

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“CURVAS DE FRAGILIDAD PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS
DEL ECUADOR E INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

DIEGO MARCELO QUIZANGA MARTÍNEZ

SANGOLQUI, 1 de Agosto del 2006

RESUMEN

Mediante la modelación de 216 estructuras de hormigón armado de tres vanos, de uno a seis pisos y sin muros de corte, y sometidas a la acción de 4 registros sísmicos de Perú normalizados para las 4 zonas sísmicas del Ecuador; es decir teniendo un total de 3456 casos de análisis se presentan curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en las cuatro zonas sísmicas del país y con tres tipos de variación del refuerzo transversal.

Adicionalmente se presenta la nueva metodología para el cálculo de la deriva máxima de piso a partir del análisis sísmico lineal propuesta por Aguiar (2006). Las derivas máximas de piso obtenidas mediante la utilización del IDARC se comparan con las que se hallaron usando esta metodología, encontrando resultados muy satisfactorios.

RESUMEN

Modeling 216 reinforced concrete structures of 3 bays, from 1 to 6 stories and without shear walls, and under the effects of 4 Peruvian earthquake registries but normalized for the 4 Ecuador's seismic zones, in other words having analyzed 3456 cases, fragility curves for structures from 1 to 6 stories in the 4 Ecuador's seismic zones and whit 3 types of shear reinforcing are presented.

Additionally the new methodology for the analysis of the maximum story drift from the non lineal seismic analysis proposed by Aguiar (2006) is presented. The maximum story drift calculated using IDARC is compared with the values obtained with this methodology, finding satisfactory results.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el **SR. DIEGO MARCELO QUIZANGA MARTÍNEZ** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**.

Sangolquí, 1 de Agosto del 2006

Dr. Roberto Aguiar Falconí
DIRECTOR

Ing. Pablo Caiza Sánchez, Msc.
CODIRECTOR

DEDICATORIA

A mi padre Vicente que siempre me brindo su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, que ha sido mi mejor amigo y mi ejemplo a seguir.

A mi madre Rebeca porque ella es mi corazón, el motor que le da fuerza a mi vida y quien me recuerda siempre que no hay meta imposible si se trabaja con dedicación voluntad y honradez.

A mis hermanos Patricio y Vicente porque han estado conmigo en las buenas y en las malas, porque cuando los necesite ellos siempre acudieron.

Diego Quizanga Martínez

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a DIOS porque Él me dio la vida, y todo lo maravilloso que hay en ella, porque Él es mi fuerza mi verdad y mi salvación todo me puede faltar menos Él, y gracias a Él puedo alcanzar cualquier meta.

Al Dr. Roberto Aguiar por su acertada dirección y apoyo personal en la realización de este trabajo, por ser un verdadero ejemplo de constancia, dedicación y trabajo y por haber impulsado mi participación en el II Congreso Internacional de Ingeniería Estructural, Sísmica y Puentes, realizado en Lima Perú

Al Ing. Pablo Caiza por todo el apoyo brindado no solo en la realización de este trabajo sino a lo largo de toda mi carrera, por todos sus consejos y motivación, por ser antes que un profesor un buen amigo.

A todos quienes forman parte del CEINCI, por abrirme las puertas de este prestigioso Centro y brindarme las facilidades necesarias para culminar mi proyecto de grado.

Mi sincero agradecimiento a FUNDACYT en especial a la licenciada Katherine Argotty, por haber financiado mi viaje a Lima.

Al Ing. Ángel Gómez del Instituto de la Construcción y Gerencia del Perú por todo el apoyo brindado durante mi permanencia en Lima.

A la facultad de Ingeniería Civil especialmente al Dr. Roberto Saa por su apoyo brindado.

Al Ing. Daniel Riofrío por haberme facilitado su IDARC ANALYZER instrumento fundamental en la realización de esta tesis.

A mis amigos Carolina Robalino, Jorge Almeida, Carlos Bobadilla, Paúl Guerrero y Ángel Padilla por acompañarme a lo largo de esta carrera.

Y a Paola Briones por lo que significa en mi vida, muchas gracias a todos.....

Diego Quizanga Martínez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CONTENIDO

CAPÍTULO 1 NUEVA PROPUESTA PARA ENCONTRAR LA DERIVA MAXIMA DE PISO

1.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.	2
1.2 DESCRIPCIÓN RÁPIDA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR MIRANDA.	4
1.3 PRIMERA METODOLOGÍA PROPUESTA POR AGUIAR.	5
1.4 SEGUNDA METODOLOGÍA PROPUESTA POR AGUIAR	6
1.4.1 DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO β_6	7
1.5 DESCRIPCIÓN DE LA NUEVA METODOLOGÍA	10
1.5.1 ESTRUCTURAS DE ANÁLISIS	11
1.5.2 SISMOS DE ANÁLISIS	12
1.5.3 RESULTADOS OBTENIDOS	14

CAPÍTULO 2 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ZONA DE MAYOR PELIGROSIDAD SÍSMICA

2.1 ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ECUADOR	34
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA FORMA COMO SE HALLAN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD.	36
2.3 ESTRUCTURAS Y SISMOS DE ANÁLISIS	39
2.3.1 MODELO DE DEFINICIÓN DE DAÑO	44
2.3.2 ESTADOS DISCRETOS DE DAÑO	45
2.4 VALORES MEDIOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	48
2.4.1 SELECCIÓN DE DATOS	49
2.4.2 DESCRIPCIÓN DE PROGRAMAS CREADOS PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD	57

2.4.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MACRO PROCESO SISMOS	57
2.4.2.2 DESCRIPCIÓN DEL IDARC ANALYZER 1	59
2.4.2.2.1 MODO DE USAR EL IDARC ANALYZER 1	60
2.4.2.3 DESCRIPCIÓN DEL IDARC ANALYZER 2	65
2.4.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO	66
2.4.3.1 EJEMPLO DE LA OBTENCIÓN DE UNA CURVA DE FRAGILIDAD	66
2.5 CURVAS DE FRAGILIDAD POR PISO.	69
2.6 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE 1-6 PISOS.	71
2.7 CURVAS DE FRAGILIDAD PROMEDIO PARA ESTRUCTURAS DE 1-6 PISOS.	75

CAPÍTULO 3 INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD

3.1 IMPORTANCIA DEL USO DEL REFUERZO TRANSVERSAL	77
3.2 DISEÑO A CORTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	80
3.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM. EN VIGAS Y COLUMNAS (CASO 1)	85
3.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM. EN VIGAS Y DOBLES DE 10 MM. EN COLUMNAS (CASO 2)	85
3.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 10 MM. EN VIGAS Y DOBLES DE 10 MM. EN COLUMNAS (CASO 3)	92
3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR PISO	98
3.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS AGRUPADOS DE 1 – 6 PISO	101

CAPÍTULO 4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM.

4.1 ACOPLAMIENTO DE LA FLEXIÓN CON EL CORTE	105
4.2 MODELO DE PLASTICIDAD DE THOM (1983)	111
4.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G	111
4.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.3 G	112
4.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.25 G	118
4.6 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.15 G	124

4.7 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA TODOS LOS CASOS POR PISOS.	130
4.8 CURVAS DE FRAGILIDAD AGRUPADAS DE 1 A 6 PISOS PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS	133

CAPÍTULO 5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS DOBLES DE 10 MM.

5.1 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G	135
5.2 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.3 G	135
5.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.25 G	141
5.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.15 G	147
5.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA TODOS LOS CASOS POR PISOS.	153
5.6 CURVAS DE FRAGILIDAD AGRUPADAS DE 1 A 6 PISOS PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS	156

CAPÍTULO 6 COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 COMENTARIOS	158
6.2 CONCLUSIONES	159
6.3 RECOMENDACIONES	162

LISTADO DE TABLAS

CAPÍTULO 1 NUEVA PROPUESTA PARA ENCONTRAR LA DERIVA MAXIMA DE PISO

Tabla 1.1 Dimensiones de columnas y vigas usadas para la determinación del β_6 .

Tabla 1.2 Armadura longitudinal y transversal considerada para determinar el β_6

Tabla 1.3 Valores medios del parámetro β_6 .

Tabla 1.4 Dimensiones de vigas y columnas de edificios analizados.

Tabla 1.5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Tabla 1.6 Datos de los sismos de análisis.

Tabla 1.7 Valores calculados del parámetro β_6 .

Tabla 1.8 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de un piso (ZONA IV).

Tabla 1.9 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de dos pisos (ZONA IV).

Tabla 1.10 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de tres pisos (ZONA IV).

Tabla 1.11 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el calculado con la nueva metodología para edificios de cuatro pisos (ZONA IV).

Tabla 1.12 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el calculado con la nueva metodología para edificios de cinco pisos (ZONA IV).

Tabla 1.13 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de seis pisos (ZONA IV).

Tabla 1.14 Distintos valores de f para estructuras de distintos números de pisos.

Tabla 1.15 Variación del parámetro f

Tabla 1.16 Variación del parámetro f para la zona I

Tabla 1.17 Variación del parámetro f para la zona II

Tabla 1.18 Variación del parámetro f para la zona III

Tabla 1.19 Variación del parámetro f para la zona IV

Tabla 1.20 Factor f promedio de las zonas para todos los casos

CAPÍTULO 2 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ZONA DE MAYOR PELIGROSIDAD SÍSMICA

Tabla 2.1: Propuesta de clasificación de sismos Comité VISION 2000.

Tabla 2.2 Dimensiones de columnas, vigas y carga distribuida usadas.

Tabla 2.3 Factores de amplificación de los acelerogramas usados en el estudio

Tabla 2.4 Niveles de daño propuestos por Ghobarah et al (1997)

Tabla 2.5 Estados de daño e intervalos de variación del factor de daño (ATC 1985).

Tabla 2.6 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de un piso.

Tabla 2.7 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de dos pisos.

Tabla 2.8 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de tres pisos.

Tabla 2.9 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de cuatro pisos.

Tabla 2.10 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de cinco pisos.

Tabla 2.11 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de seis pisos.

Tabla 2.12 Valores máximos, medios y desviación estándar sin nivel de confianza.

Tabla 2.13 Valores medios y desviación estándar con nivel de confianza.

Tabla 2.14 Valores de Desplazamiento y Drift obtenido para estructuras de un piso.

Tabla 2.15 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 1

CAPÍTULO 3 INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD

Tabla 3.1 Valores medios y desviación estándar de los drifts Caso 2

Tabla 3.2 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 2

Tabla 3.3 Valores medios y desviación estándar de los drifts Caso 3

Tabla 3.4 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 3

Tabla 3.5 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras agrupadas de 1 a 6 pisos

CAPÍTULO 4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM.

Tabla 4.1 Valores del diagrama momento curvatura para una viga considerando los 3 casos de variación de refuerzo transversal

Tabla 4.2 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA III

Tabla 4.3 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III caso 1

Tabla 4.4 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA II

Tabla 4.5 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona II caso 1

Tabla 4.6 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA I

Tabla 4.7 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I caso 1

Tabla 4.8 Variación del Drift máximo con respecto a la zona IV (Caso 1)

CAPÍTULO 5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS DOBLES DE 10 MM.

Tabla 5.1 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA III

Tabla 5.2 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III caso 3

Tabla 5.3 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA II

Tabla 5.4 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona II caso 3

Tabla 5.5 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA I

Tabla 5.6 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I caso 3

CAPÍTULO VI.- COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tabla 6.1. Resultados de las curvas para el ejemplo Daño moderado

Tabla 6.2. Resultados de las curvas para el ejemplo Daño Extensivo

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 NUEVA PROPUESTA PARA ENCONTRAR LA DERIVA MAXIMA DE PISO

Figura 1.1: Sismo de Bahía de Caráquez del 4 de agosto de 1998

Figura 1.2: Pantalla de entrada al programa LINEAL

Figura 1.3: Planta tipo utilizada en el estudio

Figura 1.4: Valores de β_6 encontrados en el estudio

Figura 1.5: Valores medios y ajuste de curva.

Figura 1.6: Planta tipo utilizada en la comprobación del estudio.

Figura 1.7: Estructura de análisis para 6 pisos

Figura 1.8: Mapa sísmico del Ecuador

Figura 1.9: Acelerogramas de los sismos utilizados normalizados a 0.4 G

Figura 1.10: Distribución normal

Figura 1.11: Valores de $f = \gamma_{IDARC} / \gamma$ encontrados en el estudio (ZONA IV)

Figura 1.12: Columna y viga tipo para el Caso 1

Figura 1.13: Columna y viga tipo para el Caso 2

Figura 1.14: Columna y viga tipo para el Caso 3

Figura 1.15: Valores de f encontrados en el estudio (ZONA I)

Figura 1.16: Valores de f encontrados en el estudio (ZONA II)

Figura 1.17: Valores de f encontrados en el estudio (ZONA III)

Figura 1.18: Valores de f encontrados en el estudio (ZONA IV)

Figura 1.19: Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 1

Figura 1.20: Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 2

Figura 1.21: Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 3

CAPÍTULO 2 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ZONA DE MAYOR PELIGROSIDAD SÍSMICA

Figura 2.1: Espectros propuestos para un perfil de suelo S1 en la zona IV

Figura 2.2: Modelo de Kent y Park para el comportamiento del Hormigón confinado.

Figura 2.3: Modelo trilineal para el comportamiento del acero.

Figura 2.4: Cargas totales en toneladas para estructuras de 6 pisos

Figura 2.5: Representación del drift de piso usando el programa ETABS

Figura 2.6: Curva de fragilidad de una estructura de 6 pisos obtenida por Bobadilla

Figura 2.7 Funciones de distribución de probabilidad de no excedencia de una deriva de entre piso. Aplicación a un edificio de HA de 5 niveles

Figura 2.8 Pantalla de entrada de la hoja procesos sismos

Figura 2.9 Pantalla de salida de la hoja procesos sismos.

Figura 2.10 Carpetas generales correspondientes al caso 1 para todas las zonas

Figura 2.11 Subcarpetas que contienen el número de pisos

Figura 2.12 Subcarpetas “Casos” dentro de la carpetas “Pisos”

Figura 2.13 Sismos guardados en las subcarpetas “Casos”

Figura 2.14 Ventana de uso del Idarc Analyzer 1 Botón Origen

Figura 2.15 Ventana de uso del Idarc Analyzer 1 Botón Destino

Figura 2.16 Ventana de Respuesta

Figura 2.17 Archivo autogenerado por el Idarc Analyzer 1

Figura 2.18 Archivo autogenerado por el Idarc Analyzer 2

Figura 2.19 Distribución Normal de la variación del drift obtenido con el IDARC para estructuras de un piso en la zona sísmica IV.

Figura 2.20 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

Figura 2.21 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

Figura 2.22 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

Figura 2.23 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

Figura 2.24 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

Figura 2.25 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

Figura 2.26 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

Figura 2.27 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

Figura 2.28 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

CAPÍTULO 3 INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD

Figura 3.1 Nudo sin estribos y falla por tracción diagonal

Figura 3.2 Analogía de la armadura.

Figura 3.3 Viga sometida a diferentes tipos de cargas exteriores.

Figura 3.4 Viga con refuerzo longitudinal

Figura 3.5 Tipos de diseño para armadura transversal en columnas

Figura 3.6 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

Figura 3.7 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

Figura 3.8 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

Figura 3.9 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

Figura 3.10 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

Figura 3.11 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

Figura 3.12 Curvas de fragilidad de estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV Caso 2

Figura 3.13 Curva de fragilidad media para estructuras de uno a seis pisos zona IV Caso 2

Figura 3.14 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

Figura 3.15 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

Figura 3.16 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

Figura 3.17 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

Figura 3.18 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

Figura 3.19 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

Figura 3.20 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV Caso 3

Figura 3.21 Curva de fragilidad media para estructuras de uno a seis pisos zona IV Caso 3

Figura 3.22 Curvas de fragilidad en estructuras de un piso en la zona IV

Figura 3.23 Curvas de fragilidad en estructuras de dos pisos en la zona IV

Figura 3.24 Curvas de fragilidad en estructuras de tres pisos en la zona IV

Figura 3.25 Curvas de fragilidad en estructuras de cuatro pisos en la zona IV

Figura 3.26 Curvas de fragilidad en estructuras de cinco pisos en la zona IV

Figura 3.27 Curvas de fragilidad en estructuras de seis pisos en la zona IV

Figura 3.28 Curvas de fragilidad en estructuras agrupadas de uno a seis pisos en la zona IV

CAPÍTULO 4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM.

Figura 4.1 Relación corte ductilidad por rotación

Figura 4.2 Relación corte ductilidad por rotación en vigas

Figura 4.3 Relación corte ductilidad por rotación en columnas

Figura 4.4 Falla en la unión viga columna por falta de estribos

Figura 4.5 Momento curvatura de una viga de 25 cm. por 35 cm. (Caso 1)

Figura 4.6 Momento curvatura de una viga de 50 cm. por 60 cm. (Caso 2)

Figura 4.7 Modelo de plasticidad de TOM et al 1983

Figura 4.8 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona III

Figura 4.9 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona III

Figura 4.10 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona III

Figura 4.11 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona III

Figura 4.12 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona III

Figura 4.13 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona III

Figura 4.14 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona III con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

Figura 4.15 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona III con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

Figura 4.16 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona II

Figura 4.17 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona II

Figura 4.18 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona II

Figura 4.19 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona II

Figura 4.20 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona II

Figura 4.21 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona II

Figura 4.22 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos zona II

Figura 4.23 Curva de fragilidad promedio para estructuras de 1 a 6 pisos zona II

Figura 4.24 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona I

Figura 4.25 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona I

Figura 4.26 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona I

Figura 4.27 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona I

Figura 4.28 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona I

Figura 4.29 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona I

Figura 4.30 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

Figura 4.31 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

Figura 4.32 Curvas de fragilidad para estructuras de un piso Caso 1

Figura 4.33 Curvas de fragilidad para estructuras de dos pisos Caso 1

Figura 4.34 Curvas de fragilidad para estructuras de tres pisos Caso 1

Figura 4.35 Curvas de fragilidad para estructuras de cuatro pisos Caso 1

Figura 4.36 Curvas de fragilidad para estructuras de cinco pisos Caso 1

Figura 4.37 Curvas de fragilidad para estructuras de seis pisos Caso 1

Figura 4.38 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos Caso 1

CAPÍTULO 5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS DOBLES DE 10 MM.

Figura 5.1 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona III

Figura 5.2 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona III

Figura 5.3 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona III

Figura 5.4 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona III

Figura 5.5 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona III

Figura 5.6 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona III

Figura 5.7 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona III

Figura 5.8 Curva de fragilidad promedio para estructuras de 1 a 6 pisos zona III

Figura 5.9 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona II

Figura 5.10 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona II

Figura 5.11 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona II

Figura 5.12 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona II

Figura 5.13 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona II

Figura 5.14 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona II

Figura 5.15 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona II

Figura 5.16 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona II

Figura 5.17 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona I

Figura 5.18 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona I

Figura 5.19 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona I

Figura 5.20 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona I

Figura 5.21 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona I

Figura 5.22 Curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I

Figura 5.23 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

Figura 5.24 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

Figura 5.25 Curvas de fragilidad para estructuras de un piso Caso 3

Figura 5.26 Curvas de fragilidad para estructuras de dos pisos Caso 3

Figura 5.27 Curvas de fragilidad para estructuras de tres pisos Caso 3

Figura 5.28 Curvas de fragilidad para estructuras de cuatro pisos Caso 3

Figura 5.29 Curvas de fragilidad para estructuras de cinco pisos Caso 3

Figura 5.30 Curvas de fragilidad para estructuras de seis pisos Caso 3

Figura 5.31 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos Caso 3

CAPÍTULO VI.- COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Figura 6.1 Representación del daño severo en la curva de edificios de 2 pisos

Figura 6.2 Representación del daño extensivo en la curva de edificios de 2 pisos

CAPÍTULO I

NUEVA PROPUESTA PARA ENCONTRAR LA DERIVA MAXIMA DE PISO

RESUMEN

Se inicia justificando la importancia de una nueva metodología para encontrar en forma rápida la distorsión de piso (drift), posteriormente se hace una descripción de cada una de las metodologías anteriores para determinar el drift en forma rápida.

Se incluye también una descripción de la nueva metodología propuesta por Aguiar así como la aplicación de la misma mediante la modelación de estructuras sometidas a diferentes eventos sísmicos peruanos para finalmente indicar los resultados obtenidos. Es importante hacer notar que este capítulo se basó en un artículo presentado para el II Congreso Internacional de Ingeniería Estructural, Sísmica y Puentes, realizado el 26 y 27 de Mayo en Lima Perú y publicado en la revista CIENCIA.

1.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.

Cuando se realiza el análisis sísmico de un edificio en el espacio por el método de superposición modal llamado también análisis modal espectral o por cualquier otro método que se utilice para realizar dicho análisis se necesita encontrar la matriz de rigidez, la matriz de masas, los valores y vectores propios, los desplazamientos máximos modales, etc., para finalmente encontrar el cortante basal, que debe ser mayor al cortante basal mínimo que recomienda el CEC 2000, de no serlo se halla un factor de corrección por el cual se multiplican las fuerzas laterales para que el cortante basal sea mínimo; todo esto demanda un considerable tiempo de cálculo.

Posteriormente se realiza los controles por: efecto $P - \Delta$ y \square de la deriva máxima de piso, que de acuerdo al Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2000 no debe ser mayor al 2% y el cortante basal mínimo.

