de curvas no se realizó con los valores medios más menos la desviación estándar que da una aproximación del 87% y que solamente se lo hizo con los valores medios que tienen una aproximación del 50%, deducimos que la proyección de los valores medios sin la desviación estándar facilita la obtención de la ecuación que describe el comportamiento de la sobre resistencia en cada elemento estructural, concluimos que la exactitud estimada en un 50% es suficiente para determinar el comportamiento de la curva ejemplificada en el ajuste de la misma.

A continuación se presentan las gráficas de sobre resistencia obtenidas para derivas del 0.5%, 1%, 1.5%, 2% en las cuales se representa el comportamiento de la sobre resistencia en función del período y de la deriva de piso. Considerando que el C.E.C 2000 establece

que las derivas de piso para edificios de hormigón armado deben presentar una deriva máxima del 2% se han tomado valores menores a este valor.

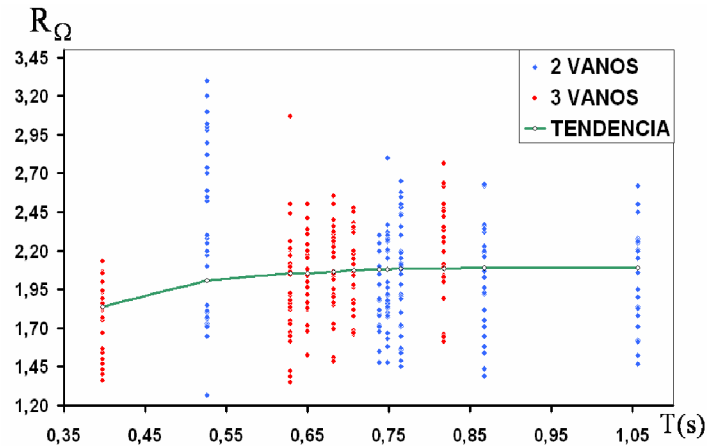


Figura 5.5 Ajuste de curva: Factor de Sobre resistencia en función del período para dos y tres vanos con $\gamma = 0.5\%$ con su respectiva ecuación.

$$R_{\Omega} = 1.69 + \frac{0.82}{T^{1.5}} - \frac{0.50}{T^2} \quad (5.2)$$

La ecuación 5.2 presentó un porcentaje de error del 10% ajustándose de mejor manera a los valores de la dispersión.

En la figura 5.5 observamos como la curva presenta una tendencia por debajo de una sobre resistencia de 2.10 por lo tanto concluimos que los valores del factor de sobre resistencia para una deriva del 0.5% presenta un valor máximo de 2.09, y la tendencia de esta curva se encuentra representada por la ecuación 5.2. Además podemos deducir que el comportamiento lineal de la curva se presenta a partir de un período de 0.85 (s) lo cual nos indica que la curva tiene un comportamiento constante a partir de este período.

Por lo tanto la sobre resistencia a partir de un periodo de 0.85(s) a 1.05 (s) es de 2.09.

Podemos concluir que la sobre resistencia se encuentra en función del período de vibración y para nuestro estudio en función de la deriva de piso.

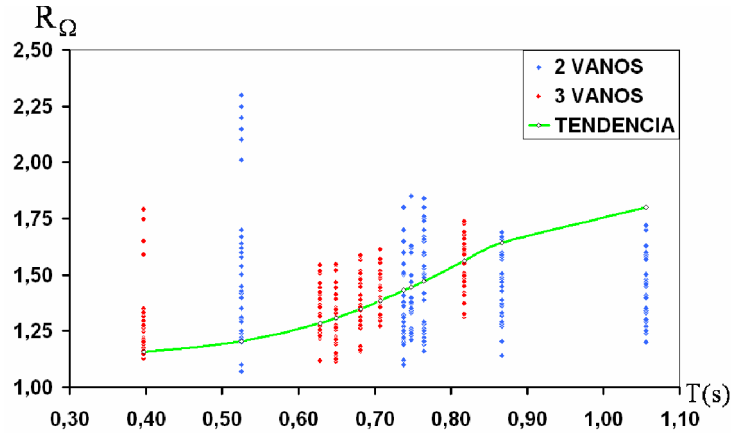


Figura 5.6 Ajuste de curva: Factor de Sobre resistencia en función del período para dos y tres vanos con $\gamma = 1\%$ con su respectiva ecuación.

$$R_{\Omega} = -10.27T^4 + 24.95T^3 - 20.11T^2 + 6.98T + 0.25 \quad (5.3)$$

El comportamiento de la curva expresada en la figura 5.3 indica un ascenso gradual de la sobre resistencia a un aumento directo del período, tal es así que en la ecuación 5.3 podemos observar que el periodo tiene un comportamiento directamente proporcional a la sobre resistencia es decir a mayor período de vibración mayor sobre resistencia. El comportamiento lineal de esta curva se debe al ajuste de varios ensayos que se han realizado, tomándose el diagrama que menor error ha presentado en la descripción del mismo. La tendencia esta en función de la dispersión de puntos presentes en el diagrama. El mayor valor del factor de sobre resistencia alcanzada fue de 1.8 se obtuvo con un valor de 1.06(s). La ecuación 5.3 que representa el comportamiento de la curva

presente en la figura 5.6 presento un 10% en el ajuste de la misma por lo tanto es la que mejor comportamiento ha descrito.