Cuando la deriva es mayor al 2 % se debe incrementar las secciones de los elementos estructurales, es decir aumentar la rigidez de la estructura, y realizar nuevamente todo el cálculo; para evitar todo este trabajo que es muy laborioso se están proponiendo metodologías rápidas de evaluación de la deriva máxima de piso. Estas metodologías pretenden mediante el uso de una simple ecuación determinar inmediatamente cual es la deriva máxima que se espera en el edificio

Nuestro país se halla ubicado en el extremo noroeste de América del Sur es decir es uno de los países de la costa del Pacífico que por hallarse en el límite de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana se ve afectado por el fenómeno de la subducción, que consiste en que la placa de Nazca se hunde bajo la Sudamericana, este fenómeno genera esfuerzos que cuando se liberan violentamente terminan produciendo fuertes movimientos sísmicos, razón por la que el Ecuador se encuentra en una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica.

Es importante también recordar que exactamente hace 100 años en 1906, se produjo en las costas de Esmeraldas el terremoto más fuerte de nuestra historia este evento tuvo una magnitud $M_s = 8.8$ y generó un fuerte tsunami en el que fallecieron de 500 a 1500 personas.

En los últimos treinta años en la región andina prácticamente no se han registrado sismos fuertes esto nos hace pensar que se está acumulando energía, y tarde o temprano esa energía tendrá que liberarse

Históricamente los sismos que han causado mayor daño en las ciudades de la región andina son:

- El Sismo de 1797 que causo gran daño en la ciudad de Riobamba. Se estima que hubo alrededor de unas 40.000 victimas tuvo una magnitud $M_s = 7.5$.
- El sismo de 1868 su acción destruyo las ciudades de Ibarra, Otavalo y Atuntaqui tuvo una magnitud $M_s = 7.7$
- El sismo del 5 de agosto de 1949 que afecto la ciudad de Ambato, Pelileo y Latacunga este evento sísmico tuvo una magnitud $M_s = 6.8$

Los sismos más importantes que se han tenido en los últimos años son: el sismo de Pomasqui con una intensidad $M_s = 4.9$ en el año de 1990, el sismo en Macas el 2 de octubre de 1995 con una intensidad $M_s = 6.5$, el sismo de Pujilí que se produjo el 28 de marzo de 1996 cuya intensidad $M_w = 5.9$. Por último se tiene al sismo de Bahía de Caráquez con un $M_s = 7.1$ que tuvo lugar el 4 de agosto de 1998 y que afectó también a las poblaciones de Manta, Portoviejo, Jama, Canoa San Vicente entre otras. En la figura 1.1 se indica el estado en que quedó el edificio Karina, en Bahía de Caráquez luego del sismo de 1998.

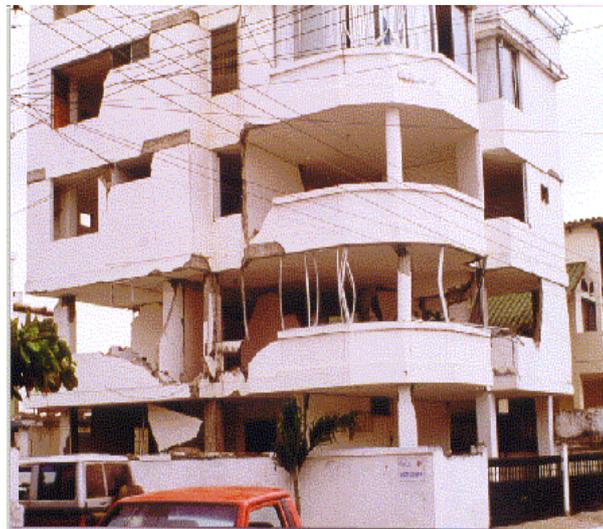


Figura 1.1: Sismo de Bahía de Caráquez del 4 de agosto de 1998

La mayor parte de los edificios que existen en las principales ciudades del mundo fueron construidos en el siglo XX con los códigos y normas sísmicas vigentes las cuales son muy vulnerables a la acción de los sismos.

Se presume que en el caso de existir un sismo de gran intensidad en la ciudad de Quito el 60 % de las construcciones colapsarían o en su defecto tuvieran un gran daño.

Sin embargo muchas veces los criterios de seguridad no son suficientes para asegurar el comportamiento adecuado de una estructura después de ser sometida a un evento sísmico, por todo lo anteriormente señalado se debe llevar un mejor control de daños causados por las edificaciones.

1.2 DESCRIPCIÓN RÁPIDA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR MIRANDA.

Uno de los parámetros que relaciona mejor el daño estructural, es la deriva máxima de piso. Por este motivo en los últimos años se han desarrollado varias investigaciones tendientes a evaluar en forma rápida, la deriva máxima de piso γ , FEMA (Federal Emergency Management Agency) en 1997 en su guía de rehabilitación de edificios propuso el método del coeficiente de desplazamiento, en base a la aceleración espectral elástica, el periodo fundamental efectivo T_e y varios coeficientes de ajuste. Así también Miranda (1997) propuso una metodología encaminada a la evaluación rápida del drift la misma que se indica a continuación.

$$\gamma = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4}{H} S_d \quad (1.1)$$

β_1 es el factor de amplificación que permite encontrar el desplazamiento lateral máximo en el tope de un edificio a partir del desplazamiento lateral máximo en un sistema de un grado de libertad; β_2 es el factor de amplificación que permite determinar la deriva máxima de piso a partir de la deriva global de la estructura; β_3 es el factor que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico; β_4 es el factor que relaciona el parámetro β_2 calculado en forma inelástica con relación al parámetro β_2 calculado en forma elástica; H es la altura total del edificio y S_d es el desplazamiento espectral para el período efectivo T_e . Aguiar (2005)

1.3 PRIMERA METODOLOGÍA PROPUESTA POR AGUIAR.

Aguiar (2005) incorpora a la ecuación (1.1) el parámetro β_5 que toma en cuenta el deterioro de rigidez en la descarga, el deterioro de resistencia y el efecto de cierre de grietas, debido a que estos parámetros no son tomados en cuenta en el cálculo de β_2 , β_3 y β_4 .

En efecto en el análisis no lineal solo consideran un modelo elasto perfectamente plástico, o consideran incremento de rigidez post fluencia. Para definir la no linealidad del material es necesario también incorporar los parámetros que contempla β_5 por todo esto la ecuación (1.1) se transforma en:

$$\gamma = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5}{H} S_d \quad (1.2)$$

El problema que se tiene al utilizar la ecuación (1.1) o la ecuación (1.2) es la determinación del período efectivo T_e en base al cual se determina el desplazamiento espectral S_d . FEMA-356 recomienda el cálculo del período efectivo con la siguiente ecuación.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (1.3)$$

Donde T_i es el período de vibración de la estructura en el rango elástico, K_e es la rigidez elástica y K_i es la rigidez inelástica. Pero para calcular K_e y K_i se debe encontrar la curva de capacidad resistente que relaciona el cortante basal V con el desplazamiento lateral máximo en el tope del edificio D_t , aplicando la técnica del pushover. Aguiar (2005, a)

El calcular el periodo efectivo T_e mediante la técnica del pushover requiere el uso de un programa de computadora como es el caso del CEINCI 3, pero preparar los datos para usar un programa como el mencionado implica un considerable tiempo que no va acorde con la filosofía de calcular en forma rápida la deriva de piso; por lo que es necesario proponer una segunda metodología de cálculo, no sin antes mencionar que el período efectivo puede calcularse mediante el uso de estas ecuaciones:

$$T = 0.0466 H^{0.90} \quad (1.4)$$

$$T = 0.0731 H^{3/4} \quad (1.5)$$

$$T = 0.11 N \quad (1.6)$$

Donde H es la altura total del edificio expresada en metros y N es el número de pisos. La ecuación (1.4) fue propuesta por Goel y Chopra , la (1.5) es la recomendada por el UBC-97 y la (1.6) se la utiliza en varios países del mundo.

Todas estas ecuaciones permiten hallar la deriva máxima de piso empleando la ecuación (1.2) luego de ello se debe obtener un promedio de la derivas encontradas

y esta deriva se debe comparar con la deriva máxima de piso que se obtiene al realizar un análisis no lineal paso a paso. (Aguiar 2005, b)

Al calcular el período efectivo T_e como el período que se halla de la solución del problema de valores y vectores propios pero trabajando con inercias agrietadas se obtuvo una mejor correlación en la deriva máxima de piso hallada con la ecuación (1.2) y la que reporta el análisis no lineal paso a paso.

El cálculo de T_e en la forma indicada requiere el empleo de un programa de computación que determine la matriz de rigidez, con inercias agrietadas, la matriz de masas y el cálculo de los valores propios.

1.4 SEGUNDA METODOLOGÍA PROPUESTA POR AGUIAR.

Por todo lo indicado anteriormente y con el objetivo de calcular el drift, de la forma más fácil segura y rápida, Aguiar (2006) propone el cálculo de la deriva máxima de piso a partir del análisis sísmico lineal, de una estructura, paso a paso.

Se sabe que el uso de un programa de análisis dinámico elástico como el programa LINEAL desarrollado en el Centro de Investigaciones Científicas “CEINCI” de la Escuela Politécnica del Ejército es mucho más fácil que el uso de un programa de análisis dinámico inelástico como el programa IDARC desarrollado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería Sísmica de la Universidad de New York y Buffalo. La figura 1.2 muestra la pantalla de entrada al programa para el Análisis Sísmico Lineal de Pórticos Planos creado en lenguaje FORTRAN.

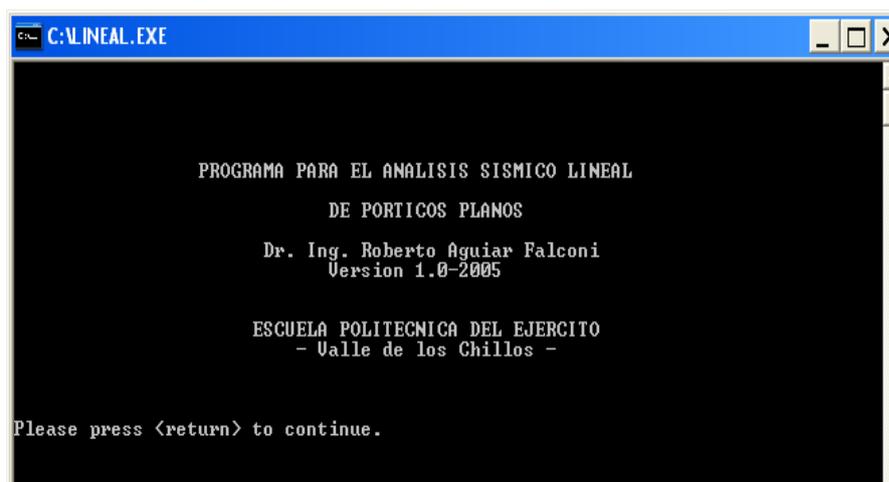


Figura 1.2 Pantalla de entrada al programa LINEAL

Por esta razón se plantea encontrar la deriva máxima de piso γ a partir de la deriva máxima de piso que se encuentra con un programa de análisis elástico, mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma = \beta_6 \gamma_E \quad (1.7)$$

Donde γ_E es la deriva máxima de piso que se obtiene de un análisis lineal elástico; β_6 es la relación entre la deriva máxima de piso en el rango inelástico γ_I con respecto a la deriva máxima de piso en el rango elástico γ_E .

$$\beta_6 = \frac{\gamma_I}{\gamma_E} \quad (1.8)$$

1.4.1 Determinación del Parámetro β_6

Para la determinación del parámetro β_6 Aguiar y Gonzáles (2006) analizaron 72 estructuras de hormigón armado de 1 a 6 pisos de dos vanos, cuya separación de ejes de columnas es de 4 metros y altura de piso es de 3 m, como se ve en la figura 1.3

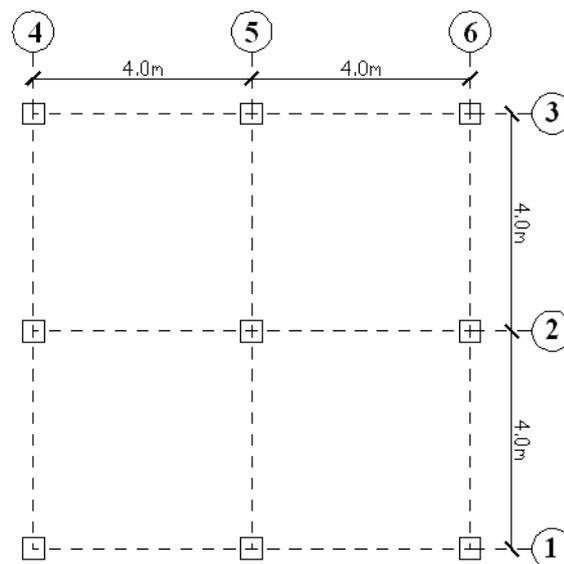


Figura 1.3 Planta tipo utilizada en el estudio

Las dimensiones de las columnas, vigas y la armadura longitudinal que se utilizó en el estudio para determinar el parámetro β_6 , se indican en la tabla 1.1 y 1.2 respectivamente.

Tabla 1.1 Dimensiones de columnas y vigas usadas para la determinación del β_6 .

Número de pisos	Sección de columna (cm/cm)	Sección de viga (cm/cm)	Carga (kg./m ²)
1	20/20	20/20	400
2	25/25	25/20	400
3	30/30	30/30	500
4	35/35	40/30	500
5	40/40	50/30	600
6	45/45	60/30	700

Tabla 1.2 Armadura longitudinal y transversal considerada para determinar el β_6 .

Caso	Cuantía de columna ρ en %	Cuantía de armadura inferior de viga ρ en %	Cuantía de la armadura superior de viga ρ en %
1	1.0	0.50	0.75
2	1.0	0.75	1.00
3	1.0	1.00	1.25
4	1.0	1.25	1.50
5	1.5	0.50	0.75
6	1.5	0.75	1.00
7	1.5	1.00	1.25
8	1.5	1.25	1.50
9	2.0	0.50	0.75
10	2.0	0.75	1.00
11	2.0	1.00	1.25
12	2.0	1.25	1.50

Todas estas estructuras fueron sometidas ante 27 sismos registrados en Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Argentina, los sismos de análisis son registros cuya aceleración máxima es mayor a 0.1 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Para el análisis no lineal se utilizó el programa IDARC, por otra parte, para el análisis lineal se empleó el programa LINEAL.

Con los dos programas se halló la respuesta en el tiempo utilizando algoritmos paso a paso y se determinó la deriva máxima en el rango no lineal γ_I , y en el rango lineal γ_E . Finalmente utilizando la ecuación (1.8) se encontró β_6 .

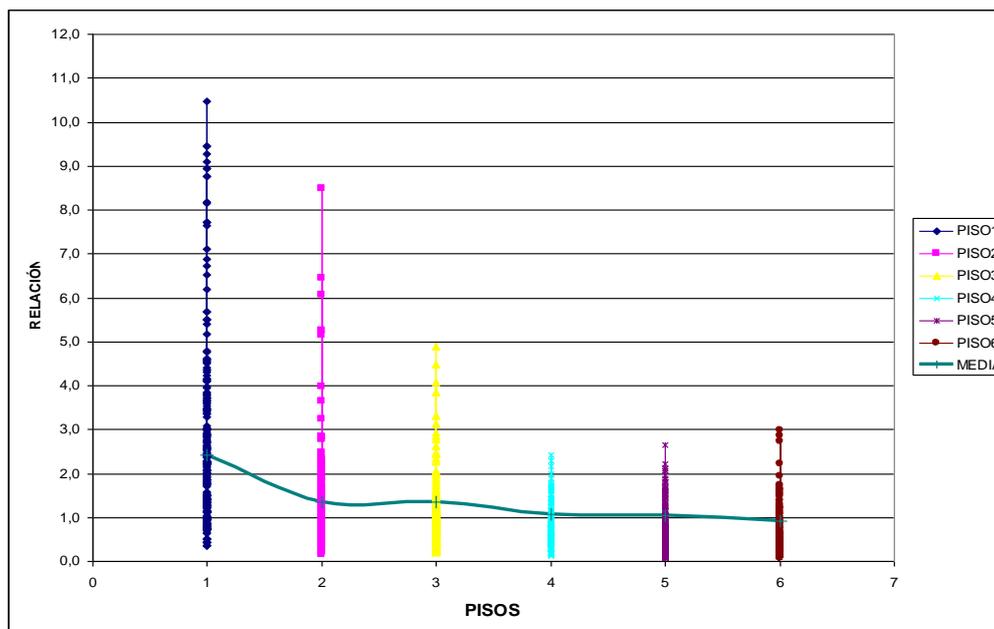


Figura 1.4 Valores de β_6 encontrados en el estudio

En la figura 1.4 se indica en abscisas el número de pisos, de las estructuras estudiadas y en ordenadas el valor de β_6 es decir la relación entre un análisis lineal y un análisis no lineal que se obtuvieron utilizando los programas LINEAL e IDARC respectivamente

De este estudio, Aguiar y Gonzáles (2006), para la determinación del factor β_6 se pudo observar lo siguiente:

- En las estructuras de un piso se tiene mayor dispersión de valores, le sigue las de dos y tres pisos.
- En las estructuras de tres, cuatro y cinco pisos los valores de β_6 están más agrupados.
- Los valores medios encontrados, se indican con línea continua y sus valores se indican en la tabla 1.3

Tabla 1.3 Valores medios del parámetro β_6 .

Número de pisos	β_6
1	2.43
2	1.34
3	1.34
4	1.06
5	1.05
6	0.92

Con los valores medios encontrados en el estudio, se encontró que la curva que mejor se aproxima a los valores medios es una parábola, definida por la siguiente ecuación:

$$\beta_6 = 0.085 N^2 - 0.84357 N + 3.020 \quad (1.9)$$

Siendo N el número de pisos.

En la figura 1.5 se ven los valores medios y de ajuste de la curva utilizada para la determinación del factor β_6 .

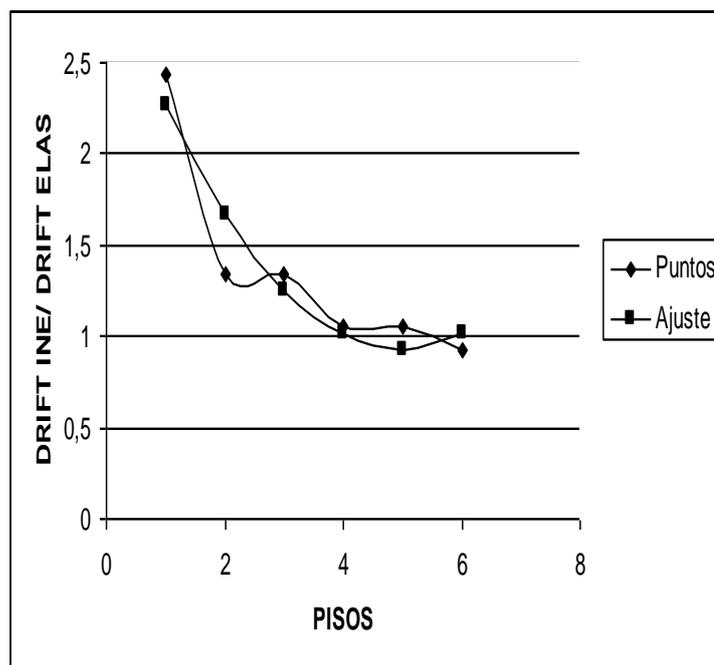


Figura 1.5 Valores medios y ajuste de curva.

1.5 DESCRIPCIÓN DE LA NUEVA METODOLOGÍA

Como se indico anteriormente la tendencia actual esta encaminada a buscar en forma rápida la distorsión de piso, la segunda metodología propone el cálculo de la deriva máxima de piso a partir del análisis sísmico lineal, de una estructura, paso a paso, para ello es necesario encontrar la relación entre la deriva máxima de piso en el rango inelástico γ_I con respecto a la deriva máxima de piso en el rango elástico γ_E , en otras palabras partiendo de un análisis lineal y multiplicando por un factor de relación (β_6) se llega a tener las distorsiones de piso que deberían corresponder a un análisis sísmico no lineal

1.5.1 Estructuras de análisis

Para comprobar la bondad de la segunda metodología es necesario nuevamente realizar un análisis sísmico lineal y uno no lineal para este fin se analizaron 72 estructuras de 1 a 6 pisos, con la distribución en planta indicada en la figura 1.6, se tienen 3 vanos en cada dirección de 5.0 m. cada uno. La altura de los entrepisos es igual y mide 3.0 m. Las dimensiones de las columnas y vigas se indican en la tabla 1.4, la primera dimensión corresponde a la base y la segunda a la altura de la sección transversal.

Además es importante indicar que se utilizaron las mismas cuantías de armado las mismas cuantías de armado del estudio anterior para la determinación del parámetro β_6 indicadas en la tabla 1.1

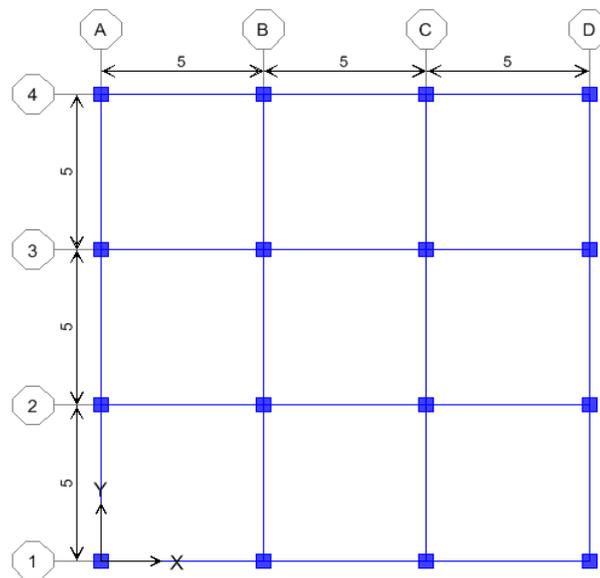


Figura 1.6 Planta tipo utilizada en la comprobación del estudio

Tabla 1.4 Dimensiones de vigas y columnas de edificios analizados.

Estructura	Piso					
	Uno y Dos		Tres y Cuatro		Cinco y Seis	
	Columnas (cm.)	Vigas (cm.)	Columnas (cm.)	Vigas (cm.)	Columnas (cm.)	Vigas (cm.)
1 Piso	30/30	40/20				
2 Pisos	40/40	40/20				
3 Pisos	50/50	40/30	45/45	40/30		
4 Pisos	55/55	40/40	50/50	40/30		
5 Pisos	60/60	40/50	55/55	40/30	50/50	40/30
6 Pisos	65/65	50/60	60/60	40/50	55/55	40/30

En la figura 1.7 se muestra un modelo en 3D; usado para estructuras de 6 pisos de hormigón armado; en la comprobación de la segunda metodología propuesta por Aguiar (2006) para calcular el drift en forma rápida.

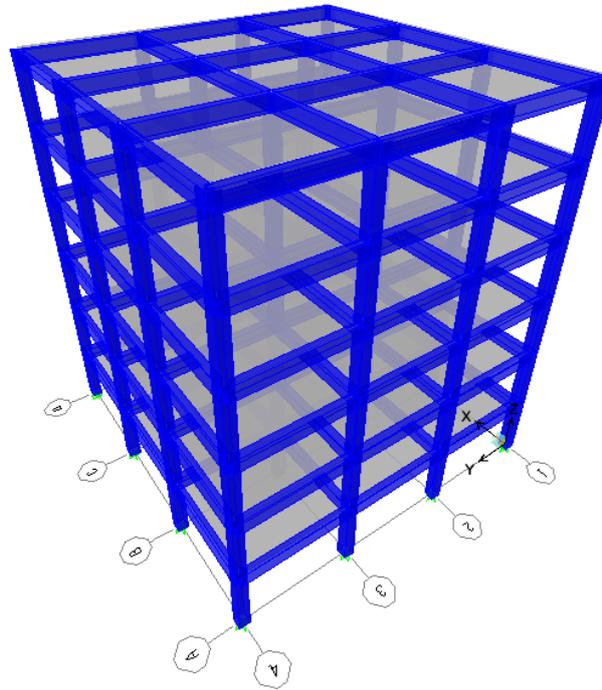


Figura 1.7 Estructura de análisis para 6 pisos

1.5.2 Sismos de análisis

Antes de indicar los sismos de análisis que se usaron para este estudio es importante describir la zonificación sísmica del Ecuador, la misma que será estudiada con mayor detalle en el Capítulo 2, pero por el momento es importante señalar lo que el código ecuatoriano de la construcción CEC 2000 establece como factor de zona o factor Z

El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.(CEC 2000)

Tabla 1.5 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.4

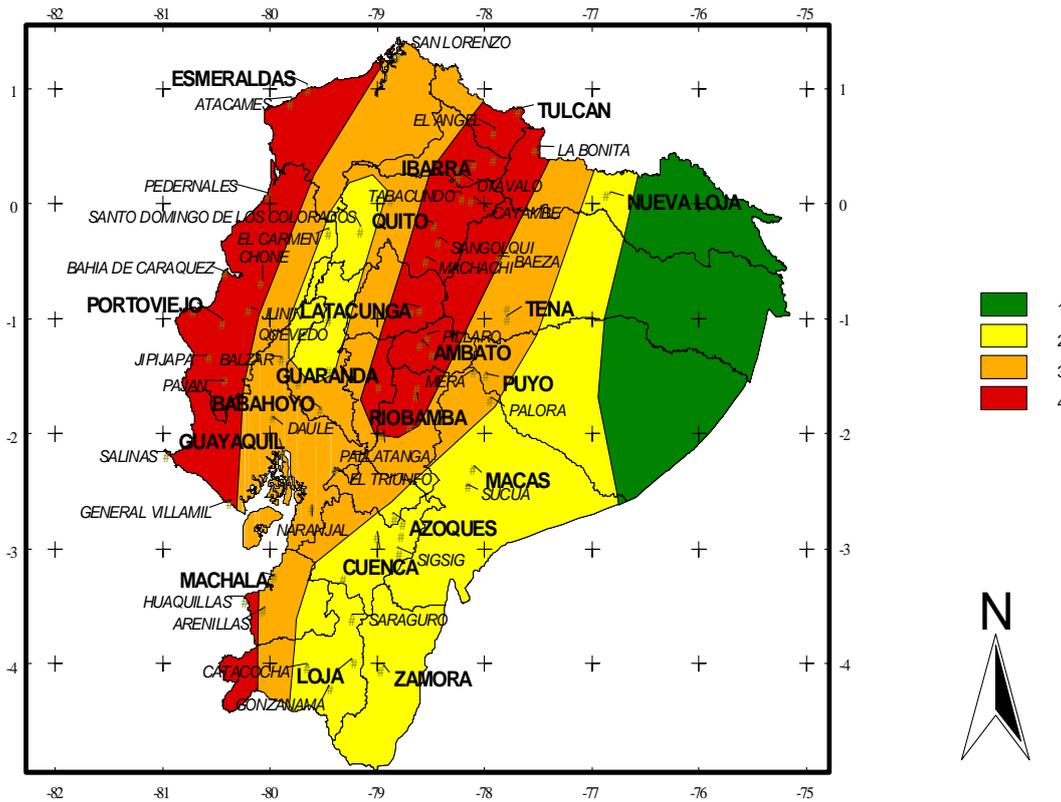


Figura 1.8 Mapa sísmico del Ecuador

Los registros sísmicos empleados se indican en la tabla 1.6, los mismos que fueron normalizados al 40% de la aceleración de la gravedad. Si bien la aceleración máxima de estos registros es mayor al 10% de la aceleración de la gravedad se los normalizó a 0.4 g., para que todos tengan la misma aceleración y sea igual a la estipulada en la zona de mayor peligrosidad sísmica del Código Ecuatoriano de la Construcción. Los eventos sísmicos seleccionados fueron registrados en el Perú.

Tabla 1. 6 Datos de los sismos de análisis.

Cód	Fecha	Magnitud	Distancia Epicentral (km)	Duración (s)	Aceleración Máxima (gal)	Componente	Suelo
04 a	9-11-74	6.0	80.55	39.42	116.785	E-W	Arcilloso
06 a	31-05-70	6.4	369.17	45.02	104.818	E-W	Grava
07 a	30-10-74	6.2	59.74	97.96	192.489	E-W	Grava
07 b	30-10-74	6.2	59.74	97.96	178.951	N-S	Grava

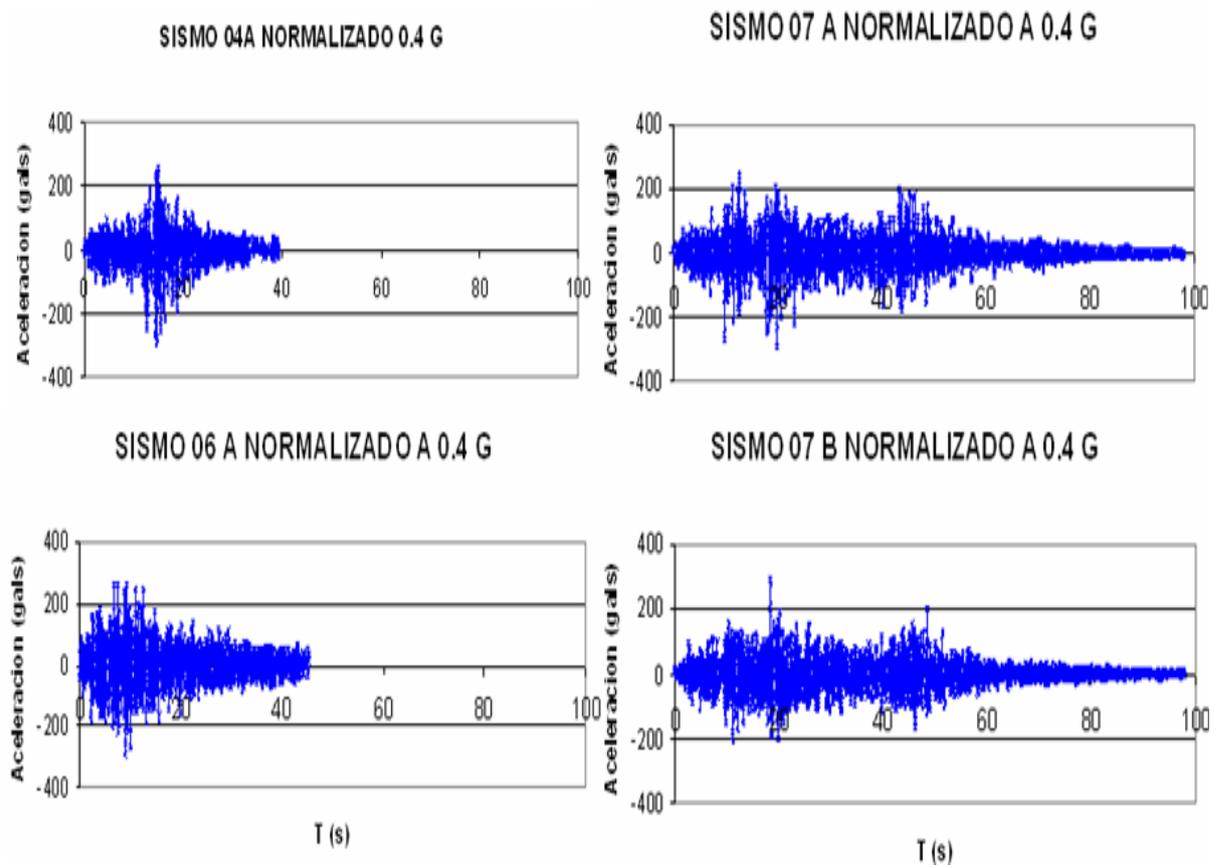


Figura 1.9 Acelerogramas de los sismos utilizados normalizados a 0.4 G

1.5.3 Resultados obtenidos

Los resultados de este nuevo estudio se indicaran en función de la relación del drift obtenido mediante análisis sísmico lineal multiplicado por el factor β_6 y del drift obtenido mediante análisis sísmico no lineal, en otras palabras se encontró la respuesta en el tiempo mediante análisis no lineal, utilizando el programa IDARC, y la respuesta lineal empleando el programa LINEAL creado por Aguiar; luego se determinó las respuestas máximas de desplazamientos laterales en cada piso y con esos valores se halló la deriva máxima en cada piso y finalmente la deriva máxima de piso.

Sea γ_{IDARC} la deriva máxima de piso hallada mediante análisis no lineal, que se considera la solución exacta y sea γ_E la deriva máxima de piso encontrada mediante análisis lineal. Al multiplicar γ_E por β_6 se encuentra la deriva máxima de piso, en forma aproximada que en la ecuación (1.7) se denominó γ .

Se denomina f a la relación entre γ_{IDARC} con respecto a γ . Si este factor tiende a la unidad, es decir que el drift obtenido mediante el uso del IDARC y el drift propuesto fueran iguales entonces la metodología propuesta será muy buena.

$$f = \frac{\gamma_{IDARC}}{\gamma} \quad (1.10)$$

A continuación se presentan tablas que son el resumen de realizar corridas tanto en IDARC como en LINEAL, en el IDARC se realizó 288 corridas, es decir se sometió ante 4 eventos sísmicos peruanos un total de 72 estructuras (6 edificios con 12 tipos de armado), en lineal se realizó 24 corridas que implica que se sometió 6 edificios ante 4 eventos sísmicos. Es importante indicar que ni el IDARC ni el programa LINEAL nos indican los drifts o distorsiones de piso sino los desplazamientos laterales con los cuales se obtienen fácilmente los drifts por piso, y posteriormente el drift máximo de piso. El factor β_6 que se obtuvo para este estudio se calculó con la expresión 1.9, tomando en cuenta que si el β_6 dado en esta expresión era menor que 1 entonces se asumiría un β_6 igual a 1

$$\beta_6 = 0.085 N^2 - 0.84357 N + 3.020$$

Tabla 1. 7 Valores calculados del parámetro β_6 .

N (PISOS)	β_6
1	2.261
2	1.672
3	1.254
4	1.005
5	1
6	1.018

Las tablas que se presentan a continuación indican en la primera columna el número del caso que depende de la variación de la armadura longitudinal, en la segunda se indica el nombre del sismo, en la tercera columna se indica el número de pisos de la estructura, en la cuarta el drift obtenido con idarc, en la quinta el valor del factor β_6 usado, en la sexta columna el drift obtenido mediante el programa LINEAL, en la séptima el drift del programa lineal multiplicado por el factor β_6 o drift propuesto, en la última columna se indica la relación drift IDARC vs. drift propuesto llamado también factor f.

Tabla 1. 8 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de un piso (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B_6	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	1	0.011364	2.261430	0.004998	0.011303	1.00539

	06aN	1	0.008317	2.261430	0.002879	0.006511	1.27723
	07aN	1	0.016844	2.261430	0.004054	0.009169	1.83716
	07bN	1	0.010143	2.261430	0.003084	0.006974	1.45440
2	04aN	1	0.011099	2.261430	0.004998	0.011303	0.98201
	06aN	1	0.009280	2.261430	0.002879	0.006511	1.42523
	07aN	1	0.014267	2.261430	0.004054	0.009169	1.55602
	07bN	1	0.010830	2.261430	0.003084	0.006974	1.55290
3	04aN	1	0.012381	2.261430	0.004998	0.011303	1.09545
	06aN	1	0.008700	2.261430	0.002879	0.006511	1.33616
	07aN	1	0.013288	2.261430	0.004054	0.009169	1.44933
	07bN	1	0.010748	2.261430	0.003084	0.006974	1.54106
4	04aN	1	0.012237	2.261430	0.004998	0.011303	1.08270
	06aN	1	0.008938	2.261430	0.002879	0.006511	1.37266
	07aN	1	0.013432	2.261430	0.004054	0.009169	1.46503
	07bN	1	0.010309	2.261430	0.003084	0.006974	1.47820
5	04aN	1	0.010354	2.261430	0.004998	0.011303	0.91605
	06aN	1	0.008912	2.261430	0.002879	0.006511	1.36873
	07aN	1	0.011879	2.261430	0.004054	0.009169	1.29557
	07bN	1	0.011220	2.261430	0.003084	0.006974	1.60876
6	04aN	1	0.008671	2.261430	0.004998	0.011303	0.76719
	06aN	1	0.009051	2.261430	0.002879	0.006511	1.39002
	07aN	1	0.012973	2.261430	0.004054	0.009169	1.41491
	07bN	1	0.011213	2.261430	0.003084	0.006974	1.60774
7	04aN	1	0.009470	2.261430	0.004998	0.011303	0.83782
	06aN	1	0.007946	2.261430	0.002879	0.006511	1.22033
	07aN	1	0.011884	2.261430	0.004054	0.009169	1.29621
	07bN	1	0.010860	2.261430	0.003084	0.006974	1.55717
8	04aN	1	0.008933	2.261430	0.004998	0.011303	0.79037
	06aN	1	0.008061	2.261430	0.002879	0.006511	1.23802
	07aN	1	0.010127	2.261430	0.004054	0.009169	1.10454
	07bN	1	0.010223	2.261430	0.003084	0.006974	1.46589
9	04aN	1	0.009513	2.261430	0.004998	0.011303	0.84162
	06aN	1	0.008066	2.261430	0.002879	0.006511	1.23882
	07aN	1	0.008809	2.261430	0.004054	0.009169	0.96077
	07bN	1	0.009402	2.261430	0.003084	0.006974	1.34810
10	04aN	1	0.011118	2.261430	0.004998	0.011303	0.98370
	06aN	1	0.009364	2.261430	0.002879	0.006511	1.43805
	07aN	1	0.007812	2.261430	0.004054	0.009169	0.85208
	07bN	1	0.008949	2.261430	0.003084	0.006974	1.28313
11	04aN	1	0.011851	2.261430	0.004998	0.011303	1.04848
	06aN	1	0.010153	2.261430	0.002879	0.006511	1.55921
	07aN	1	0.008086	2.261430	0.004054	0.009169	0.88195
	07bN	1	0.009150	2.261430	0.003084	0.006974	1.31204
12	04aN	1	0.011388	2.261430	0.004998	0.011303	1.00757
	06aN	1	0.009909	2.261430	0.002879	0.006511	1.52182
	07aN	1	0.008500	2.261430	0.004054	0.009169	0.92709
	07bN	1	0.009058	2.261430	0.003084	0.006974	1.29880

Tabla 1. 9 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de dos pisos (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B ₆	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	2	0.027556	1.672860	0.009622	0.016097	1.71187
	06aN	2	0.015358	1.672860	0.007488	0.012526	1.22602
	07aN	2	0.017890	1.672860	0.006047	0.010116	1.76857

	07bN	2	0.009763	1.672860	0.007151	0.011963	0.81609
2	04aN	2	0.026579	1.672860	0.009622	0.016097	1.65120
	06aN	2	0.015262	1.672860	0.007488	0.012526	1.21838
	07aN	2	0.019630	1.672860	0.006047	0.010116	1.94053
	07bN	2	0.009457	1.672860	0.007151	0.011963	0.79056
3	04aN	2	0.025094	1.672860	0.009622	0.016097	1.55893
	06aN	2	0.017403	1.672860	0.007488	0.012526	1.38932
	07aN	2	0.012874	1.672860	0.006047	0.010116	1.27268
	07bN	2	0.010082	1.672860	0.007151	0.011963	0.84283
4	04aN	2	0.026012	1.672860	0.009622	0.016097	1.61596
	06aN	2	0.014738	1.672860	0.007488	0.012526	1.17659
	07aN	2	0.012866	1.672860	0.006047	0.010116	1.27186
	07bN	2	0.009237	1.672860	0.007151	0.011963	0.77215
5	04aN	2	0.029148	1.672860	0.009622	0.016097	1.81082
	06aN	2	0.019582	1.672860	0.007488	0.012526	1.56328
	07aN	2	0.023471	1.672860	0.006047	0.010116	2.32023
	07bN	2	0.011063	1.672860	0.007151	0.011963	0.92477
6	04aN	2	0.031106	1.672860	0.009622	0.016097	1.93242
	06aN	2	0.014315	1.672860	0.007488	0.012526	1.14275
	07aN	2	0.018982	1.672860	0.006047	0.010116	1.87650
	07bN	2	0.010203	1.672860	0.007151	0.011963	0.85293
7	04aN	2	0.027308	1.672860	0.009622	0.016097	1.69649
	06aN	2	0.012115	1.672860	0.007488	0.012526	0.96718
	07aN	2	0.016944	1.672860	0.006047	0.010116	1.67502
	07bN	2	0.009687	1.672860	0.007151	0.011963	0.80979
8	04aN	2	0.028436	1.672860	0.009622	0.016097	1.76653
	06aN	2	0.013120	1.672860	0.007488	0.012526	1.04735
	07aN	2	0.019014	1.672860	0.006047	0.010116	1.87964
	07bN	2	0.008907	1.672860	0.007151	0.011963	0.74459
9	04aN	2	0.052046	1.672860	0.009622	0.016097	3.23331
	06aN	2	0.028137	1.672860	0.007488	0.012526	2.24625
	07aN	2	0.021892	1.672860	0.006047	0.010116	2.16411
	07bN	2	0.011211	1.672860	0.007151	0.011963	0.93718
10	04aN	2	0.023187	1.672860	0.009622	0.016097	1.44047
	06aN	2	0.011624	1.672860	0.007488	0.012526	0.92795
	07aN	2	0.018677	1.672860	0.006047	0.010116	1.84633
	07bN	2	0.010131	1.672860	0.007151	0.011963	0.84688
11	04aN	2	0.014184	1.672860	0.009622	0.016097	0.88115
	06aN	2	0.011114	1.672860	0.007488	0.012526	0.88727
	07aN	2	0.020063	1.672860	0.006047	0.010116	1.98338
	07bN	2	0.009659	1.672860	0.007151	0.011963	0.80744
12	04aN	2	0.013043	1.672860	0.009622	0.016097	0.81027
	06aN	2	0.011125	1.672860	0.007488	0.012526	0.88812
	07aN	2	0.016711	1.672860	0.006047	0.010116	1.65198
	07bN	2	0.009886	1.672860	0.007151	0.011963	0.82638

Tabla 1. 10 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de tres pisos (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B_6	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	3	0.018093	1.254290	0.006015	0.007545	2.39811
	06aN	3	0.010768	1.254290	0.005013	0.006287	1.71270
	07aN	3	0.010505	1.254290	0.004042	0.005069	2.07220
	07bN	3	0.007707	1.254290	0.004345	0.005449	1.41417