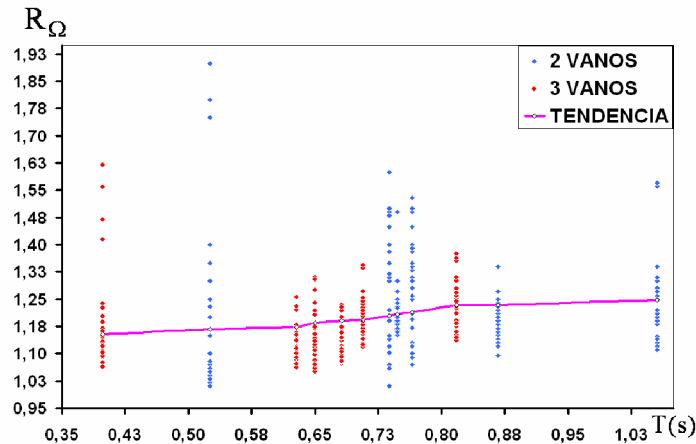


Figura 5.7 Ajuste de curva: Factor de Sobre resistencia en función del período para dos y tres vanos con $\gamma = 1.5\%$ con su respectiva ecuación.

$$R_{\Omega} = -2.82T^3 + 6.27T^2 - 4.27T + 2.07 \quad (5.4)$$

En la ecuación 5.4 se presento un porcentaje de error del 8% lo que la hace confiable.

Para la figura 5.7 el valor de la sobre resistencia presenta un máximo valor de 1.25 con un periodo de 1.056 (s). Al observar que tanto el factor de sobre resistencia como el periodo van en aumento se define que existe una relación de proporcionalidad entre ambas magnitudes. La dispersión de los puntos representados por el valor del factor de sobre resistencia presente en vigas y columnas de edificios de dos y tres vanos genera una tendencia creciente en la curva de ajuste, por lo tanto la ecuación que describe dicha curva es lineal y polinómica.

Al analizar detalladamente la figura 5.7 se concluye que entre períodos de 0.43(s) a 0.60(s) el factor de sobre resistencia presenta un aumento leve, entre períodos de 0.60(s) a 0.80 (s) se presenta en cambio un aumento más representativo del factor de sobre resistencia, para luego presentar una tendencia de aumento leve.

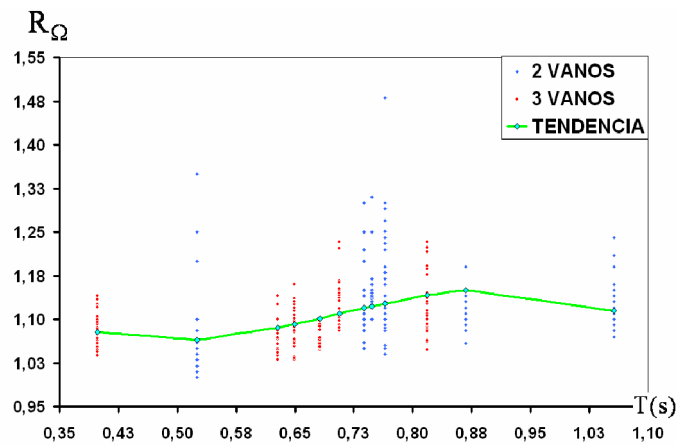


Figura 5.8 Ajuste de curva: Factor de Sobre resistencia en función del período para dos y tres vanos con $\gamma = 2\%$ con su respectiva ecuación.

$$R_{\Omega} = -2.34T^3 + 4.93T^2 - 3.14T + 1.70 \quad (5.5)$$

Para la ecuación 5.5 se presentó un porcentaje de error del 8%. Para la figura 5.8 el máximo valor del factor de redundancia que es de 1.15 se observa en un período de 0.88 (s). Cabe destacar que a diferencia de las anteriores curvas para el valor del último período se obtenía el máximo valor del factor de redundancia, caso que no ocurre en la figura 5.8, ya que para los períodos que se encuentran después del valor de 0.88 se obtuvieron valores del factor de resistencia menores.

Al analizar éste comportamiento se puede definir que para una deriva del 2% la sobre resistencia presenta un comportamiento variable de acuerdo con las dispersiones obtenidas y el ajuste de curva obtenido, no se puede definir un crecimiento permanente de la sobre resistencia al aumentar el período, ya que su comportamiento presenta altos y bajos en su trayectoria.

Al comparar los valores de las cuatro curvas presentadas anteriormente que corresponden a derivas del 0.5%, 1%, 1.5% y del 2% concluimos que el mayor valor presentando del factor de sobre resistencia fue de 2.09 correspondiente a una deriva del 0.5% y el valor del factor de sobre resistencia más bajo fue de 1.15 correspondiente a una deriva del 2%, por lo tanto definimos que mientras menor sea el valor de la deriva mayor será el factor de sobre resistencia, y mientras mayor sea el valor de la deriva menor será el valor del factor sobre resistencia, por supuesto cabe aclarar que la función que cumple el período indiscutiblemente es sustancial para este tipo de análisis. Ahora si observamos el comportamiento total de las curvas sin analizar sus máximos valores se detallará que toda la tendencia de puntos hace que la curva descrita baje de posición en función de la deriva, es decir la misma al aumentar de valor hace que la sobre resistencia baje.