2	04aN	3	0.009272	1.254290	0.006015	0.007545	1.22897
	06aN	3	0.007366	1.254290	0.005013	0.006287	1.17160
	07aN	3	0.011059	1.254290	0.004042	0.005069	2.18150
	07bN	3	0.008212	1.254290	0.004345	0.005449	1.50689
3	04aN	3	0.008134	1.254290	0.006015	0.007545	1.07817
	06aN	3	0.008455	1.254290	0.005013	0.006287	1.34475
	07aN	3	0.009284	1.254290	0.004042	0.005069	1.83143
	07bN	3	0.007364	1.254290	0.004345	0.005449	1.35129
4	04aN	3	0.016325	1.254290	0.006015	0.007545	2.16377
	06aN	3	0.016883	1.254290	0.005013	0.006287	2.68516
	07aN	3	0.018586	1.254290	0.004042	0.005069	3.66626
	07bN	3	0.013860	1.254290	0.004345	0.005449	2.54337
5	04aN	3	0.010354	1.254290	0.006015	0.007545	1.37244
	06aN	3	0.008417	1.254290	0.005013	0.006287	1.33866
	07aN	3	0.009744	1.254290	0.004042	0.005069	1.92218
	07bN	3	0.007847	1.254290	0.004345	0.005449	1.43996
6	04aN	3	0.008681	1.254290	0.006015	0.007545	1.15063
	06aN	3	0.007920	1.254290	0.005013	0.006287	1.25966
	07aN	3	0.009599	1.254290	0.004042	0.005069	1.89351
	07bN	3	0.006936	1.254290	0.004345	0.005449	1.27272
7	04aN	3	0.007895	1.254290	0.006015	0.007545	1.04651
	06aN	3	0.005973	1.254290	0.005013	0.006287	0.95008
	07aN	3	0.007905	1.254290	0.004042	0.005069	1.55932
	07bN	3	0.006523	1.254290	0.004345	0.005449	1.19702
8	04aN	3	0.007931	1.254290	0.006015	0.007545	1.05118
	06aN	3	0.006557	1.254290	0.005013	0.006287	1.04283
	07aN	3	0.008133	1.254290	0.004042	0.005069	1.60442
	07bN	3	0.006706	1.254290	0.004345	0.005449	1.23049
9	04aN	3	0.010062	1.254290	0.006015	0.007545	1.33366
	06aN	3	0.009091	1.254290	0.005013	0.006287	1.44594
	07aN	3	0.010066	1.254290	0.004042	0.005069	1.98562
	07bN	3	0.007887	1.254290	0.004345	0.005449	1.44730
10	04aN	3	0.008257	1.254290	0.006015	0.007545	1.09438
	06aN	3	0.007186	1.254290	0.005013	0.006287	1.14299
	07aN	3	0.008585	1.254290	0.004042	0.005069	1.69341
	07bN	3	0.006739	1.254290	0.004345	0.005449	1.23657
11	04aN	3	0.007482	1.254290	0.006015	0.007545	0.99173
	06aN	3	0.005632	1.254290	0.005013	0.006287	0.89578
	07aN	3	0.007848	1.254290	0.004042	0.005069	1.54810
	07bN	3	0.006163	1.254290	0.004345	0.005449	1.13098
12	04aN	3	0.007809	1.254290	0.006015	0.007545	1.03510
	06aN	3	0.005855	1.254290	0.005013	0.006287	0.93117
	07aN	3	0.008110	1.254290	0.004042	0.005069	1.59974
	07bN	3	0.006489	1.254290	0.004345	0.005449	1.19070

Tabla 1. 11 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el calculado con la nueva metodología para edificios de cuatro pisos (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B_6	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	4	0.013811	1.005720	0.006185	0.006221	2.22014
	06aN	4	0.009149	1.005720	0.004434	0.004460	2.05156
	07aN	4	0.008062	1.005720	0.003271	0.003290	2.45053
	07bN	4	0.006973	1.005720	0.004198	0.004222	1.65155

2	04aN	4	0.008997	1.005720	0.006185	0.006221	1.44637
	06aN	4	0.006496	1.005720	0.004434	0.004460	1.45667
	07aN	4	0.008603	1.005720	0.003271	0.003290	2.61503
	07bN	4	0.005972	1.005720	0.004198	0.004222	1.41443
3	04aN	4	0.008304	1.005720	0.006185	0.006221	1.33489
	06aN	4	0.006645	1.005720	0.004434	0.004460	1.49006
	07aN	4	0.009525	1.005720	0.003271	0.003290	2.89546
	07bN	4	0.005336	1.005720	0.004198	0.004222	1.26378
4	04aN	4	0.007550	1.005720	0.006185	0.006221	1.21374
	06aN	4	0.005124	1.005720	0.004434	0.004460	1.14890
	07aN	4	0.007094	1.005720	0.003271	0.003290	2.15640
	07bN	4	0.006005	1.005720	0.004198	0.004222	1.42218
5	04aN	4	0.012700	1.005720	0.006185	0.006221	2.04153
	06aN	4	0.009312	1.005720	0.004434	0.004460	2.08802
	07aN	4	0.008359	1.005720	0.003271	0.003290	2.54097
	07bN	4	0.007384	1.005720	0.004198	0.004222	1.74886
6	04aN	4	0.008964	1.005720	0.006185	0.006221	1.44097
	06aN	4	0.006943	1.005720	0.004434	0.004460	1.55682
	07aN	4	0.008449	1.005720	0.003271	0.003290	2.56843
	07bN	4	0.005996	1.005720	0.004198	0.004222	1.42009
7	04aN	4	0.007919	1.005720	0.006185	0.006221	1.27297
	06aN	4	0.006833	1.005720	0.004434	0.004460	1.53227
	07aN	4	0.008251	1.005720	0.003271	0.003290	2.50807
	07bN	4	0.005998	1.005720	0.004198	0.004222	1.42057
8	04aN	4	0.007125	1.005720	0.006185	0.006221	1.14531
	06aN	4	0.005411	1.005720	0.004434	0.004460	1.21332
	07aN	4	0.006811	1.005720	0.003271	0.003290	2.07045
	07bN	4	0.006068	1.005720	0.004198	0.004222	1.43717
9	04aN	4	0.014557	1.005720	0.006185	0.006221	2.34015
	06aN	4	0.009288	1.005720	0.004434	0.004460	2.08255
	07aN	4	0.008104	1.005720	0.003271	0.003290	2.46351
	07bN	4	0.007382	1.005720	0.004198	0.004222	1.74840
10	04aN	4	0.014557	1.005720	0.006185	0.006221	2.34015
	06aN	4	0.007171	1.005720	0.004434	0.004460	1.60803
	07aN	4	0.010086	1.005720	0.003271	0.003290	3.06607
	07bN	4	0.005873	1.005720	0.004198	0.004222	1.39092
11	04aN	4	0.007465	1.005720	0.006185	0.006221	1.19997
	06aN	4	0.006513	1.005720	0.004434	0.004460	1.46039
	07aN	4	0.008772	1.005720	0.003271	0.003290	2.66642
	07bN	4	0.006217	1.005720	0.004198	0.004222	1.47236
12	04aN	4	0.006686	1.005720	0.006185	0.006221	1.07482
	06aN	4	0.005438	1.005720	0.004434	0.004460	1.21940
	07aN	4	0.006515	1.005720	0.003271	0.003290	1.98054
	07bN	4	0.006054	1.005720	0.004198	0.004222	1.43374

Tabla 1. 12 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el calculado con la nueva metodología para edificios de cinco pisos (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B ₆	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	5	0.013096	1.000000	0.003888	0.003888	3.36814
	06aN	5	0.010299	1.000000	0.004564	0.004564	2.25662
	07aN	5	0.008885	1.000000	0.005429	0.005429	1.63639
	07bN	5	0.005606	1.000000	0.003709	0.003709	1.51128
2	04aN	5	0.013173	1.000000	0.003888	0.003888	3.38787

	06aN	5	0.010136	1.000000	0.004564	0.004564	2.22096
	07aN	5	0.007000	1.000000	0.005429	0.005429	1.28921
	07bN	5	0.006275	1.000000	0.003709	0.003709	1.69161
3	04aN	5	0.015070	1.000000	0.003888	0.003888	3.87577
	06aN	5	0.009056	1.000000	0.004564	0.004564	1.98414
	07aN	5	0.007127	1.000000	0.005429	0.005429	1.31273
	07bN	5	0.005811	1.000000	0.003709	0.003709	1.56653
	04aN	5	0.010172	1.000000	0.003888	0.003888	2.61597
	06aN	5	0.008136	1.000000	0.004564	0.004564	1.78256
4	07aN	5	0.006687	1.000000	0.005429	0.005429	1.23163
	07bN	5	0.006748	1.000000	0.003709	0.003709	1.81919
	04aN	5	0.012614	1.000000	0.003888	0.003888	3.24398
5	06aN	5	0.010268	1.000000	0.004564	0.004564	2.24988
	07aN	5	0.009895	1.000000	0.005429	0.005429	1.82248
	07bN	5	0.005748	1.000000	0.003709	0.003709	1.54949
6	04aN	5	0.012614	1.000000	0.003888	0.003888	3.24398
	06aN	5	0.009219	1.000000	0.004564	0.004564	2.01996
	07aN	5	0.006479	1.000000	0.005429	0.005429	1.19335
	07bN	5	0.006400	1.000000	0.003709	0.003709	1.72540
	04aN	5	0.010371	1.000000	0.003888	0.003888	2.66711
	06aN	5	0.007980	1.000000	0.004564	0.004564	1.74838
7	07aN	5	0.006850	1.000000	0.005429	0.005429	1.26163
	07bN	5	0.006383	1.000000	0.003709	0.003709	1.72067
	04aN	5	0.009257	1.000000	0.003888	0.003888	2.38073
8	06aN	5	0.007278	1.000000	0.004564	0.004564	1.59462
	07aN	5	0.008005	1.000000	0.005429	0.005429	1.47442
	07bN	5	0.006357	1.000000	0.003709	0.003709	1.71383
9	04aN	5	0.011672	1.000000	0.003888	0.003888	3.00171
	06aN	5	0.010228	1.000000	0.004564	0.004564	2.24107
	07aN	5	0.009411	1.000000	0.005429	0.005429	1.73344
	07bN	5	0.005682	1.000000	0.003709	0.003709	1.53188
	04aN	5	0.012200	1.000000	0.003888	0.003888	3.13752
	06aN	5	0.008647	1.000000	0.004564	0.004564	1.89462
10	07aN	5	0.006438	1.000000	0.005429	0.005429	1.18576
	07bN	5	0.006494	1.000000	0.003709	0.003709	1.75075
	04aN	5	0.009779	1.000000	0.003888	0.003888	2.51499
11	06aN	5	0.007526	1.000000	0.004564	0.004564	1.64901
	07aN	5	0.006850	1.000000	0.005429	0.005429	1.26174
	07bN	5	0.006535	1.000000	0.003709	0.003709	1.76173
12	04aN	5	0.008331	1.000000	0.003888	0.003888	2.14252
	06aN	5	0.006782	1.000000	0.004564	0.004564	1.48595
	07aN	5	0.009474	1.000000	0.005429	0.005429	1.74490
	07bN	5	0.006183	1.000000	0.003709	0.003709	1.66687

Tabla 1. 13 Tabla que muestra la relación entre el drift calculado con el IDARC y el drift calculado con la nueva metodología para edificios de seis pisos (ZONA IV)

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC	B ₆	DRIFT LINEAL	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO
1	04aN	6	0.017304	1.018580	0.005615	0.005719	3.02554
	06aN	6	0.009844	1.018580	0.004396	0.004477	2.19853
	07aN	6	0.007898	1.018580	0.003266	0.003327	2.37403
	07bN	6	0.007882	1.018580	0.004152	0.004229	1.86380
2	04aN	6	0.008143	1.018580	0.005615	0.005719	1.42370
	06aN	6	0.007125	1.018580	0.004396	0.004477	1.59132
	07aN	6	0.014079	1.018580	0.003266	0.003327	4.23159

	07bN	6	0.006841	1.018580	0.004152	0.004229	1.61769
3	04aN	6	0.008431	1.018580	0.005615	0.005719	1.47415
	06aN	6	0.007396	1.018580	0.004396	0.004477	1.65182
	07aN	6	0.011022	1.018580	0.003266	0.003327	3.31282
	07bN	6	0.006012	1.018580	0.004152	0.004229	1.42175
4	04aN	6	0.006941	1.018580	0.005615	0.005719	1.21360
	06aN	6	0.006664	1.018580	0.004396	0.004477	1.48827
	07aN	6	0.007354	1.018580	0.003266	0.003327	2.21043
	07bN	6	0.005693	1.018580	0.004152	0.004229	1.34631
5	04aN	6	0.012537	1.018580	0.005615	0.005719	2.19198
	06aN	6	0.009429	1.018580	0.004396	0.004477	2.10587
	07aN	6	0.008383	1.018580	0.003266	0.003327	2.51976
	07bN	6	0.007788	1.018580	0.004152	0.004229	1.84162
6	04aN	6	0.007835	1.018580	0.005615	0.005719	1.36996
	06aN	6	0.007258	1.018580	0.004396	0.004477	1.62101
	07aN	6	0.010925	1.018580	0.003266	0.003327	3.28378
	07bN	6	0.006719	1.018580	0.004152	0.004229	1.58890
7	04aN	6	0.008028	1.018580	0.005615	0.005719	1.40370
	06aN	6	0.006813	1.018580	0.004396	0.004477	1.52177
	07aN	6	0.009717	1.018580	0.003266	0.003327	2.92064
	07bN	6	0.005837	1.018580	0.004152	0.004229	1.38033
8	04aN	6	0.006617	1.018580	0.005615	0.005719	1.15691
	06aN	6	0.006097	1.018580	0.004396	0.004477	1.36164
	07aN	6	0.007510	1.018580	0.003266	0.003327	2.25736
	07bN	6	0.005136	1.018580	0.004152	0.004229	1.21457
9	04aN	6	0.013928	1.018580	0.005615	0.005719	2.43518
	06aN	6	0.009441	1.018580	0.004396	0.004477	2.10855
	07aN	6	0.008550	1.018580	0.003266	0.003327	2.56973
	07bN	6	0.007335	1.018580	0.004152	0.004229	1.73464
10	04aN	6	0.007589	1.018580	0.005615	0.005719	1.32683
	06aN	6	0.006775	1.018580	0.004396	0.004477	1.51312
	07aN	6	0.009747	1.018580	0.003266	0.003327	2.92972
	07bN	6	0.006128	1.018580	0.004152	0.004229	1.44906
11	04aN	6	0.007686	1.018580	0.005615	0.005719	1.34378
	06aN	6	0.006508	1.018580	0.004396	0.004477	1.45365
	07aN	6	0.008836	1.018580	0.003266	0.003327	2.65586
	07bN	6	0.005563	1.018580	0.004152	0.004229	1.31553
12	04aN	6	0.006515	1.018580	0.005615	0.005719	1.13916
	06aN	6	0.005836	1.018580	0.004396	0.004477	1.30336
	07aN	6	0.007629	1.018580	0.003266	0.003327	2.29313
	07bN	6	0.005318	1.018580	0.004152	0.004229	1.25757

Una vez que se tiene todos estos datos es necesario determinar el promedio de la relación que existe entre el drift calculado mediante el programa IDARC y el drift calculado con la nueva metodología, en otras palabras nos interesa conocer el factor f presentado en (1.10), para estructuras de distintos números de pisos, este factor f se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1. 14 Distintos valores de f para estructuras de distintos números de pisos

Estructuras de	Valor medio de f	Desviación estándar de f
1 piso	1.26	0.26
2 pisos	1.38	0.54
3 pisos	1.51	0.54
4 pisos	1.79	0.54
5 pisos	2.00	0.67
6 pisos	1.90	0.69

De las tablas anteriores se aprecia que en las estructuras de 1 piso, la dispersión de resultados es pequeña es decir el valor de f es muy cercano a uno lo que indica que la metodología es muy buena para estructuras de un piso

También se puede apreciar que para las estructuras de 2 a 6 pisos la dispersión es similar y varía entre 1 y 4 aproximadamente, esto no quiere decir que la metodología no sea aplicable a edificios de mas de dos pisos pues hay que recordar que mediante un análisis estadístico se sabe que la variación de los datos obedece a una distribución normal (Campana de Gauss) en otras palabras el 67 % de los casos varían en los rangos que se indican a continuación en la tabla 1.15

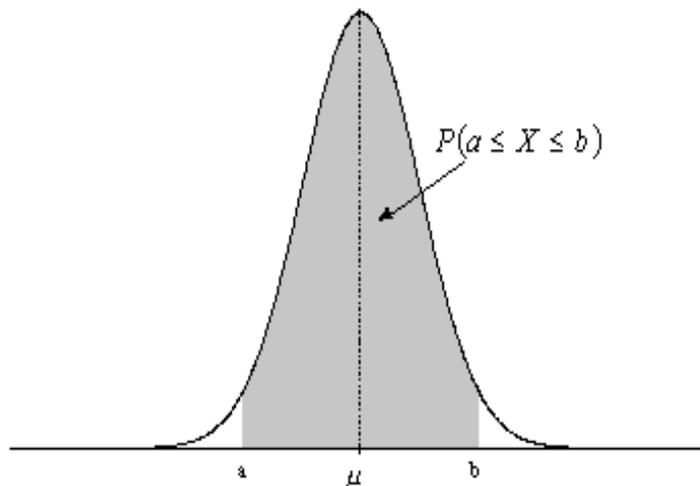


Figura 1.10 Distribución normal

Tabla 1. 15 Variación del parámetro f

PISO	PROMEDIO	DESVIACION	67 % de los Casos están comprendidos entre	
			Valores mínimos	Valores Máximos
1	1.256	0.264	0.991	1.520
2	1.383	0.541	0.841	1.925
3	1.508	0.537	0.970	2.045
4	1.787	0.534	1.252	2.321
5	1.997	0.666	1.330	2.663
6	1.896	0.690	1.205	2.586

Los valores medios se indican con línea continua y se encuentran entre 1.25 y 2, en la tabla 1.14 se indicaron estos valores que demuestran que la metodología propuesta reporta muy buenos resultados tanto en la dispersión como en los valores medios.

Finalmente en la siguiente gráfica se indica los valores del parámetro f para estructuras de distintos números de pisos

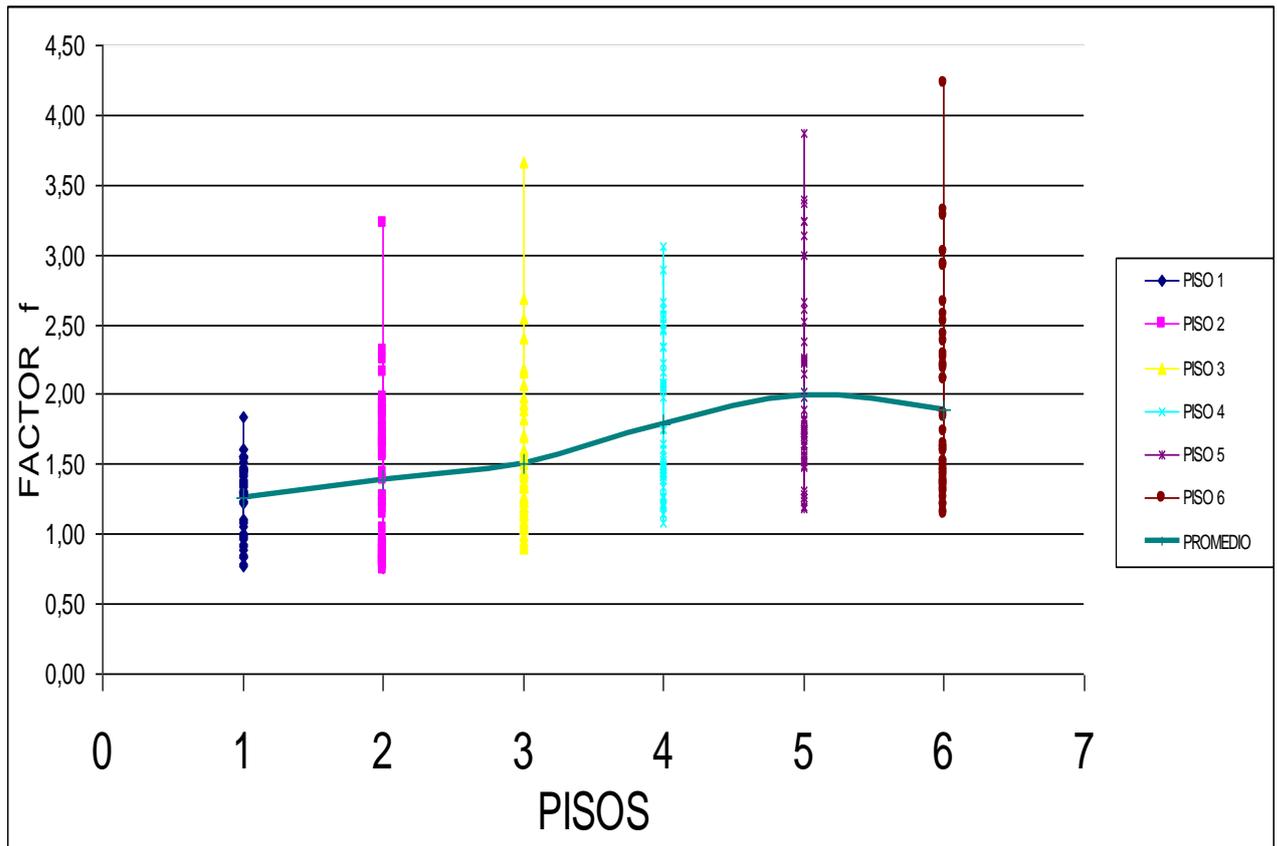


Figura 1.11 Valores de $f = \gamma_{IDARC} / \gamma$ encontrados en el estudio (ZONA IV)

Por último es importante indicar que en la determinación del parámetro β_6 del estudio realizado por Aguiar y Gonzáles (2006) el acero transversal que se usó fue un estribo de 8 mm, separados cada 10 centímetros tanto en vigas y columnas con un confinamiento simple.

Sin embargo es importante indicar que el IDARC permite variar el diámetro del estribo y el tipo de confinamiento para columnas, el mismo que puede ser simple o doble así como el espaciamiento en los extremos del elemento. Por lo anteriormente indicado se consideró en este estudio tres tipos de casos en los que se consideró una

separación de 10 centímetros tanto en vigas como en columnas los casos de análisis se indican a continuación:

CASO 1: Estribos simples con un diámetro de 8 mm. en vigas y columnas

Para ilustrar este caso se presenta la figura 1.12 que muestra un ejemplo de armado de una columna y una viga tipo consideradas en este estudio, en los pisos 1 y 2 de un edificio de 4 pisos con una cuantía del 1% en columnas y del 0.5 % y 0.75 % en la parte inferior y superior de la viga respectivamente que corresponden al caso 1 de la tabla 1.2; se puede observar que tanto en viga como en columnas se utilizaron estribos simples de 8 mm de diámetro.