Comparando los valores máximos de cada curva observamos que existe una variación del 0.3 % entre los valores presentados pudiendo concluir que la sobre resistencia varía en un rango del 0.30% de derivas que presenta variaciones del 0.5%. Las curvas de la sobre resistencia descritas por las ecuaciones 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 solo describen la curva para períodos comprendidos entre 0.35 (s) a 1.10 (s).

5.1.1.3 FACTOR DE REDUNDANCIA (R_R) EN FUNCIÓN DEL PERÍODO

METODOLOGÍA PROPUESTA

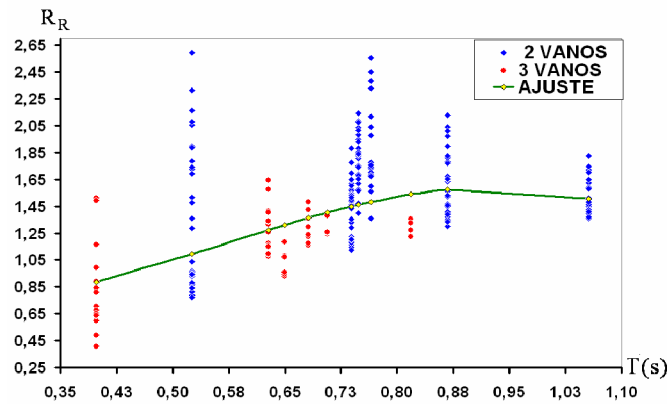


Figura 5.9 Ajuste de curva con metodología propuesta: Factor de redundancia en función del Período.

$$R_R = -2.99T^3 + 6.54T^2 - 3.26T + 1.30 \quad (5.6)$$

En la ecuación 5.6 el porcentaje de error fue del 5%.

Para el cálculo del factor de redundancia utilizamos la metodología propuesta descrita en el capítulo IV. Con la ecuación de la metodología propuesta se obtuvo cada punto figura 5.9 representado por los valores del factor de redundancia presente tanto para columnas como para vigas, en estructuras de dos y tres vanos desde 1 a seis pisos.

Observamos en la figura 5.9 que los puntos de dispersión para dos vanos se encuentran entre períodos de 0.53 (s) a 1.056(s) y los puntos de dispersión para tres vanos se encuentran entre períodos de 0.3979 (s) a 0.818(s), esto se realizó por metodología de cálculo con el fin de observar el comportamiento de cada estructura, además con el fin

de determinar una tendencia optima de la curva. Hay que considerar que los valores presentes para el factor de redundancia presenta un máximo valor de 1.57 y un valor mínimo de 0.80. El ATC-95 estipula un valor de R_R menor a la unidad alrededor de 0.71 cuando la estructura tiene dos ejes de columnas, pero en nuestro caso se ha trabajado con dos y tres ejes de columnas proporcionándonos valores inferiores y superiores a la unidad, por lo tanto al presentar valores de 0.80, 0.81, 0.90 no debe de extrañarnos, por lo tanto decimos que para periodos comprendidos entre 0.35(s) a 0.70 (s) se presenta una mayor cantidad de puntos por debajo de la unidad, estableciendo un valor de $R_R = 0.88$ (s) para estructuras regulares dos y tres vanos, de 1 a 6 pisos. Para períodos de 0.80 (s) a 1.10 (s) se presenta una tendencia superior a la unidad con un valor de $R_R = 1.50$. Estos resultados son obtenidos en base a las estructuras calculadas.

5.1.1.4 CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS (R)

Es importante analizar el comportamiento de la estructura en función del suelo y de la ductilidad que ésta presenta por lo cual hemos analizado varias estructuras regulares de 1 hasta 6 pisos y de dos hasta tres vanos.

Para este tema de tesis se obtuvieron diagramas del factor de reducción de las fuerzas sísmicas (R) para tipos de suelo S1, S2, S3, S4 los cuales están en función de ductilidades de ($\mu=2$, $\mu=3$ y $\mu=4$).

A continuación analizaremos el comportamiento del Factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R) presente ante diferentes tipos de suelo y diferentes porcentajes de derivas de piso. El CEC 2000 considera un valor de $R=7$ esto cuando se trabajan con estados de carga sin mayorar la carga sísmica, al mayorar el estado de carga sísmica el CEC 2000 trabaja con un valor de $R=10$.

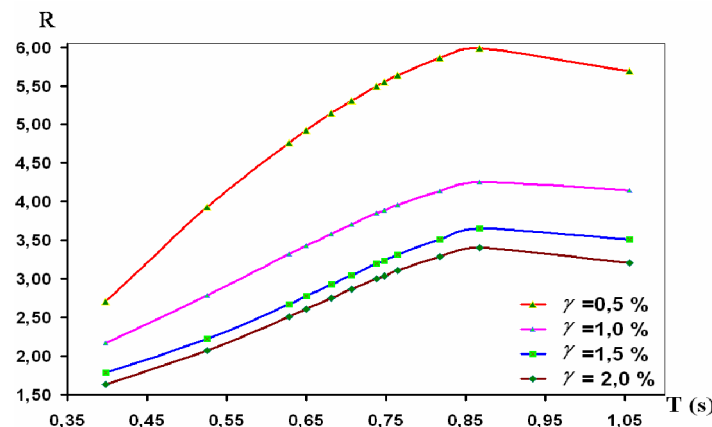


Figura 5.10 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del periodo con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S1 y ductilidad $\mu = 2$

Para la figura 5.10 el comportamiento de la curva para una deriva $\gamma = 0.5\%$ el factor R presenta un valor de 6, para una deriva del 1% el valor de R baja considerablemente a 4, para un valor de $\gamma = 1.5\%$ el valor de $R=3.65$ y para un valor de $\gamma = 2\%$ $R = 3.40$ por lo tanto concluimos que a mayor deriva de piso existe una reducción en R . la variación presente entre derivas de $\gamma = 0.5\%$ al $\gamma = 1\%$ es de un 40% del valor de R siendo la más alta y este porcentaje va bajando en relación de deriva a deriva. La ductilidad de dos influye para que el valor de R presente un punto máximo de 6, a continuación

analizaremos el comportamiento de las otras curvas con ductilidades mayores y veremos como el valor de R aumenta considerablemente.

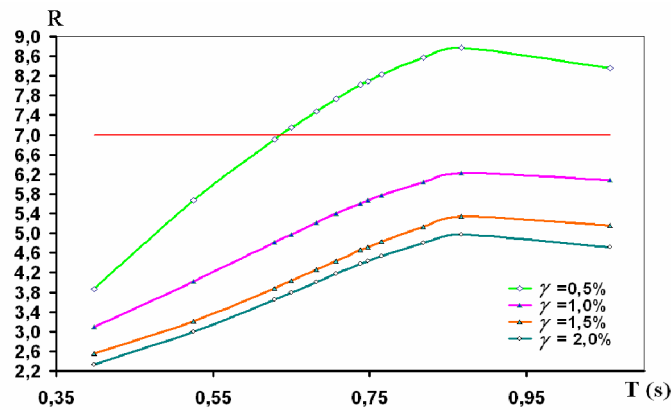


Figura 5.11 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S1 y ductilidad $\mu = 3$

Para la figura 5.11 observamos un comportamiento similar a la figura 5.10 con la diferencia que la ductilidad influyó notablemente en el valor de R presentando éste un valor máximo de 8.8 con una deriva del 0.5%, éste valor de R todavía está inferior al valor estipulado por el CEC 2000 cuyo valor es de 10. Lo mismo ocurrió para derivas del 1%, 1.5% y 2% ésta presentaron un aumento notable en relación a las curvas con ductilidades de 2.

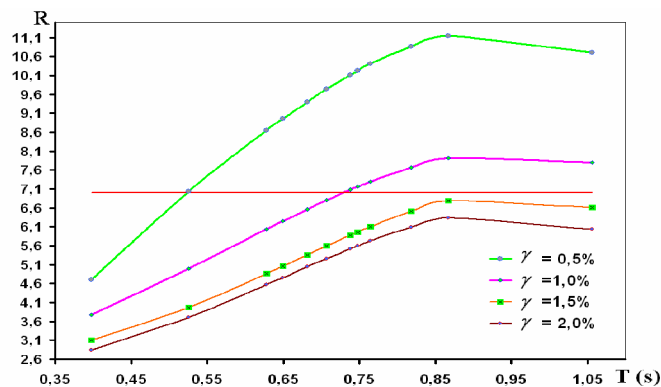


Figura 5.12 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del periodo con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S1 y ductilidad $\mu = 4$

Para la figura 5.2 se presento un valor máximo de $R = 11.20$ esto nos da la pauta que la ductilidad juega un papel importante en los valores de R , es decir que a mayor ductilidad mayor será el valor de R . En una edificación que presente una gran ductilidad, las dimensiones de las secciones tanto de vigas como de columnas serán menores a las estructuras que presenten poca ductilidad, esto se debe a que la ductilidad de la edificación incide directamente al factor de reducción de fuerzas sísmicas (R) el cuál influye en las fuerzas sísmicas consideradas como cargas laterales que determinan en una manera decisiva la sección de los elementos estructurales.

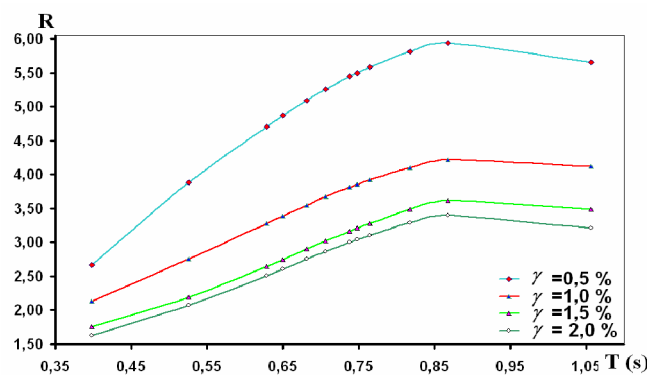


Figura 5.13 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S2 y ductilidad $\mu = 2$

Para la figura 5.13 el comportamiento de las curvas es similar a las analizadas para un tipo de suelo S1 figura 5.11 con una deriva del 0.5% se mantiene el valor de R tendiente a 6. Si existe una variación con el tipo de suelo S1 y ductilidad igualmente de 2, ésta será muy pequeña. Llegando a la conclusión que para tipos de suelo S1 y S2 con ductilidades de 2 el valor de R presenta un valor de 6 para derivas del 0.5%, para

derivadas del 1% R presenta un valor máximo del 4.2, para derivadas del 1.5% se presenta un valor máximo de $R = 3.4$ y para el 2% R presenta un valor máximo de 3.4.