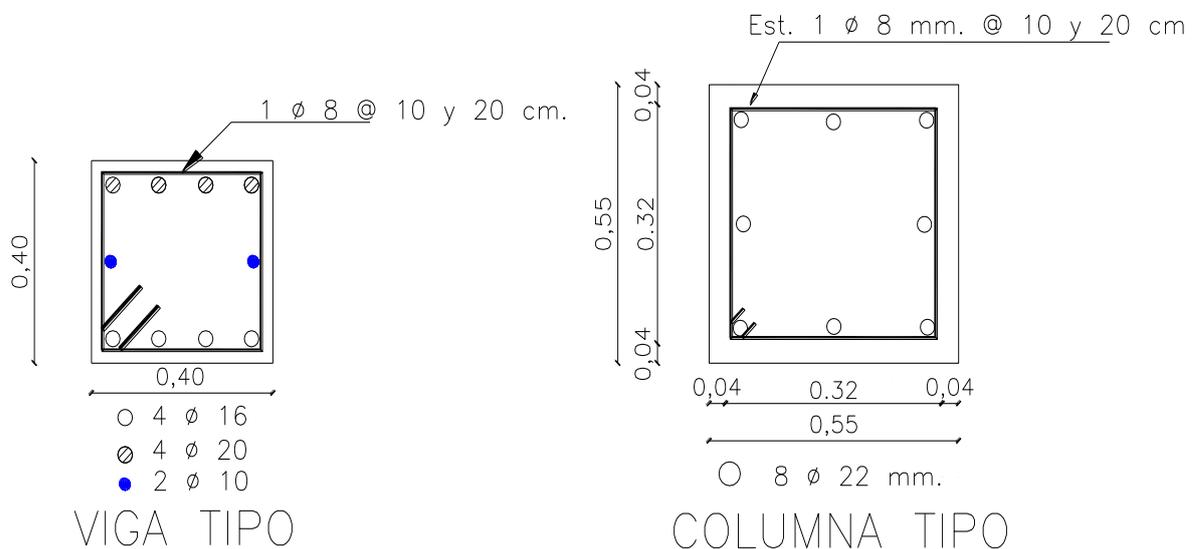


Figura 1.12 Columna y viga tipo para el Caso 1

CASO 2: Estribos simples de 8 mm. en vigas y en columnas estribos dobles de 10 mm

Como ejemplo de este caso se tiene la figura 1.13, que muestra la misma columna y viga tipo indicadas para caso 1, sin embargo se puede observar que en las columnas se utilizó un estribo doble de 10 mm de diámetro en lugar del estribo simple de 8 mm del caso 1.

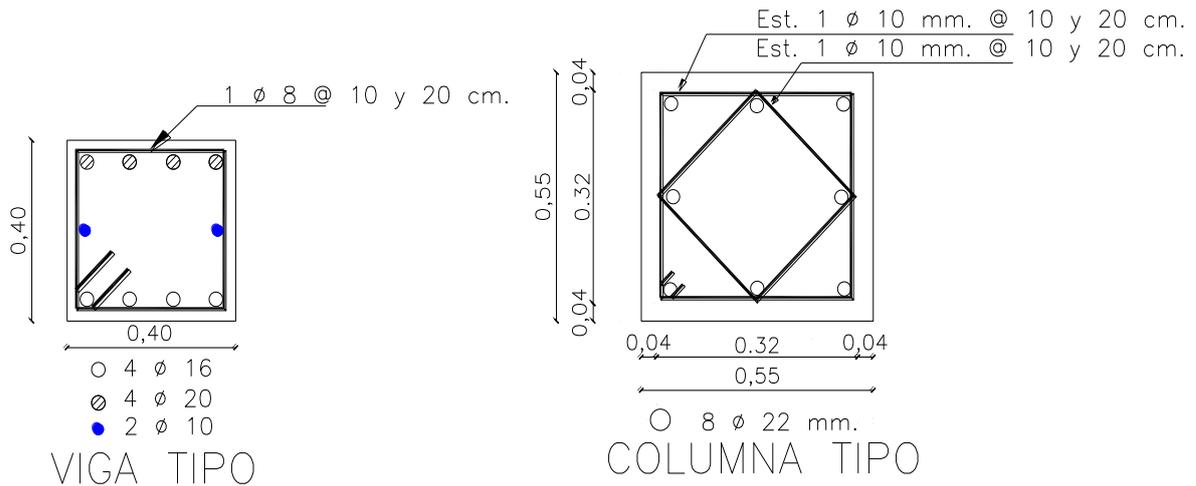


Figura 1.13 Columna y viga tipo para el Caso 2

CASO 3: Estribos simples de 10 mm. en vigas y en columnas estribos dobles de 10 mm

La figura 1.14 muestra una columna y viga tipo pero para este caso se puede notar que en las vigas se cambió el estribo de 8 mm a 10 mm y en columnas se mantuvo un estribo doble de 10 mm de diámetro.

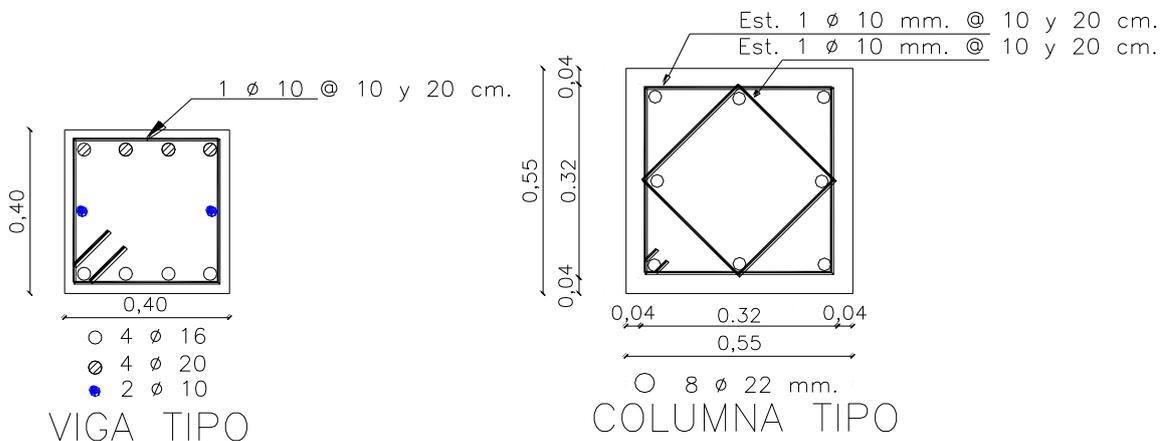


Figura 1.14 Columna y viga tipo para el Caso 3

A continuación se presentan las gráficas del factor f para las cuatro zonas sísmicas del Ecuador y considerando todos los tres casos de armado transversal estas gráficas son el resultado de 3456 corridas en IDARC, es decir se sometió 72 estructuras antes 4 eventos sísmicos normalizados para cuatro zonas y en función de tres tipos de refuerzo transversal (6 pisos x 12 tipos de armado longitudinal x 4 sismos peruanos x 4 zonas ecuatorianas x 3 tipos de armado transversal = 3456 casos de análisis)

Así mismo se realizo en LINEAL un total de 96 corridas es decir estructuras de 1 a 6 pisos ante cuatro eventos sísmicos peruanos y normalizados para las cuatro zonas sísmicas del Ecuador teniendo los siguientes resultados:

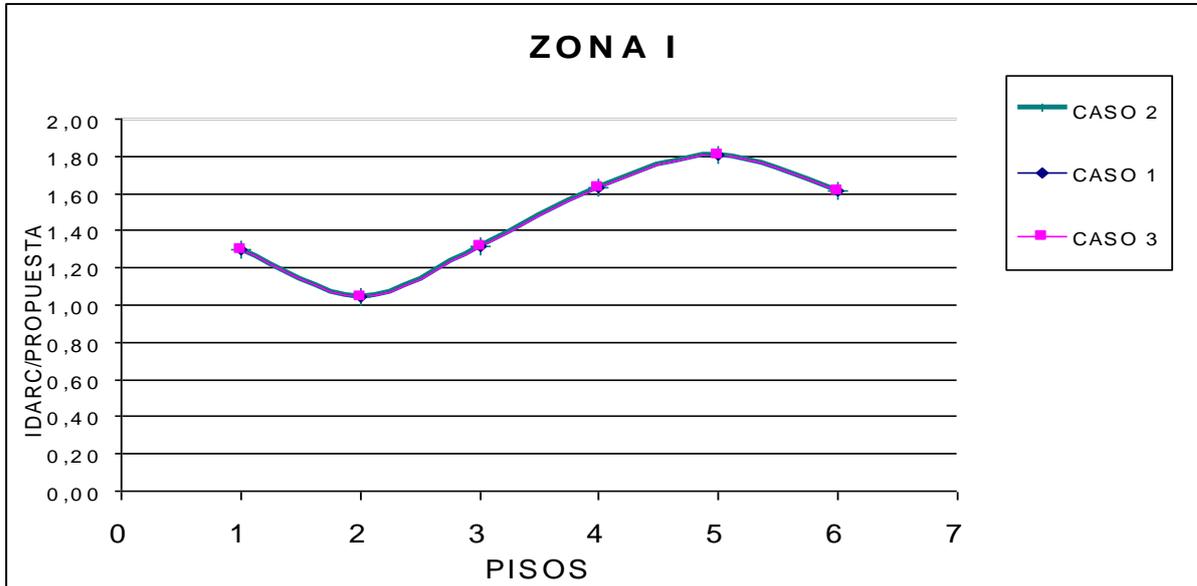


Figura 1.15 Valores de f encontrados en el estudio (ZONA I)

Tabla 1. 16 Variación del parámetro f para la zona I

ZONA I						
CASO 1			CASO 2		CASO 3	
PISO	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION
1	1.300	0.269	1.299	0.269	1.299	0.269
2	1.039	0.268	1.039	0.268	1.039	0.268
3	1.312	0.319	1.312	0.319	1.312	0.319
4	1.629	0.503	1.629	0.503	1.629	0.503
5	1.808	0.395	1.808	0.395	1.808	0.396
6	1.613	0.411	1.612	0.411	1.612	0.411

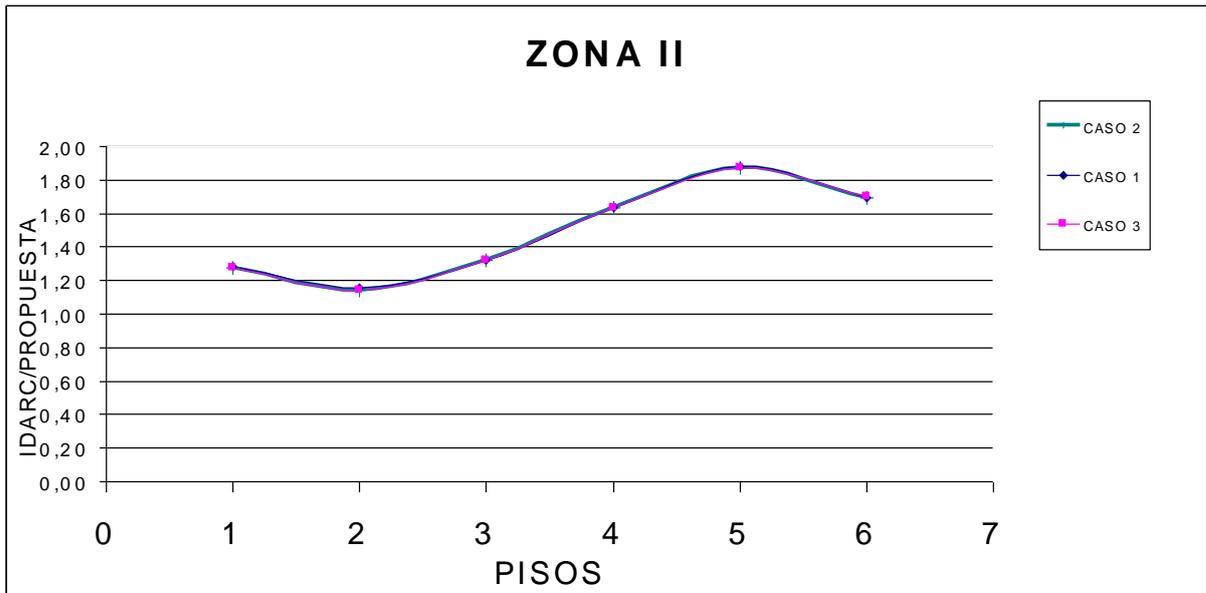


Figura 1.16 Valores de f encontrados en el estudio (ZONA II)

Tabla 1. 17 Variación del parámetro f para la zona II

ZONA II						
CASO 1			CASO 2		CASO 3	
PISO	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION
1	1.280	0.264	1.278	0.262	1.277	0.262
2	1.153	0.403	1.141	0.383	1.139	0.378
3	1.318	0.314	1.317	0.313	1.317	0.313
4	1.637	0.491	1.636	0.492	1.636	0.492
5	1.877	0.503	1.876	0.504	1.875	0.503
6	1.695	0.626	1.697	0.633	1.697	0.636

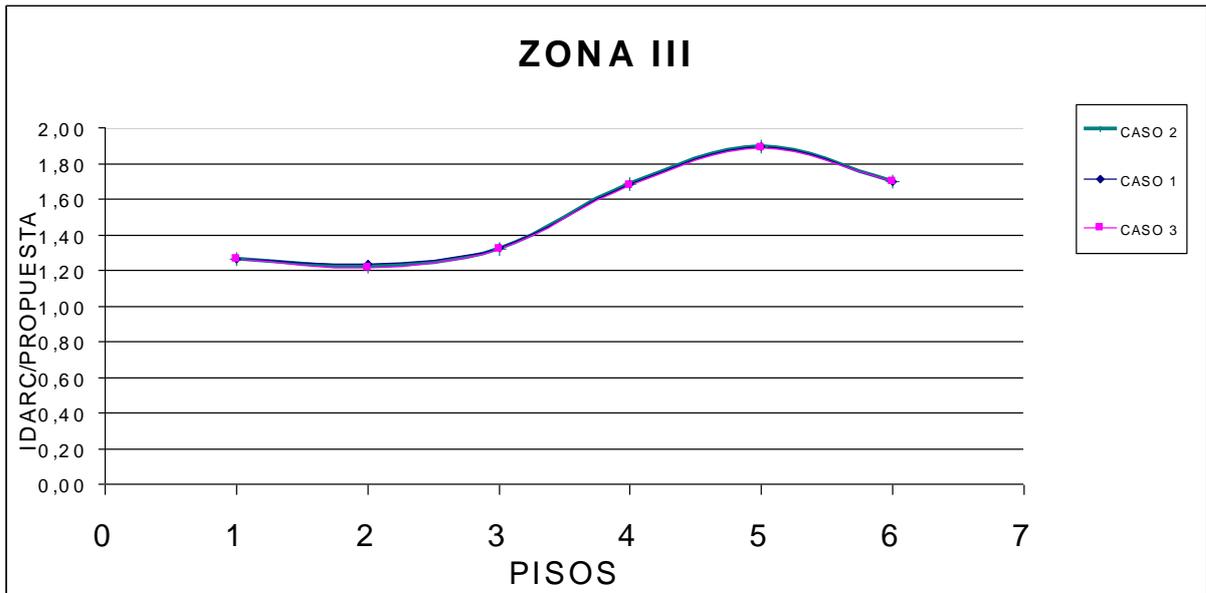


Figura 1.17 Valores de f encontrados en el estudio (ZONA III)

Tabla 1. 18 Variación del parámetro f para la zona III

ZONA III						
PIS O	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION
1	1.261	0.278	1.261	0.279	1.261	0.279
2	1.237	0.460	1.223	0.451	1.217	0.446
3	1.324	0.308	1.322	0.306	1.321	0.306
4	1.683	0.477	1.682	0.477	1.680	0.475
5	1.897	0.496	1.895	0.492	1.890	0.483
6	1.698	0.521	1.696	0.519	1.695	0.518

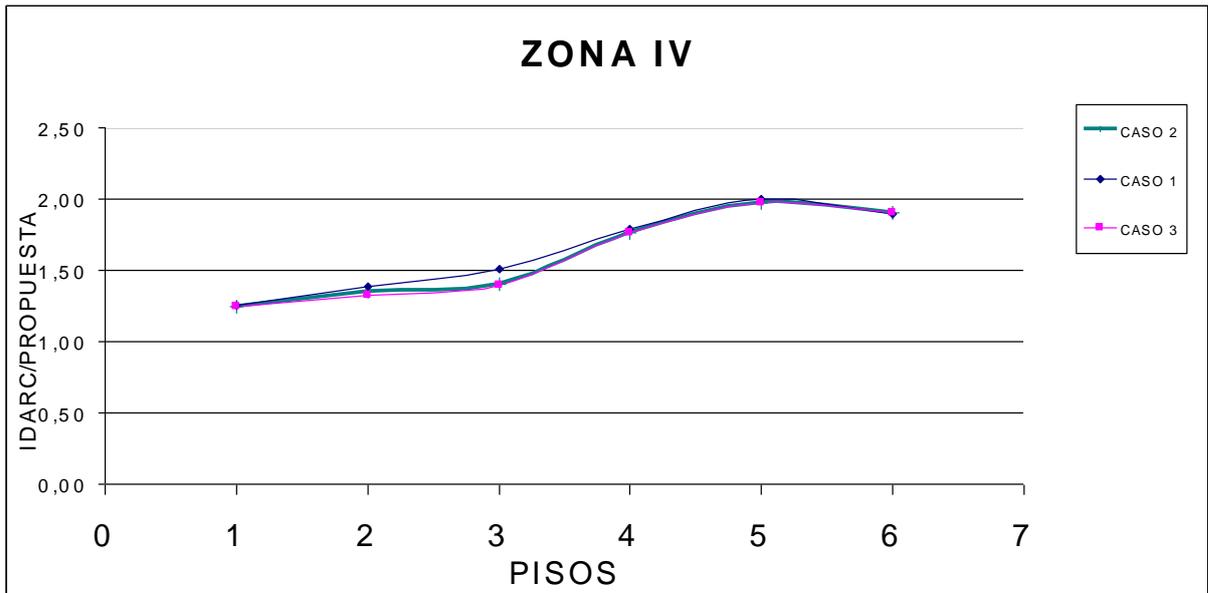


Figura 1.18 Valores de f encontrados en el estudio (ZONA IV)

Tabla 1. 19 Variación del parámetro f para la zona IV

ZONA IV						
CASO 1			CASO 2		CASO 3	
PISO	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION	PROMEDIO	DESVIACION
1	1.256	0.264	1.244	0.258	1.245	0.258
2	1.383	0.541	1.350	0.546	1.328	0.489
3	1.508	0.537	1.399	0.367	1.394	0.358
4	1.787	0.534	1.764	0.529	1.764	0.530
5	1.997	0.666	1.977	0.640	1.976	0.640
6	1.896	0.690	1.902	0.694	1.904	0.698

Antes de finalizar este capítulo se debe indicar que se realizaron tres curvas comparativas por cada caso de refuerzo transversal en las que se pueden observar la variación del parámetro f para todas las zonas sísmicas del Ecuador, así como la media para cada caso cuyos valores se indican en la tabla 1.20