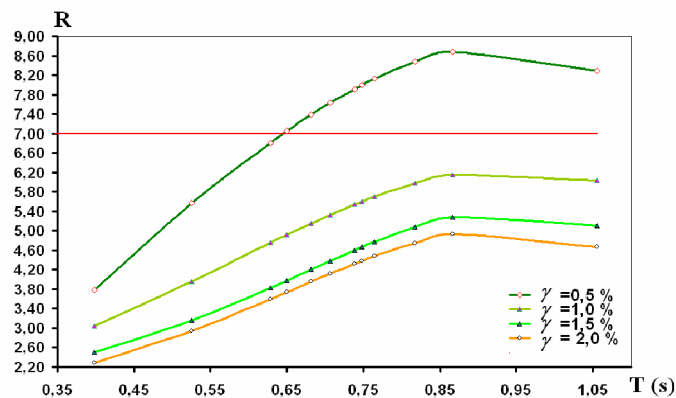


Figura 5.14 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivadas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S2 y ductilidad $\mu = 3$

Para la figura 5.14 en comparación con la figura 5.11 existe una diferencia entre sus valores de un 2.26%. Al comparar el tipo de suelo S1 figura 5.11 con el tipo de suelo S2 (figura 5.14) y de ductilidades con un valor de 3 concluimos que existe una tendencia a la disminución del factor R desde el suelo S1 al S2 en el orden de un 2.26%. Por lo tanto el factor R tiende a disminuir su valor conforme a la calidad de suelo. Si se presenta una buena calidad de suelo el valor del factor R tiende a ser alto, caso contrario al presentar un tipo de suelo de condiciones mecánicas desfavorables, el valor del factor R tiende a ser bajo.

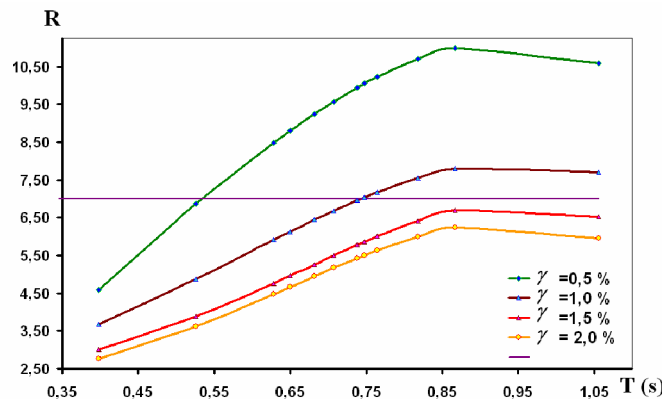


Figura 5.15 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S2 y ductilidad $\mu = 4$

Para el tipo de suelo S1 figura 5.12 y S2 figura 5.15 la tendencia al descenso del valor del factor R con una ductilidad de 4 se encuentra en el orden del 1.15%

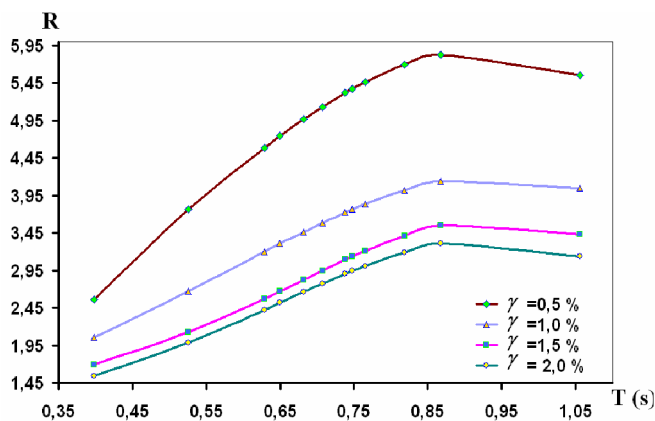


Figura 5.16 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S3 y ductilidad $\mu = 2$

Para el tipo de suelo S2 figura 5.13 y S3 figura 5.16 con ductilidades de 2 se presenta una variación del 2%.

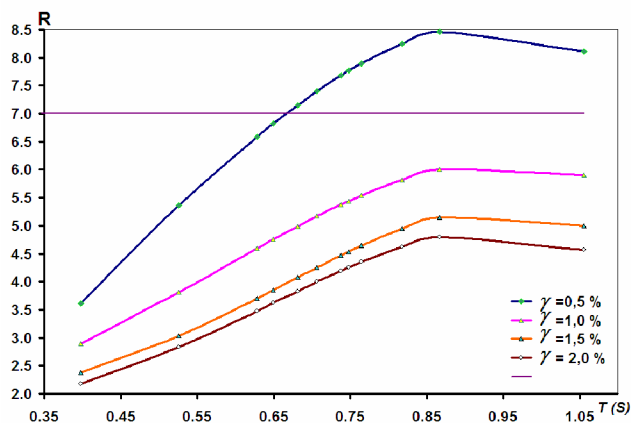


Figura 5.17 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S3 y ductilidad $\mu = 3$.

Para el tipo de suelo S2 figura 5.14 y S3 figura 5.17 con ductilidades de 3 se presenta una variación del 2.2%.

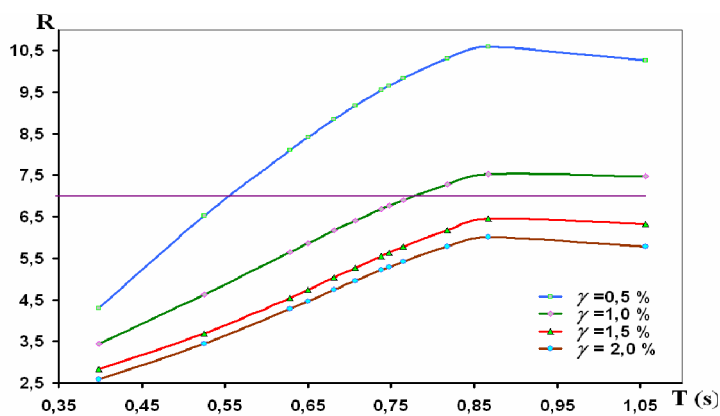


Figura 5.18 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S3 y ductilidad $\mu = 4$.

Para el tipo de suelo S2 figura 5.15 y S3 figura 5.18 con ductilidades de 4 se presenta una variación del 3 %.

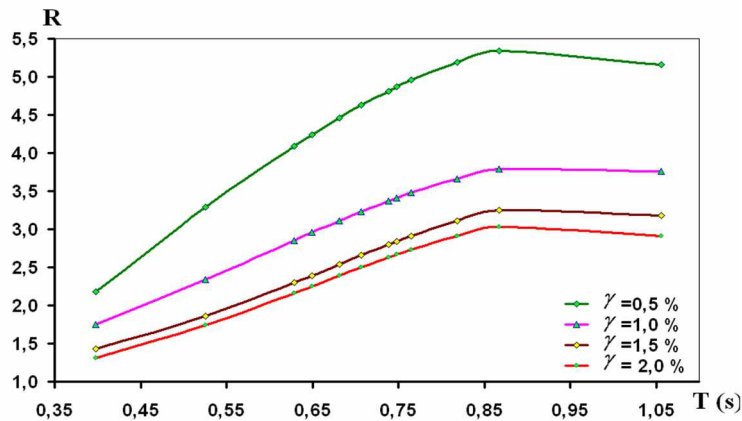


Figura 5.19 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S4 y ductilidad $\mu = 2$.

Para el tipo de suelo S3 figura 5.16 y S4 figura 5.19 con ductilidades de 2 se presenta una variación del 8 %.

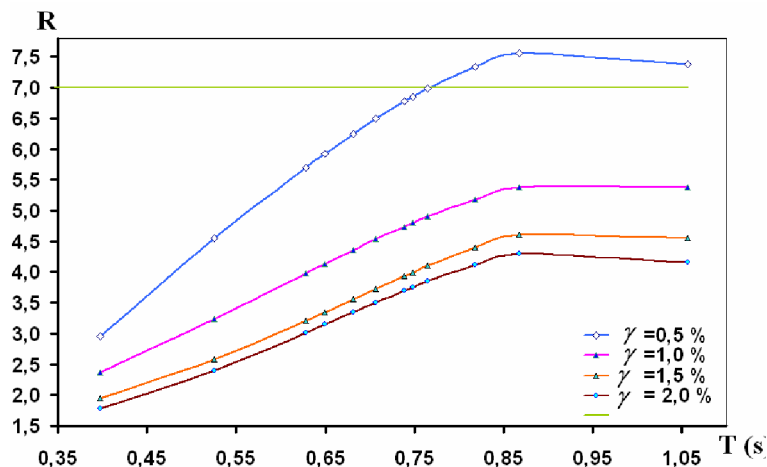


Figura 5.20 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S4 y ductilidad $\mu = 3$.

Para el tipo de suelo S3 figura 5.17 y S4 figura 5.20 con ductilidades de 3 se presenta una variación del 11 %.

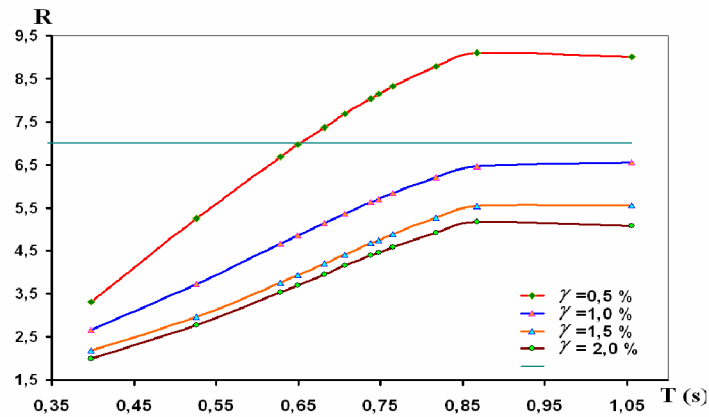


Figura 5.21 Factor de reducción de las Fuerzas Sísmicas en función del período con derivas de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% para un suelo tipo S4 y ductilidad $\mu = 4$.

Para el tipo de suelo S3 figura 5.18 y S4 figura 5.21 con ductilidades de 4 se presenta una variación del 11 %.

Como conclusión general se realizará una comparación entre los cuatro diferentes tipos de suelo con ductilidades de 2, 3 y 4.