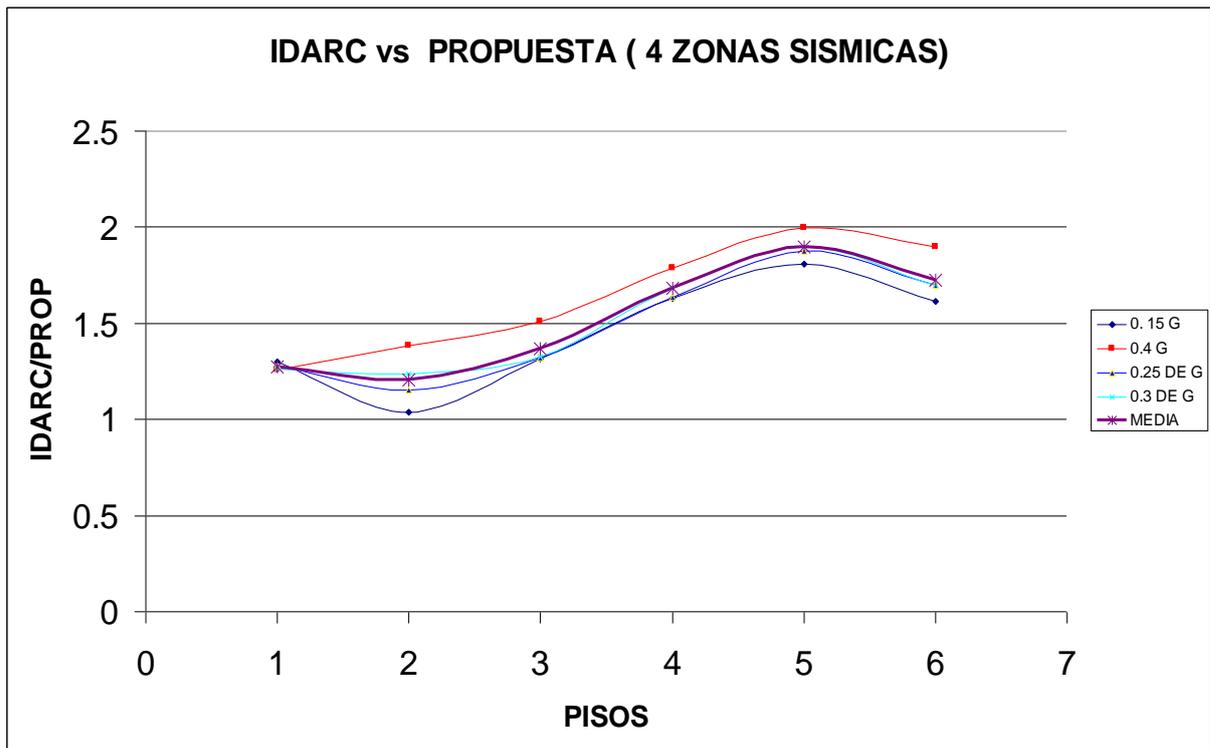


Figura 1.19 Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 1

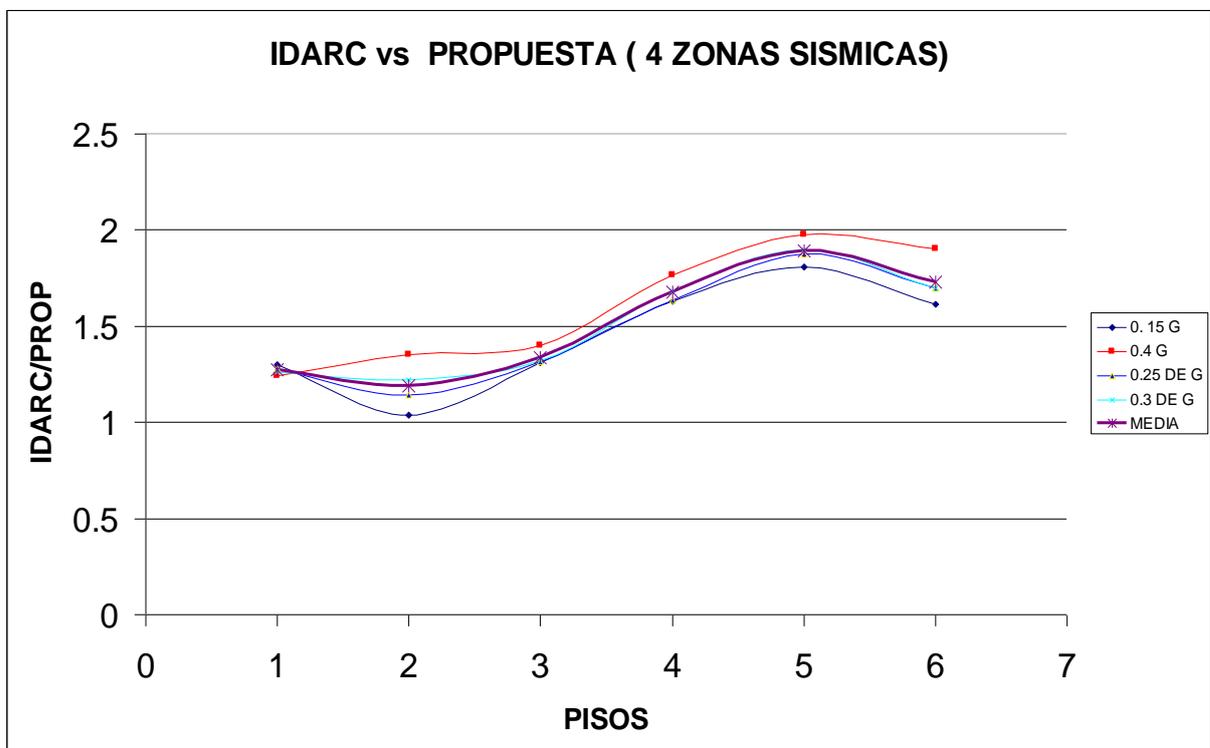


Figura 1.20 Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 2

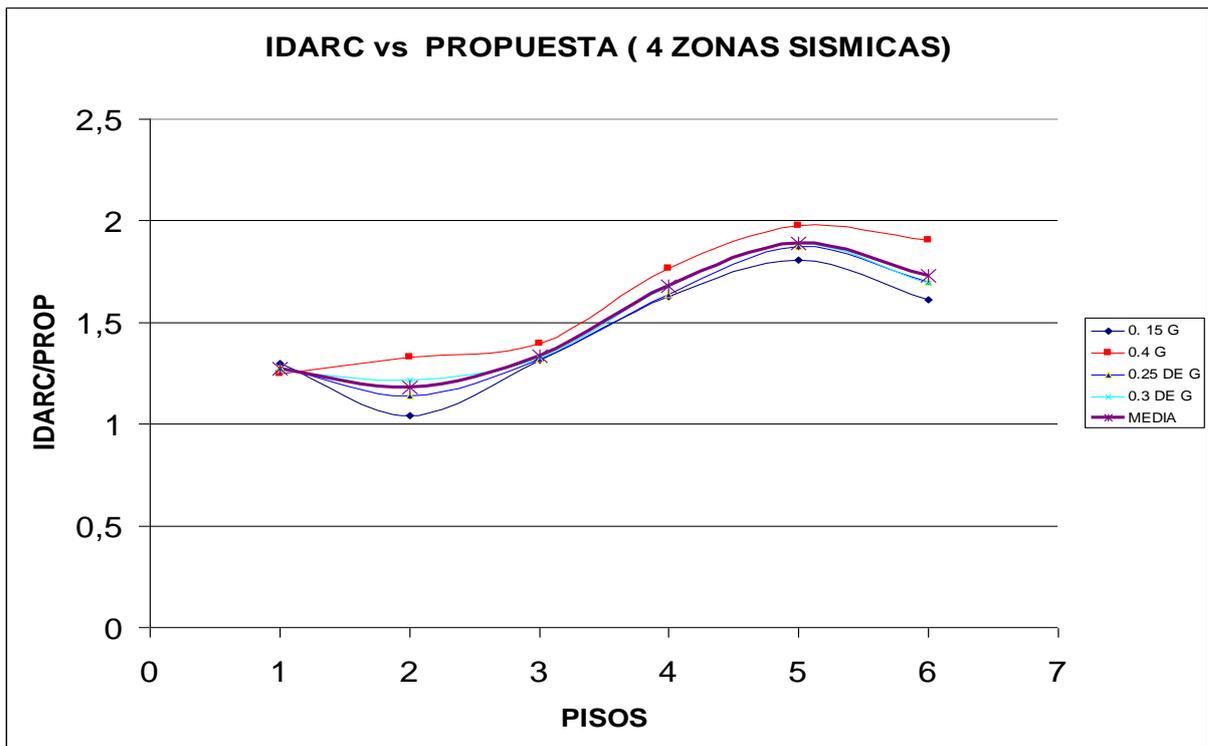


Figura 1.21 Figura comparativa del factor f en todas las zonas sísmicas Caso 3

Tabla 1. 20 Factor f promedio de las zonas para todos los casos

CASO 1		CASO 2		CASO 3	
PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO	
PISO	MEDIA	PISO	MEDIA	PISO	MEDIA
1	1,275	1	1,271	1	1,271
2	1,204	2	1,189	2	1,181
3	1,366	3	1,338	3	1,337
4	1,684	4	1,678	4	1,678
5	1,895	5	1,890	5	1,888
6	1,726	6	1,727	6	1,728

Finalmente se puede indicar las siguientes observaciones:

- La nueva metodología en términos generales nos da resultados muy buenos pues como se puede observar, en las tablas anteriores, en cualquiera de las cuatro zonas sísmicas y para cualquier tipo de caso de refuerzo transversal la variación es menor a 2, esto quiere decir que la mayoría o todos los resultados variarían de 1 a 2

- La variación del estribo o refuerzo transversal no incide en la metodología propuesta por Aguiar (2006) pues como podemos ver en las graficas prácticamente las curvas en función del estribo están una sobre otra, salvo en el caso de la zona de mayor peligrosidad sísmica donde varía ligeramente
- En función del número de pisos se puede afirmar que esta metodología tiene valores más cercanos a 1 es decir presenta mayor exactitud en edificios o estructuras de 1 y 2 pisos, así mismo presenta valores mas lejanos a 1 en estructuras de 5 y 6 pisos lo que nos hace concluir que la metodología es buena para edificios de 1 a 6 pisos pero es casi exacta para edificios de 1 y 2 pisos
- Referente al tipo o zona sísmica en que se aplique se puede decir que la metodología presenta mejores resultados en zonas de menor riesgo sísmico es decir en las zonas I y II la metodología se acerca más a 1, mientras que en las zonas III y IV estos valores se alejan un poco de 1 pero tampoco llegan a 2
- Por todo lo anteriormente nombrado se puede indicar que la nueva metodología para calcular el drift en forma rápida propuesta por Aguiar (2006) es bastante buena por lo que debería difundirse

CAPÍTULO II

CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ZONA DE MAYOR PELIGROSIDAD SÍSMICA

RESUMEN

Se inicia definiendo las curvas de fragilidad indicando su importancia y su aplicación, se continúa determinando como se hallan todas las curvas de fragilidad del presente estudio, detallando las estructuras, sismos de análisis, el parámetro indicador del daño, la selección de datos que se realizará en función del nivel de confianza y la metodología de trabajo a usar, también se presentan los programas creados para facilitar este trabajo.

Por último se presentan las curvas de fragilidad para estructuras de hormigón armado de uno a seis pisos en la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador.

2.1 ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL ECUADOR

Para evaluar el riesgo sísmico se tiene que empezar evaluando dos parámetros la peligrosidad sísmica y la vulnerabilidad de los elementos expuestos como son: las personas, las estructuras, las infraestructuras y también la economía de un determinado lugar en un tiempo dado.

La vulnerabilidad nos indica el daño o en que medida es afectado un elemento, en este caso una estructura ante una amenaza como un evento sísmico.

A nivel mundial se está trabajando en lo referente a la peligrosidad sísmica la misma que nos indica el nivel de movimiento del suelo, que con cierta probabilidad se produce como consecuencia de un evento sísmico. Para evaluar la peligrosidad sísmica existen dos métodos:

Métodos Deterministas.- Se basan en considerar que los eventos sísmicos ocurridos en el pasado se repetirán de forma análoga en el futuro, con lo que finalmente se determinan los límites superiores del movimiento del suelo.

Métodos Probabilistas.- Surgen a partir de la información que se tiene para una determinada zona como por ejemplo la red de sismógrafos, la red de observatorios etc., En otras palabras estos métodos buscan determinar la probabilidad de que un movimiento sobrepase el nivel de referencia dentro de un período de tiempo llamado también período de retorno.

Haciendo referencia a lo anteriormente señalado se debe indicar que hace pocos años el Comité Visión 2000 creado en los Estados Unidos de Norteamérica realizó una propuesta para diseñar estructuras en función de cuatro tipos de eventos sísmicos, es decir según el Comité Visión 2000 un sismo puede ser frecuente, ocasional, raro y muy raro.

Las características de los sismos señalados en el párrafo anterior se presentan a continuación en la tabla 2.1 en la misma se indica el tipo de sismo, el tiempo de vida útil de la estructura a diseñar, la probabilidad de excedencia y el período de retorno de cada uno de ellos.

Tabla 2.1: Propuesta de clasificación de sismos Comité VISION 2000.

SISMO	VIDA ÚTIL	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA	PERÍODO DE RETORNO
Frecuente	30 años	50%	43 años
Ocasional	50 años	50%	72 años
Raro	50 años	10%	475 años
Muy Raro	100 años	10%	970 años

En el Ecuador modelando la ocurrencia de los sismos como un proceso de Poisson, es decir mediante el uso de un método estadístico se obtuvieron mapas de isoaceleraciones para períodos de retorno de 475 años correspondiente a un **Sismo Raro** de la propuesta dada por el Comité Visión 2000, que tiene una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años..

Para encontrar los espectros para un sismo frecuente, ocasional y muy raro partiendo del espectro de diseño del CEC 2000 (Sismo Raro); se sigue la metodología propuesta por Aguiar (2005) la misma que se indica a continuación:

Para el **Sismo Frecuente** se dividen las ordenadas espectrales del sismo raro para 3 y se ajusta el amortiguamiento que está calculado para un $\xi = 0.05$ a un $\xi = 0.02$ mediante un factor de ajuste (fa) que se lo obtiene mediante la expresión 2.1:

$$fa = \left(\frac{5}{\xi} \right)^{0.04} \quad (2.1)$$

Para el **Sismo Ocasional** se multiplica el sismo frecuente por 1.4

Para el **Sismo Muy Raro** se multiplica el sismo raro por 1.3

Como ejemplo en la figura 2.1 se presentan los espectros para el análisis sísmico por desempeño de los 4 sismos propuestos por el Comité Visión 2000 para un suelo S1 en la zona de mayor peligrosidad sísmica ecuatoriana.

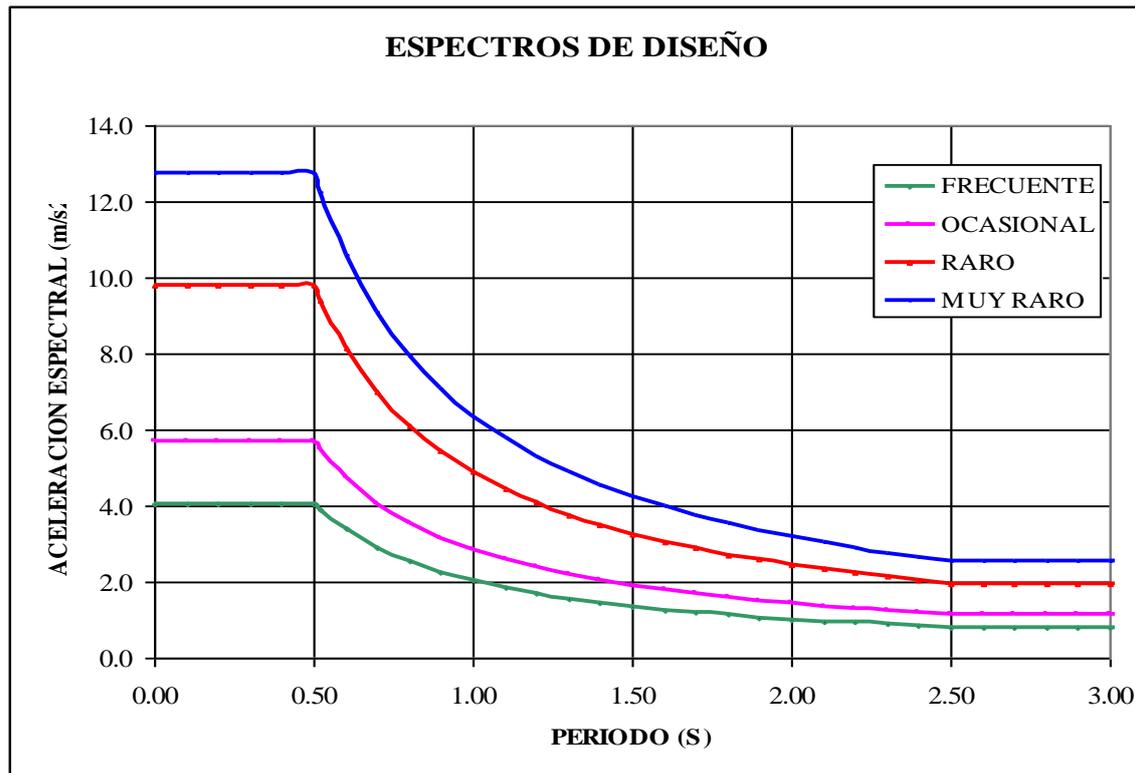


Figura 2.1 Espectros propuestos para un perfil de suelo S1 en la zona IV

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA FORMA COMO SE HALLAN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD.

Hay que recordar que el diseño de una estructura de hormigón armado no termina cuando se tienen las dimensiones de las secciones de columnas y vigas así como la armadura longitudinal y transversal, a partir de ese punto es que se inicia el análisis por desempeño, es decir se analiza el desempeño de los elementos en términos estructurales y económicos que tiene una estructura ante un evento sísmico determinado.

Una vez que se analiza el desempeño de los elementos estructurales es importante relacionar el mismo con los costos de reparación de una estructura, para ello es necesario obtener el desempeño en términos de desplazamiento y mediante el uso de una curva de fragilidad obtener el porcentaje de daño.

Una curva de fragilidad indica cuan probable es que una estructura sufra un determinado porcentaje de daño en función de un desplazamiento conocido o de una deriva dada; es decir es una medida de vulnerabilidad en función de las probabilidades.

Estas curvas son de importancia para ingenieros estructurales, investigadores, compañías de seguros y también para los propietarios porque obviamente les interesa conocer el desempeño de su estructura y los costos de reparación

Para hallar una curva de fragilidad existen varios métodos como son:

- 1. Métodos basados en observaciones de campo.-** En este método se halla las curvas a partir de los daños observados, para ello se clasifica a las estructuras según su tipología y a su vez a estas en función de parámetros como la geometría, uso e importancia.

A la intensidad del movimiento se lo clasifica en función de la zona sísmica. Este tipo de trabajo necesita de la participación de expertos en diseño y en patología de estructuras que permitan formular los cuestionarios de inspección para describir los daños observados

Para realizar este método se siguen los siguientes pasos:

- a. Se tiene n sismos con datos de daños a las estructuras
- b. Para cada sismo i , se normaliza la aceleración del suelo en función de la zona
- c. Se determina el número de estructuras sometidas a cada sismo con una aceleración normalizada (k)
- d. Se define el tipo de daño o estado discreto de daño
- e. Se calcula el número de estructuras que exceden cada tipo de daño (m)
- f. Se estima la probabilidad de fallo f de una estructura sometido a un sismo normalizado mediante la siguiente expresión

$$f = \frac{m}{k}$$

- g. Se hace una distribución logarítmica normal con los datos de f

Estos métodos no se recomiendan para casos particulares, sino cuando se hace un análisis en forma global.

- 2. Métodos a partir de la opinión de expertos.-** Se lo hace mediante preguntas a investigadores referentes al comportamiento de la estructura, para así poder determinar parámetros cuantificadores de daño en función de la intensidad

sísmica del movimiento, una vez obtenido esto para un determinado grupo de estructuras se hace una distribución probabilística.

3. Métodos experimentales.- Se los hace siguiendo el mismo procedimiento que se indicó anteriormente en los métodos basados en observaciones de campo, solo que para este tipo de método los datos se obtienen de ensayos realizados en el laboratorio, sin embargo estos ensayos suelen ser costosos, y los datos de daños se obtienen a partir del número de observaciones que se realicen.

Normalmente se realizan dos tipos de ensayos: Los ensayos de cargas monotónicamente crecientes y los ensayos sobre mesa vibradora

4. Métodos analíticos.- Se los realiza a partir de análisis numérico (usando programas de computadoras), se los realiza en zonas donde no se cuentan con una gran cantidad de registros acelerográficos, ni de suficientes ensayos de laboratorio como es el caso de nuestro país. Los resultados que se obtienen varían mucho en función del modelo estructural que se adopte por lo tanto hay que buscar modelos que sean lo más representativos posibles.

Los resultados que se obtienen entre daños observados (método de observaciones de campo) y daños obtenidos mediante métodos analíticos varían sustancialmente pese a los avanzados programas de computadora que existen actualmente en el mercado, esto implica fuertes limitaciones en usar métodos netamente observativos.

Debido a que el Ecuador cuenta con registros acelerográficos de intensidades muy bajas, que son difíciles de conseguir por su elevado precio y que son propiedad de la Escuela Politécnica Nacional, como a la dificultad y al costo que representaría realizar ensayos de laboratorio de cargas monotónicamente crecientes o sobre mesa vibradora, se optó realizar este estudio usando un método analítico partiendo de los registros sísmicos obtenidos por Paúl Guerrero (2005) a través del CISMID de Perú y de un análisis no lineal por medio del IDARC, para finalmente realizar un **MÉTODO ANALÍTICO PROBABILISTA** que se describirá posteriormente.

2.3 ESTRUCTURAS Y SISMOS DE ANÁLISIS

Para obtener las curvas de fragilidad, se debe elegir un modelo estructural a usar, que sea lo más representativo posible de la realidad constructiva, así debe considerarse no solo lo referente a las características geométricas, dimensiones de elementos estructurales, cuantías de hierro, sino también lo referente a la calidad y características de los materiales como a los modelos matemáticos que se usarán.

Las características mecánicas de los materiales usados en el estudio, son:

Propiedades del concreto:

Esfuerzo de compresión sin confinar: 210 Kg./cm²

Modulo de elasticidad Inicial (E): 15000√210 Kg./cm²

Deformación en el esfuerzo máximo: 0.002

Esfuerzo de agrietamiento en la sección 21 Kg./cm²

Las características de la curva esfuerzo deformación del hormigón, se muestra en la figura 2.2

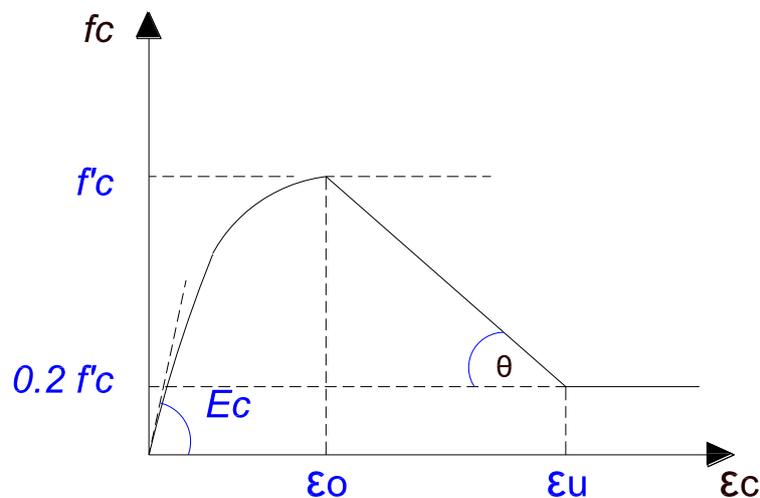


Figura 2.2 Modelo de Kent y Park para el comportamiento de Hormigón confinado

Propiedades del acero:

Esfuerzo de fluencia: 4200 Kg./cm²

Módulo de elasticidad: 2000000 Kg./cm²

Deformación inicio de la zona de endurecimiento: 0.0152

Para definir el comportamiento del acero se uso un modelo trilineal, ya que este modelo es una idealización más exacta en comparación a otros y se lo utiliza cuando un elemento esta sujeto a deformaciones que estén por encima del rango de fluencia, las características de este modelo se presentan en la figura 2.3

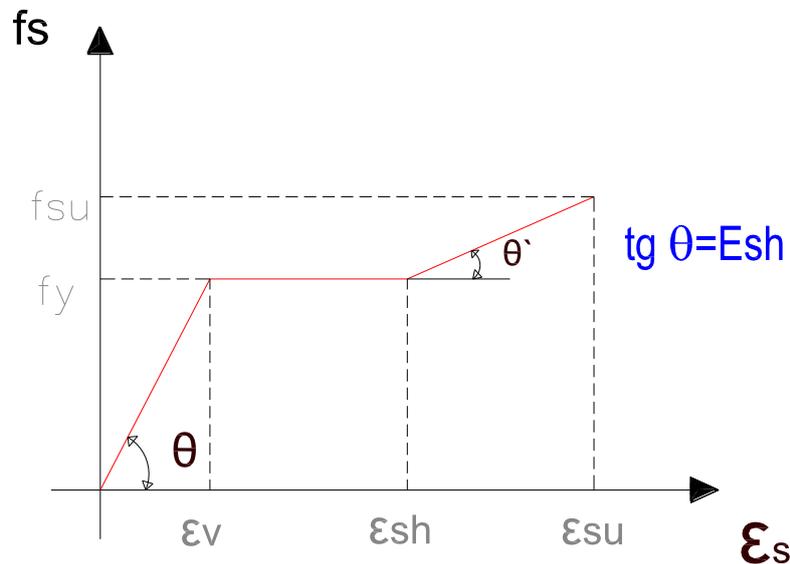


Figura 2.3 Modelo trilineal para el comportamiento del acero

La modelación de los edificios se la hizo en 2 dimensiones, pues por ser estructuras regulares es suficiente el uso de este tipo de modelos; además el programa IDARC utilizado para el análisis dinámico no lineal permite el uso de modelos únicamente en 2D mediante el uso de pórticos.