La descripción detallada de los valores máximos y mínimos obtenidos en las curvas que representan el valor del factor R en función de la ductilidad, derivas de piso en porcentaje y período se encuentran expuestos en la tabla 5.2, de la cuál se obtendrán las conclusiones finales de este capítulo, y la proyección de los valores del mismo para diferentes tipos de suelo, ductilidad y deriva de piso.

El CEC 2000 establece para las estructuras de hormigón armado la deriva máxima es de 2%, pero en nuestro estudio la deriva de piso máxima calculada en forma inelástica será de 1.5%.

Se realizará un análisis con todas las derivas presentes en éste estudio del comportamiento del factor R.

Tabla 5.2 Valores obtenidos del factor R encontrados en las graficas 5.12 a la 5.21

DUCTILIDADES (μ)	TIPO DE SUELO	DERIVAS γ (%)	VALORES MÍNIMOS DEL FACTOR (R)
2	S1	0,5%	6,0
	S2		5,9
	S3		5,8
	S4		5,3
	S1	1,0%	4,3
	S2		4,2
	S3		4,1
	S4		3,8
	S1	1,5%	3,7
	S2		3,6
	S3		3,6
	S4		3,3
	S1	2,0%	3,4
	S2		3,4
	S3		3,3
	S4		3,0
3	S1	0,5%	5,0
	S2		8,7
	S3		8,5
	S4		7,6
	S1	1,0%	5,3
	S2		6,2
	S3		6,0
	S4		5,4
	S1	1,5%	6,2
	S2		5,3
	S3		5,2
	S4		4,6
	S1	2,0%	8,8
	S2		5,3
	S3		4,8
	S4		4,3
4	S1	0,5%	11,2
	S2		11,0
	S3		10,6
	S4		9,1
	S1	1,0%	7,9
	S2		7,8
	S3		7,5
	S4		6,5
	S1	1,5%	6,8
	S2		6,7
	S3		6,5
	S4		5,5
	S1	2,0%	6,3
	S2		6,2
	S3		6,0
	S4		5,2

En la tabla 5.2 se presentan los valores de R para diferentes tipos de suelo, ductilidades y derivas de piso. Se presentan estos valores con la finalidad de observar el comportamiento del factor R y determinar los rangos de valor que presenta para establecer una divergencia en su porcentaje de variación y normalizar resultados.

CAPÍTULO VI

COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

Este capítulo contiene los comentarios establecidos por medio del análisis de resultados obtenidos en base a estudios y ensayos de modelos matemáticos desarrollados a lo largo de ésta investigación.

Se presentan conclusiones respecto a la redundancia y a la ductilidad en vigas y columnas, analizadas con la metodología propuesta y estudios en base a los índices de redundancia y de resistencia.

Se dan recomendaciones para la utilización de R en estructuras de dos y tres vanos.

6.1 COMENTARIOS

El aporte principal de este estudio es el análisis de la metodología propuesta para la obtención del factor de redundancia aplicada en la ecuación 6.1 y la comparación de resultados obtenidos con la propuesta de Tsopelas y Gusain en base a los índices de redundancia y resistencia descritos en los capítulos anteriores.

$$R_R = \frac{\# \text{ de rótulas} \times \gamma_S}{\# \text{ total de rótulas}} \quad (6.1)$$

Otro aporte sustancial es la obtención del factor R en base a la multiplicación de los factores de ductilidad R_μ , de redundancia R_R y de sobre resistencia R_Ω cuyo resultado total se compara con el valor de R obtenido por las normas de Guatemala.

La ductilidad en vigas como en columnas constituye un factor de análisis importante, para determinar el comportamiento de la redundancia en las estructuras teniendo un aporte de vital importancia para las conclusiones que se describirán con respecto al desempeño para armados con estribo simple, doble y con gancho.

El comportamiento del índice de variación de redundancia en función del número de pisos es importante para definir el aumento o disminución de R_R , de tal manera que mientras mayor sea el valor de éste índice el valor de R_R disminuye y viceversa. El índice de variación de redundancia se lo obtiene de una forma probabilística. La presencia de mayor número de elementos estructurales en la edificación determina una disminución en r_V y por lo tanto R_R aumenta, prácticamente a mayor número de pisos mayor será la redundancia, en relación a nuestro estudio.

$$R_R = r_S \left(\frac{1 - k v_e r_V}{1 - k v_e} \right) \quad (6.2)$$

En la ecuación 6.2 se indica al factor de redundancia en función del índice de resistencia r_S , esta ecuación es propuesta por Tsopelas y Gusain, donde v_e y k son los

coeficientes de variación de la fuerza y el factor de forma de la resistencia los cuales juegan un papel muy importante en la variación del factor de redundancia R_R , a medida que $k v_e$ aumenta de la misma manera ocurre con el valor de R_R , por lo tanto indica una relación directa en el comportamiento de la redundancia.

6.2 CONCLUSIONES

- Las normativas de Guatemala presenta una opción para determinar la redundancia en sistemas estructurales y por ende el factor de reducción de fuerzas sísmicas R basados en factores de calidad q_i , los cuales se encuentran en función de la forma del pórtico tanto en elevación como en planta, las irregularidades presentes, y otros aspectos discutidos en el capítulo 2. El valor de R obtenido en base a esta metodología fue de 6.33, demostrando este resultado que el valor de $R=10$ propuesto por el CEC 2000 debería disminuir en un porcentaje.
- El factor de redundancia juega un papel importante en el desempeño de una estructura por lo tanto las definiciones más correctas se obtuvieron luego de analizar las propuestas utilizadas por Tsopelas y Gusain. Las curvas obtenidas a partir de esta propuesta y las obtenidas por la segunda metodología definieron el comportamiento uniforme para las variaciones de $k v_e$ las cuales se trabajaron con valores de 0.12, 0.22 y 0.35. Con la metodología propuesta se obtuvo cierta uniformidad hasta tres pisos de altura, para uno y dos pisos empieza una discontinuidad considerable, concluyendo que el comportamiento de la metodología propuesta en relación con lo emitido por Tsopelas y Gusain

presenta similitud desde el tercer piso hasta el sexto piso y por lo tanto el valor promedio incluyendo metodología propuesta y análisis Tsopelas y Gusain fue de $R_R=1.7$ para edificaciones de dos vanos.

- Al ser tomados los índices tanto de resistencia como de variación, el primero de forma determinística y el segundo forma probabilística, se define el comportamiento de cada uno de ellos. Para el índice de resistencia se presenta un valor promedio de $r_s = 1.40$, y para r_v se observa un aumento conforme a la disminución del número de pisos, los cuales presentan menor redundancia.
- La multiplicación del factor de ductilidad R_μ , factor de redundancia R_R , y el factor de sobre resistencia R_Ω son el resultado de R factor de reducción de las fuerzas sísmicas. El factor de ductilidad se obtuvo de la propuesta de Aguiar, Romo y Aragón en base a la ecuación establecida en los capítulos anteriores, el factor de sobre resistencia de la propuesta Aguiar, Mora y Guadalupe, y finalmente el factor de redundancia R_R en función de los estudios realizados en esta tesis. El valor de R para ductilidades de 2, 3, 4 y derivas 1.5% valor promedio de $R= 6.4$ comprendido para dos y tres vanos.
- La formación de rótulas plásticas en la estructura presenta una relación directa en la redundancia de la misma, de tal manera que al generarse una mayor cantidad de rótulas plásticas antes del colapso de la misma se tendrá una mayor redundancia.

- Con el modelo propuesto el mismo que depende de la capacidad cortante basal de la estructura, asociada al fallo de la estructura V_U y el cortante basal relacionado a la formación de la primera rótula plástica V_1 , se determinó que el factor de redundancia medio de las estructuras analizadas es 1.2.

$$R_R = \frac{V_U}{V_1} \quad (6.3)$$

- Al considerar en el caso de que V_U se genere cuando se han formado rótulas plásticas en todos los extremos de las vigas y pies de columna, no hay ninguna reducción del valor de R_R , en condiciones contrarias las cuales serían cuando en la estructura se han formado menos rótulas que el mecanismo de colapso adoptado, se llega a disminuir el valor de R_R en forma constante.
- El valor del factor R, indiscutiblemente se encuentra en función del tipo suelo, el cuál requiere menor valor para suelos de mala calidad S4, para suelos de calidad óptima el valor de R aumenta. Las derivas de piso influyen en su comportamiento de igual manera, para una deriva del 0,5% el valor de R aumenta, mientras que para derivas del 2% el valor de R disminuye.
- Como punto final se concluye que el factor de redundancia obtenido será siempre por encima de la unidad basado en la ecuación 6.3 ya que cuando una estructura que no tenga redundancia y en la cual se forme la primera rótula plástica, y colapse se tendrá que $V_U = V_1$. Para el valor del factor R para la estructura analizada de dos vanos y regular en planta y elevación se obtuvieron valores de 6.5 en los dos sentidos de análisis.

6.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda un análisis más detallado del factor de redundancia R_R por parte del CEC 2000 con la finalidad de revisar el valor de R obtenido por el mismo.
- Se sugiere para el siguiente tema de tesis el estudio del factor de redundancia para edificios irregulares tanto en planta como elevación.

Se recomienda tomar en consideración la amplitud de rango analizado para periodos de 0.001 (s) en adelante, y con la implementación de edificaciones con diafragmas.

BIBLIOGRAFÍA

1. INEN Ecuador, (2001), *Código Ecuatoriano de la Construcción*, Quito, Ecuador.
2. Aragón E., (2007), *Estudio del factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad R_{μ} considerando el tipo de suelo*, Tesis Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército. 129 p, Quito
3. Aguiar R., (2003) *Análisis Sísmico por Desempeño*, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 340 p., Quito, Ecuador
4. Aguiar R., *Dinámica de Estructuras con MATLAB*, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 280 p., Quito, Ecuador
5. Aguiar R., (2007) “Programa DISIPA para encontrar la curva de capacidad sísmica resistente en pórticos con disipadores de energía visco elásticos” 17 p., *XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural.*, Riobamba.
6. Aguiar R., (2006), *Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de hormigón armado*, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 188 p., Quito, Ecuador
7. Normas Estructurales de Diseño y construcción Recomendadas para la Republica de Guatemala.

Comparación de la sobre resistencia global en función de la deriva máxima de piso en edificios de dos y tres vanos *Roberto Aguiar Falconí, Mario Guadalupe Garcés y Paúl Mora Muñoz (2007).*

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**ELABORADO POR**

Héctor Oswaldo Bernal Díaz

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIRÍA CIVIL

Ing. Jorge Zúñiga Gallegos

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Abg. Laura López

Lugar y fecha: _____