En el capítulo anterior cuando se hizo la comprobación de la nueva metodología usando el factor β_6 se indicaron las características geométricas de las estructuras analizadas. Estas mismas estructuras se usarán para la elaboración de las curvas de fragilidad que se presentarán a lo largo de este estudio. Esto quiere decir que se consideró una separación entre ejes de columnas de 5 m una altura de pisos de 3 m como se indicó en la figura 1.6 del capítulo 1.

En la siguiente tabla se indica además de la geometría de vigas y columnas la carga por metro cuadrado que se usará para las distintas estructuras.

Tabla 2.2 Dimensiones de columnas, vigas y carga distribuida usadas

ESTRUCTURAS DE 1 PISO					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	30	30	40	20	500
ESTRUCTURAS DE 2 PISOS					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	40	40	40	20	550
2	40	40	40	20	550
ESTRUCTURAS DE 3 PISOS					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	50	50	40	30	600
2	50	50	40	30	600
3	45	45	40	30	550
ESTRUCTURAS DE 4 PISOS					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	55	55	40	40	650
2	55	55	40	40	650
3	50	50	40	30	550
4	50	50	40	30	550
ESTRUCTURAS DE 5 PISOS					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	60	60	40	50	700
2	60	60	40	50	700
3	55	55	40	30	650
4	55	55	40	30	650
5	50	50	40	30	600
ESTRUCTURAS DE 6 PISOS					
PISO	COLUMNAS		VIGAS		CARGA
	Base (cm.)	Atura (cm.)	Base (cm.)	Atura (cm.)	Kg./m ²
1	65	65	50	60	750
2	65	65	50	60	750
3	60	60	40	50	650
4	60	60	40	50	650
5	55	55	40	30	600
6	55	55	40	30	600

Una vez calculada las cargas por nodo usando la carga por metro cuadrado de la tabla anterior y multiplicando por el área cooperante de cada nudo en metros

cuadrados se tiene las cargas nodales; después sumando el peso de cada carga nodal se tiene la carga que soporta cada columna. A continuación se presentan las cargas totales que soporta cada columna en una estructura de 6 pisos expresadas en toneladas / fuerza.

	7,50 T	15,00 T	15,00 T	7,50 T
15,00 T		30,00 T	30,00 T	15,00 T
23,13 T		46,25 T	46,25 T	23,13 T
31,25 T		62,50 T	62,50 T	31,25 T
40,63 T		81,25 T	81,25 T	40,63 T
50,00 T		100,00 T	100,00 T	50,00 T

Figura 2.4: Cargas totales en toneladas para estructuras de 6 pisos

Es fundamental en la elaboración de las curvas de fragilidad elegir un adecuado parámetro sísmico, tradicionalmente se asocia la fuerza destructiva de un sismo con la aceleración máxima del suelo, sin embargo este parámetro muchas veces no resulta del todo fiable pues se ha visto casos en los que se ha presentado poco daño en las edificaciones ante la presencia de grandes aceleraciones del suelo, esto se debe a que factores como la mayor duración de la fase fuerte del movimiento puede tener mayor influencia en el daño que se presente en las edificaciones.

Se puede usar como indicadores de la intensidad sísmica otros parámetros como la velocidad y desplazamiento máximo del terreno, las características espectrales, la intensidad de Mercalli modificada etc.

Pese a lo indicado anteriormente por las circunstancias propias de nuestro país y porque en el Código Ecuatoriano de la Construcción esta definido así, se utilizará la aceleración máxima del suelo como indicador de la intensidad de acción sísmica

Para la generación de curvas de fragilidad debe usarse una gran cantidad de acelerogramas representativos que cubran gran información referente a la aceleración del suelo, como se indico anteriormente conseguir estos acelerogramas puede resultar muy difícil, es en estos casos que se utilizan los acelerogramas sintéticos para el intervalo en que varía la aceleración del suelo, los acelerogramas sintéticos pueden ser ubicados dentro de dos grandes grupos:

Acelerogramas compatibles con un espectro de respuesta, que a menudo se corresponde al espectro de la normativa y acelerogramas no compatibles con el espectro que se los desarrolla para la generación de historias temporales de aceleración.

Un trabajo sobre el desarrollo de este tipo de acelerogramas fue desarrollado en el CEINCI por Vallejo (2002), sin embargo para este estudio se usó acelerogramas reales de hace 30 años tomados de la Estación la Molina y Parque de Reserva del Perú proporcionados por el CISMID.

Por lo tanto, los 4 registros sísmicos usados para el presente estudio se los normalizó para cada una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador en función de los siguientes factores:

Tabla 2.3 Factores de amplificación de los acelerogramas usados en el estudio

DATOS		FACTOR DE AMPLIFICACIÓN ACELEROGRAMAS			
		ZONA I	ZONA II	ZONA III	ZONA IV
SISMO	A MAXIMA (gals)	147 gals	245 gals	294 gals	392 gals
0.4 A	116.785	1.259	2.098	2.517	3.357
0.6 A	104.818	1.402	2.337	2.805	3.740
0.7 A	192.489	0.764	1.273	1.527	2.036
0.7 B	178.951	0.821	1.369	1.643	2.191

2.3.1 Modelo de definición de daño

Para elaborar una curva de fragilidad es importante definir el parámetro indicador del daño para luego determinar el estado discreto de daño de las estructuras; por lo que se decidió escoger la deriva máxima de piso como parámetro indicador de daño estructural, además como se indicó anteriormente este parámetro se lo utiliza para controlar la respuesta de las estructuras en los códigos de diseño. El drift de un piso cualquiera i está definido por la siguiente expresión:

$$\delta_i = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{h_i} \quad (2.2)$$

El drift máximo es el mayor valor de todos los drifts de piso calculados con la expresión anterior se lo obtiene usando esta expresión:

$$\delta_{\max} = \max (\delta_i) \quad (2.3)$$

para $i = 1, 2, \dots, n$ siendo n el número de pisos

El drift global es el mayor desplazamiento dividido para la altura del edificio.

$$\delta_G = \frac{\max (\Delta)}{H} \quad (2.4)$$

El factor β_2 que anteriormente se indicó cuando se explicó la metodología de Miranda quedaría definido por la siguiente expresión:

$$\beta_2 = \frac{\delta_{\max}}{\delta_G} \quad (2.5)$$

En la figura 2.5 se ve la representación del drift de piso, que es el parámetro indicador del daño en estructuras de hormigón armado en este trabajo, usando el programa ETABS.

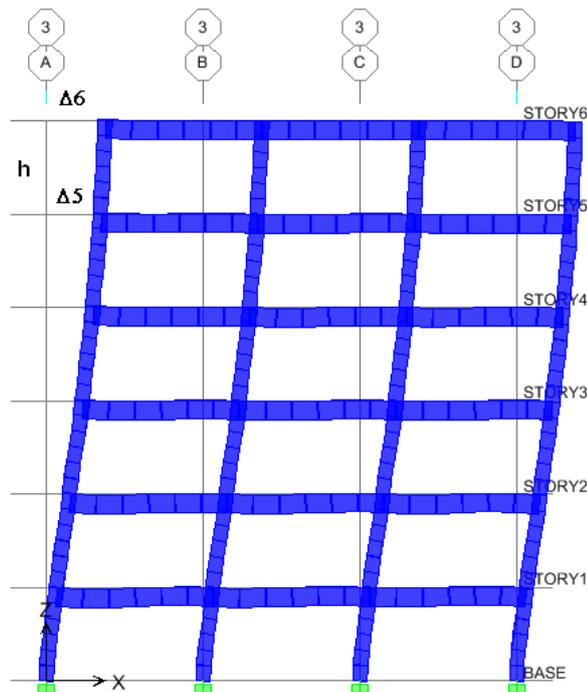


Figura 2.5: Representación del drift de piso usando el programa ETABS

El drift esta asociado con los siguientes efectos:

- Estabilidad de la estructura
- Daños a los elementos estructurales
- Alarmas y pánico entre las personas que ocupan el edificio
- Daño en las instalaciones eléctricas y mecánicas

2.3 .2 Estados discretos de daño

Una vez definido el parámetro indicador del daño es necesario determinar cualitativamente el daño que se presente en una estructura ante la presencia de un evento sísmico, normalmente es muy difícil diferenciar el tipo de daño que se presenta pues los estados límites de daño se los determina a partir de ensayos de laboratorios y de opinión de expertos.

Una curva de fragilidad se la construye en función del estado discreto de daño o en función de la aceleración del suelo para luego obtener el nivel de daño.

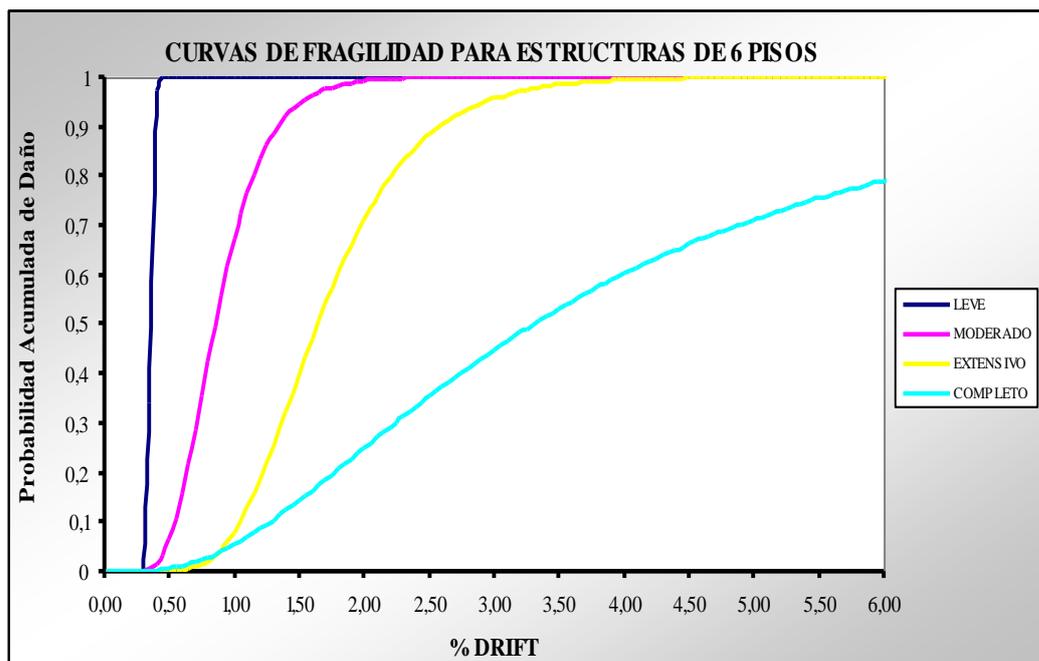
En el CEINCI, Aguiar y Bobadilla (2005) elaboraron curvas de fragilidad usando la clasificación del daño en función del drift que se muestra en la tabla siguiente propuesta por Ghobarah en 1997. Este estudio se lo realizó usando 9 acelerogramas de Colombia, con un total de 692 casos de análisis.

Tabla 2.4 Niveles de daño propuestos por Ghojarah et al (1997)

Distorsión de Piso	Daño	Descripción del daño	Desempeño
$\gamma < 0.002$	Sin daño	Sin daño	Sin daño
$0.002 \leq \gamma < 0.005$	Leve	Grietas ligeramente visibles.	Agrietamiento
$0.005 \leq \gamma < 0.011$	Moderado	Grietas menores de 1 mm.	Fluencia del acero
$0.011 \leq \gamma < 0.023$	Extensivo	Grietas entre 1 y 2 mm.	Inicio de mecanismo
$\gamma \geq 0.023$	Completo	Grietas mayores a 2 mm.	Mecanismo global.

Estos niveles de daño se describen con detenimiento en curvas de fragilidad y vulnerabilidad de las estructuras en Bobadilla (2006)

A continuación se indica una de las curvas obtenidas por Bobadilla en el CEINCI para un edificio de 6 pisos.

**Figura 2.6:** Curva de fragilidad de una estructura de 6 pisos obtenida por Bobadilla

El presente estudio se enfoca a obtener curvas de fragilidad por zona sísmica debido a que: “Los umbrales que permiten definir los estados discretos de daño para una estructura diseñada según las recomendaciones existentes en una región de alta sismicidad pueden ser mayores que los correspondientes a una zona de sismicidad moderada”, esto quiere decir que también es importante realizar curvas no en función

del daño sino en función de la aceleración de roca para luego obtener el tipo de daño partiendo como dato inicial del drift. Para realizar este tipo de evaluación es necesario usar una tabla como la siguiente:

Tabla 2.5 Estados de daño e intervalos de variación del factor de daño (ATC 1985)

Estado de Daño	Intervalo del Factor de Daño (%)	Factor de Daño Central (%)
Sin daño	0	0
Leve	0 - 1	0.5
Suave	1 - 10	5
Moderado	10 - 30	20
Fuerte	30 - 60	45
Mayor	60 - 100	80
Destrucción	100	100

El presente trabajo pretende establecer curvas de fragilidad en función de la aceleración de roca para posteriormente con el dato que se tenga de drift, obtener el tipo de daño según Ghobarah .

En la figura 2.7 se indica una de las curvas de fragilidad obtenidas en este estudio, para un edificio de 2 pisos de hormigón armado. Nótese que estas curvas se expresan en función de la aceleración de roca.

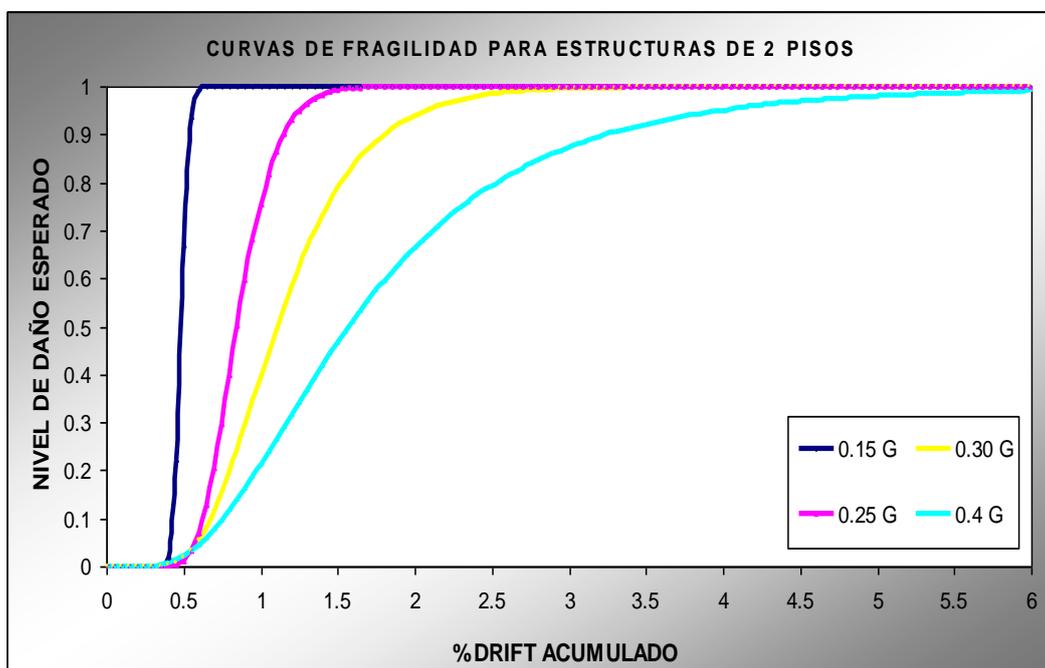


Figura 2.7 Funciones de distribución de probabilidad de no excedencia de una deriva de entre piso. Aplicación a un edificio de HA de 2 niveles

2.4 VALORES MEDIOS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

El presente estudio para la obtención de curvas de fragilidad es un método probabilista, por lo tanto es importante definir algunos términos en cuanto a estadística se refiere como lo son:

Población es el total de estructuras a analizar en este caso son las estructuras de 1 a 6 pisos ubicados dentro de una de las 4 zonas sísmicas del país

Muestra (N) es un subconjunto de la población la cual tiene que ser lo más representativa de la población. En este caso la muestra son las 72 estructuras que se analizaran es decir primeramente se analizaran edificios de 1 a 6 pisos con 12 casos distintos de armadura longitudinal luego se realizará una variación del refuerzo transversal agrupado en 3 casos, es decir la muestra total son 216 tipos de estructuras

La media es el promedio de los datos y la desviación estándar es una medida de cuanto se alejan estos datos con respecto al promedio se la calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{N - 1}} \quad (2.6)$$

La curva distribución normal o campana de gauss que indica la tendencia de distribución de los datos viene dado por la siguiente ecuación:

$$y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \quad (2.7)$$

La distribución logarítmica normal nos indica que el logaritmo de x tiene una distribución normal es decir:

$$y = Ln[x] \quad (2.8)$$

$$y \approx N(X_m, X_{de}) \quad (2.9)$$

La función de probabilidad de una distribución normal logarítmica viene dada por la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{x, y_{de} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Ln[x] - y_m}{y_{de}} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

Donde se definen:

$$y_m = Ln[X_m] - Ln\left[\sqrt{1 + C_x^2}\right] \quad (2.11)$$

$$y_{de} = \sqrt{Ln[1 + C_x^2]} \quad (2.12)$$

Entre y y x se pueden establecer las siguientes transformaciones

$$X_m = \exp\left[y_m + \frac{y_{de}^2}{2}\right] \quad (2.13)$$

$$X_{de} = \exp[2y_m + 2y_{de}^2] - \exp[2y_m + y_{de}^2] \quad (2.14)$$

2.4.1 Selección de Datos

Debido a que no se contaba con una gran cantidad de datos, es decir se contaba con una variación de 12 casos de armado longitudinal ante 4 eventos sísmicos por piso, se tenía 48 casos de análisis en total por cada piso esto hacía que cuando un valor se alejaba mucho del promedio la desviación estándar variará mucho lo que incidía considerablemente en la obtención de las curvas de fragilidad.

Para el desarrollo del presente capítulo se necesitó realizar un total de 288 corridas en IDARC que corresponden a un total de 48 casos en estructuras que varían de 1 a 6 pisos.

Por lo anteriormente indicado se necesitaba descartar aquellos valores de drift que se alejaran mucho de la media por lo que se necesitó establecer un intervalo de confianza de los datos, es decir se iban a considerar solo los datos que cumplan con la siguiente condición: $\bar{X} - 1 \geq X \leq \bar{X} + 1$

Siendo X un drift máximo de piso promedio obtenido con el IDARC

Para realizar la clasificación de los datos en función del nivel de confianza se elaboraron las siguientes tablas en la que se indica el drift obtenido con IDARC x 100, el drift máximo propuesto con la nueva metodología la relación entre drift propuesto y calculado (factor f) y la valoración del dato de Drift del IDARC en función del nivel de confianza.

Tabla 2.6 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de un piso.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	1	1.136350	0.011303	1.00539	VALIDO
	06aN	1	0.831657	0.006511	1.27723	VALIDO
	07aN	1	1.684413	0.009169	1.83716	VALIDO
	07bN	1	1.014337	0.006974	1.45440	VALIDO
2	04aN	1	1.109933	0.011303	0.98201	VALIDO
	06aN	1	0.928023	0.006511	1.42523	VALIDO
	07aN	1	1.426653	0.009169	1.55602	VALIDO
	07bN	1	1.083033	0.006974	1.55290	VALIDO
3	04aN	1	1.238147	0.011303	1.09545	VALIDO
	06aN	1	0.870027	0.006511	1.33616	VALIDO
	07aN	1	1.328830	0.009169	1.44933	VALIDO
	07bN	1	1.074777	0.006974	1.54106	VALIDO
4	04aN	1	1.223737	0.011303	1.08270	VALIDO
	06aN	1	0.893797	0.006511	1.37266	VALIDO
	07aN	1	1.343223	0.009169	1.46503	VALIDO
	07bN	1	1.030933	0.006974	1.47820	VALIDO
5	04aN	1	1.035380	0.011303	0.91605	VALIDO
	06aN	1	0.891237	0.006511	1.36873	VALIDO
	07aN	1	1.187857	0.009169	1.29557	VALIDO
	07bN	1	1.121987	0.006974	1.60876	VALIDO
6	04aN	1	0.867127	0.011303	0.76719	VALIDO
	06aN	1	0.905100	0.006511	1.39002	VALIDO
	07aN	1	1.297277	0.009169	1.41491	VALIDO
	07bN	1	1.121277	0.006974	1.60774	VALIDO
7	04aN	1	0.946960	0.011303	0.83782	VALIDO
	06aN	1	0.794610	0.006511	1.22033	VALIDO
	07aN	1	1.188440	0.009169	1.29621	VALIDO
	07bN	1	1.086010	0.006974	1.55717	VALIDO
8	04aN	1	0.893327	0.011303	0.79037	VALIDO
	06aN	1	0.806127	0.006511	1.23802	VALIDO
	07aN	1	1.012710	0.009169	1.10454	VALIDO
	07bN	1	1.022347	0.006974	1.46589	VALIDO
9	04aN	1	0.951250	0.011303	0.84162	VALIDO
	06aN	1	0.806647	0.006511	1.23882	VALIDO
	07aN	1	0.880893	0.009169	0.96077	VALIDO
	07bN	1	0.940200	0.006974	1.34810	VALIDO
10	04aN	1	1.111840	0.011303	0.98370	VALIDO
	06aN	1	0.936377	0.006511	1.43805	VALIDO
	07aN	1	0.781237	0.009169	0.85208	VALIDO
	07bN	1	0.894890	0.006974	1.28313	VALIDO
11	04aN	1	1.185063	0.011303	1.04848	VALIDO
	06aN	1	1.015267	0.006511	1.55921	VALIDO
	07aN	1	0.808623	0.009169	0.88195	VALIDO
	07bN	1	0.915047	0.006974	1.31204	VALIDO
12	04aN	1	1.138817	0.011303	1.00757	VALIDO
	06aN	1	0.990920	0.006511	1.52182	VALIDO
	07aN	1	0.850007	0.009169	0.92709	VALIDO
	07bN	1	0.905813	0.006974	1.29880	VALIDO

Tabla 2.7 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de dos pisos.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	2	2.755573	0.016097	1.71187	VALIDO
	06aN	2	1.535753	0.012526	1.22602	VALIDO
	07aN	2	1.789047	0.010116	1.76857	VALIDO
	07bN	2	0.976263	0.011963	0.81609	VALIDO
2	04aN	2	2.657907	0.016097	1.65120	VALIDO
	06aN	2	1.526183	0.012526	1.21838	VALIDO
	07aN	2	1.962997	0.010116	1.94053	VALIDO
	07bN	2	0.945717	0.011963	0.79056	VALIDO
3	04aN	2	2.509387	0.016097	1.55893	VALIDO
	06aN	2	1.740317	0.012526	1.38932	VALIDO
	07aN	2	1.287420	0.010116	1.27268	VALIDO
	07bN	2	1.008243	0.011963	0.84283	VALIDO
4	04aN	2	2.601187	0.016097	1.61596	VALIDO
	06aN	2	1.473837	0.012526	1.17659	VALIDO
	07aN	2	1.286590	0.010116	1.27186	VALIDO
	07bN	2	0.923693	0.011963	0.77215	VALIDO
5	04aN	2	2.914843	0.016097	1.81082	NO CONSIDERAR
	06aN	2	1.958227	0.012526	1.56328	VALIDO
	07aN	2	2.347093	0.010116	2.32023	VALIDO
	07bN	2	1.106270	0.011963	0.92477	VALIDO
6	04aN	2	3.110577	0.016097	1.93242	NO CONSIDERAR
	06aN	2	1.431457	0.012526	1.14275	VALIDO
	07aN	2	1.898230	0.010116	1.87650	VALIDO
	07bN	2	1.020323	0.011963	0.85293	VALIDO
7	04aN	2	2.730813	0.016097	1.69649	VALIDO
	06aN	2	1.211527	0.012526	0.96718	VALIDO
	07aN	2	1.694417	0.010116	1.67502	VALIDO
	07bN	2	0.968720	0.011963	0.80979	VALIDO
8	04aN	2	2.843557	0.016097	1.76653	NO CONSIDERAR
	06aN	2	1.311950	0.012526	1.04735	VALIDO
	07aN	2	1.901407	0.010116	1.87964	VALIDO
	07bN	2	0.890720	0.011963	0.74459	VALIDO
9	04aN	2	5.204603	0.016097	3.23331	NO CONSIDERAR
	06aN	2	2.813743	0.012526	2.24625	NO CONSIDERAR
	07aN	2	2.189163	0.010116	2.16411	VALIDO
	07bN	2	1.121113	0.011963	0.93718	VALIDO
10	04aN	2	2.318703	0.016097	1.44047	VALIDO
	06aN	2	1.162383	0.012526	0.92795	VALIDO
	07aN	2	1.867710	0.010116	1.84633	VALIDO
	07bN	2	1.013087	0.011963	0.84688	VALIDO
11	04aN	2	1.418367	0.016097	0.88115	VALIDO
	06aN	2	1.111423	0.012526	0.88727	VALIDO
	07aN	2	2.006347	0.010116	1.98338	VALIDO
	07bN	2	0.965910	0.011963	0.80744	VALIDO
12	04aN	2	1.304283	0.016097	0.81027	VALIDO
	06aN	2	1.112490	0.012526	0.88812	VALIDO
	07aN	2	1.671107	0.010116	1.65198	VALIDO
	07bN	2	0.988570	0.011963	0.82638	VALIDO

Tabla 2.8 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de tres pisos.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/ PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	3	1.809267	0.007545	2.39811	VALIDO
	06aN	3	1.076830	0.006287	1.71270	VALIDO
	07aN	3	1.050483	0.005069	2.07220	VALIDO
	07bN	3	0.770650	0.005449	1.41417	VALIDO
2	04aN	3	0.927207	0.007545	1.22897	VALIDO
	06aN	3	0.736623	0.006287	1.17160	VALIDO
	07aN	3	1.105897	0.005069	2.18150	VALIDO
	07bN	3	0.821173	0.005449	1.50689	VALIDO
3	04aN	3	0.813433	0.007545	1.07817	VALIDO
	06aN	3	0.845487	0.006287	1.34475	VALIDO
	07aN	3	0.928430	0.005069	1.83143	VALIDO
	07bN	3	0.736380	0.005449	1.35129	VALIDO
4	04aN	3	1.632467	0.007545	2.16377	VALIDO
	06aN	3	1.688250	0.006287	2.68516	VALIDO
	07aN	3	1.858583	0.005069	3.66626	VALIDO
	07bN	3	1.386000	0.005449	2.54337	VALIDO
5	04aN	3	1.035447	0.007545	1.37244	VALIDO
	06aN	3	0.841660	0.006287	1.33866	VALIDO
	07aN	3	0.974437	0.005069	1.92218	VALIDO
	07bN	3	0.784703	0.005449	1.43996	VALIDO
6	04aN	3	0.868097	0.007545	1.15063	VALIDO
	06aN	3	0.791990	0.006287	1.25966	VALIDO
	07aN	3	0.959900	0.005069	1.89351	VALIDO
	07bN	3	0.693567	0.005449	1.27272	VALIDO
7	04aN	3	0.789543	0.007545	1.04651	VALIDO
	06aN	3	0.597347	0.006287	0.95008	VALIDO
	07aN	3	0.790487	0.005069	1.55932	VALIDO
	07bN	3	0.652313	0.005449	1.19702	VALIDO
8	04aN	3	0.793067	0.007545	1.05118	VALIDO
	06aN	3	0.655663	0.006287	1.04283	VALIDO
	07aN	3	0.813347	0.005069	1.60442	VALIDO
	07bN	3	0.670550	0.005449	1.23049	VALIDO
9	04aN	3	1.006190	0.007545	1.33366	VALIDO
	06aN	3	0.909113	0.006287	1.44594	VALIDO
	07aN	3	1.006597	0.005069	1.98562	VALIDO
	07bN	3	0.788700	0.005449	1.44730	VALIDO
10	04aN	3	0.825663	0.007545	1.09438	VALIDO
	06aN	3	0.718633	0.006287	1.14299	VALIDO
	07aN	3	0.858463	0.005069	1.69341	VALIDO
	07bN	3	0.673867	0.005449	1.23657	VALIDO
11	04aN	3	0.748217	0.007545	0.99173	VALIDO
	06aN	3	0.563210	0.006287	0.89578	VALIDO
	07aN	3	0.784797	0.005069	1.54810	VALIDO
	07bN	3	0.616327	0.005449	1.13098	VALIDO
12	04aN	3	0.780940	0.007545	1.03510	VALIDO
	06aN	3	0.585460	0.006287	0.93117	VALIDO
	07aN	3	0.810977	0.005069	1.59974	VALIDO
	07bN	3	0.648870	0.005449	1.19070	VALIDO

Tabla 2.9 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de cuatro pisos.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	4	1.381083	0.006221	2.22014	VALIDO
	06aN	4	0.914933	0.004460	2.05156	VALIDO
	07aN	4	0.806153	0.003290	2.45053	VALIDO
	07bN	4	0.697340	0.004222	1.65155	VALIDO
2	04aN	4	0.899747	0.006221	1.44637	VALIDO
	06aN	4	0.649630	0.004460	1.45667	VALIDO
	07aN	4	0.860270	0.003290	2.61503	VALIDO
	07bN	4	0.597223	0.004222	1.41443	VALIDO
3	04aN	4	0.830397	0.006221	1.33489	VALIDO
	06aN	4	0.664523	0.004460	1.49006	VALIDO
	07aN	4	0.952523	0.003290	2.89546	VALIDO
	07bN	4	0.533610	0.004222	1.26378	VALIDO
4	04aN	4	0.755030	0.006221	1.21374	VALIDO
	06aN	4	0.512377	0.004460	1.14890	VALIDO
	07aN	4	0.709393	0.003290	2.15640	VALIDO
	07bN	4	0.600493	0.004222	1.42218	VALIDO
5	04aN	4	1.269980	0.006221	2.04153	VALIDO
	06aN	4	0.931193	0.004460	2.08802	VALIDO
	07aN	4	0.835907	0.003290	2.54097	VALIDO
	07bN	4	0.738430	0.004222	1.74886	VALIDO
6	04aN	4	0.896383	0.006221	1.44097	VALIDO
	06aN	4	0.694297	0.004460	1.55682	VALIDO
	07aN	4	0.844940	0.003290	2.56843	VALIDO
	07bN	4	0.599613	0.004222	1.42009	VALIDO
7	04aN	4	0.791880	0.006221	1.27297	VALIDO
	06aN	4	0.683347	0.004460	1.53227	VALIDO
	07aN	4	0.825083	0.003290	2.50807	VALIDO
	07bN	4	0.599813	0.004222	1.42057	VALIDO
8	04aN	4	0.712467	0.006221	1.14531	VALIDO
	06aN	4	0.541103	0.004460	1.21332	VALIDO
	07aN	4	0.681117	0.003290	2.07045	VALIDO
	07bN	4	0.606823	0.004222	1.43717	VALIDO
9	04aN	4	1.455740	0.006221	2.34015	VALIDO
	06aN	4	0.928753	0.004460	2.08255	VALIDO
	07aN	4	0.810423	0.003290	2.46351	VALIDO
	07bN	4	0.738237	0.004222	1.74840	VALIDO
10	04aN	4	1.455740	0.006221	2.34015	VALIDO
	06aN	4	0.717133	0.004460	1.60803	VALIDO
	07aN	4	1.008647	0.003290	3.06607	VALIDO
	07bN	4	0.587297	0.004222	1.39092	VALIDO
11	04aN	4	0.746470	0.006221	1.19997	VALIDO
	06aN	4	0.651290	0.004460	1.46039	VALIDO
	07aN	4	0.877173	0.003290	2.66642	VALIDO
	07bN	4	0.621683	0.004222	1.47236	VALIDO
12	04aN	4	0.668617	0.006221	1.07482	VALIDO
	06aN	4	0.543817	0.004460	1.21940	VALIDO
	07aN	4	0.651540	0.003290	1.98054	VALIDO
	07bN	4	0.605373	0.004222	1.43374	VALIDO

Tabla 2.10 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de cinco pisos.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	5	1.309643	0.003888	3.36814	VALIDO
	06aN	5	1.029920	0.004564	2.25662	VALIDO
	07aN	5	0.888450	0.005429	1.63639	VALIDO
	07bN	5	0.560583	0.003709	1.51128	VALIDO
2	04aN	5	1.317317	0.003888	3.38787	VALIDO
	06aN	5	1.013647	0.004564	2.22096	VALIDO
	07aN	5	0.699953	0.005429	1.28921	VALIDO
	07bN	5	0.627473	0.003709	1.69161	VALIDO
3	04aN	5	1.507027	0.003888	3.87577	VALIDO
	06aN	5	0.905563	0.004564	1.98414	VALIDO
	07aN	5	0.712727	0.005429	1.31273	VALIDO
	07bN	5	0.581080	0.003709	1.56653	VALIDO
4	04aN	5	1.017177	0.003888	2.61597	VALIDO
	06aN	5	0.813560	0.004564	1.78256	VALIDO
	07aN	5	0.668693	0.005429	1.23163	VALIDO
	07bN	5	0.674797	0.003709	1.81919	VALIDO
5	04aN	5	1.261367	0.003888	3.24398	VALIDO
	06aN	5	1.026843	0.004564	2.24988	VALIDO
	07aN	5	0.989483	0.005429	1.82248	VALIDO
	07bN	5	0.574757	0.003709	1.54949	VALIDO
6	04aN	5	1.261367	0.003888	3.24398	VALIDO
	06aN	5	0.921910	0.004564	2.01996	VALIDO
	07aN	5	0.647910	0.005429	1.19335	VALIDO
	07bN	5	0.640010	0.003709	1.72540	VALIDO
7	04aN	5	1.037060	0.003888	2.66711	VALIDO
	06aN	5	0.797960	0.004564	1.74838	VALIDO
	07aN	5	0.684983	0.005429	1.26163	VALIDO
	07bN	5	0.638253	0.003709	1.72067	VALIDO
8	04aN	5	0.925707	0.003888	2.38073	VALIDO
	06aN	5	0.727783	0.004564	1.59462	VALIDO
	07aN	5	0.800513	0.005429	1.47442	VALIDO
	07bN	5	0.635717	0.003709	1.71383	VALIDO
9	04aN	5	1.167163	0.003888	3.00171	VALIDO
	06aN	5	1.022823	0.004564	2.24107	VALIDO
	07aN	5	0.941140	0.005429	1.73344	VALIDO
	07bN	5	0.568227	0.003709	1.53188	VALIDO
10	04aN	5	1.219973	0.003888	3.13752	VALIDO
	06aN	5	0.864703	0.004564	1.89462	VALIDO
	07aN	5	0.643787	0.005429	1.18576	VALIDO
	07bN	5	0.649413	0.003709	1.75075	VALIDO
11	04aN	5	0.977913	0.003888	2.51499	VALIDO
	06aN	5	0.752607	0.004564	1.64901	VALIDO
	07aN	5	0.685040	0.005429	1.26174	VALIDO
	07bN	5	0.653483	0.003709	1.76173	VALIDO
12	04aN	5	0.833083	0.003888	2.14252	VALIDO
	06aN	5	0.678187	0.004564	1.48595	VALIDO
	07aN	5	0.947363	0.005429	1.74490	VALIDO
	07bN	5	0.618297	0.003709	1.66687	VALIDO

Tabla 2.11 Clasificación de los valores de drift obtenidos con IDARC en función del nivel de confianza para estructuras de seis pisos.

Caso	Sismo	PISO	DRIFT IDARC X 100	DRIFT MAX PROPUESTO	IDARC/PROPUESTO	VALORACIÓN
1	04aN	6	1.730403	0.005719	3.02554	VALIDO
	06aN	6	0.984357	0.004477	2.19853	VALIDO
	07aN	6	0.789843	0.003327	2.37403	VALIDO
	07bN	6	0.788163	0.004229	1.86380	VALIDO
2	04aN	6	0.814263	0.005719	1.42370	VALIDO
	06aN	6	0.712490	0.004477	1.59132	VALIDO
	07aN	6	1.407860	0.003327	4.23159	VALIDO
	07bN	6	0.684090	0.004229	1.61769	VALIDO
3	04aN	6	0.843117	0.005719	1.47415	VALIDO
	06aN	6	0.739577	0.004477	1.65182	VALIDO
	07aN	6	1.102183	0.003327	3.31282	VALIDO
	07bN	6	0.601230	0.004229	1.42175	VALIDO
4	04aN	6	0.694100	0.005719	1.21360	VALIDO
	06aN	6	0.666350	0.004477	1.48827	VALIDO
	07aN	6	0.735413	0.003327	2.21043	VALIDO
	07bN	6	0.569327	0.004229	1.34631	VALIDO
5	04aN	6	1.253667	0.005719	2.19198	VALIDO
	06aN	6	0.942870	0.004477	2.10587	VALIDO
	07aN	6	0.838330	0.003327	2.51976	VALIDO
	07bN	6	0.778787	0.004229	1.84162	VALIDO
6	04aN	6	0.783523	0.005719	1.36996	VALIDO
	06aN	6	0.725780	0.004477	1.62101	VALIDO
	07aN	6	1.092520	0.003327	3.28378	VALIDO
	07bN	6	0.671913	0.004229	1.58890	VALIDO
7	04aN	6	0.802823	0.005719	1.40370	VALIDO
	06aN	6	0.681347	0.004477	1.52177	VALIDO
	07aN	6	0.971703	0.003327	2.92064	VALIDO
	07bN	6	0.583717	0.004229	1.38033	VALIDO
8	04aN	6	0.661673	0.005719	1.15691	VALIDO
	06aN	6	0.609653	0.004477	1.36164	VALIDO
	07aN	6	0.751030	0.003327	2.25736	VALIDO
	07bN	6	0.513620	0.004229	1.21457	VALIDO
9	04aN	6	1.392757	0.005719	2.43518	VALIDO
	06aN	6	0.944070	0.004477	2.10855	VALIDO
	07aN	6	0.854953	0.003327	2.56973	VALIDO
	07bN	6	0.733543	0.004229	1.73464	VALIDO
10	04aN	6	0.758857	0.005719	1.32683	VALIDO
	06aN	6	0.677473	0.004477	1.51312	VALIDO
	07aN	6	0.974723	0.003327	2.92972	VALIDO
	07bN	6	0.612780	0.004229	1.44906	VALIDO
11	04aN	6	0.768553	0.005719	1.34378	VALIDO
	06aN	6	0.650847	0.004477	1.45365	VALIDO
	07aN	6	0.883610	0.003327	2.65586	VALIDO
	07bN	6	0.556313	0.004229	1.31553	VALIDO
12	04aN	6	0.651520	0.005719	1.13916	VALIDO
	06aN	6	0.583560	0.004477	1.30336	VALIDO
	07aN	6	0.762930	0.003327	2.29313	VALIDO
	07bN	6	0.531800	0.004229	1.25757	VALIDO

Con los valores de las anteriores tablas se elaboró una nueva tabla de resultados como la que se muestra a continuación en la que se indican los valores máximos, medios y

desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal de 8mm en vigas y columnas sin nivel de confianza.

Tabla 2.12 Valores máximos, medios y desviación estándar sin nivel de confianza.

PISO 1						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC x 100	LINEAL x B6	IDARC x 100	LINEAL x B6	IDARC x 100	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	1.069	0.011	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	0.889	0.006	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	1.149	0.009	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	1.017	0.006	0.084	0.000000
TOTALES	1.684	0.011	1.031	0.008	0.186	0.001930
PISO 2						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	2.697	0.016	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	1.532	0.012	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	1.825	0.010	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	0.994	0.011	0.084	0.000000
TOTALES	5.204	0.016	1.762	0.012	0.827	0.002190
PISO 3						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	1.002	0.007	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	0.834	0.006	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	0.995	0.005	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	0.770	0.005	0.084	0.000000
TOTALES	1.858	0.007	0.900	0.006	0.301	0.000960
PISO 4						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	0.988	0.006	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	0.702	0.004	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	0.821	0.003	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	0.627	0.004	0.084	0.000000
TOTALES	1.455	0.006	0.785	0.004	0.223	0.001071
PISO 5						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	1.152	0.003	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	0.879	0.004	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	0.775	0.005	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	0.618	0.003	0.084	0.000000
TOTALES	1.507	0.005	0.856	0.004	0.236	0.000683
PISO 6						
SISMO	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		DESVIACION ESTANDAR	
	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC X 100	LINEAL x B6	IDARC	LINEAL x B6
04aN	1.238	0.011	0.929	0.005	0.128	0.000000
06aN	1.015	0.006	0.743	0.004	0.071	0.000000
07aN	1.684	0.009	0.930	0.003	0.284	0.000000
07bN	1.121	0.006	0.635	0.004	0.084	0.000000
TOTALES	1.730	0.005	0.809	0.004	0.242	0.000864

Sin embargo después de desechar los datos no validos es decir aquellos que están fuera del nivel de confianza se indican los resultados por piso en la tabla 2.13 en la

que se muestran los valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal de 8mm en vigas y columnas con nivel de confianza.

Se puede observar que los resultados son los mismos que se encuentran en la tabla anterior salvo el caso de la estructuras de 2 pisos en la que se elimino 5 datos por no considerarlos representativos.

Tabla 2.13 Valores medios y desviación estándar con nivel de confianza.

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA IV CASO 1						
ESTRUCTURAS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
PROMEDIO DEL DRIFT	1.031	1.574	0.901	0.785	0.857	0.810
DESVIACION ESTANDAR	0.186	0.565	0.302	0.223	0.236	0.247
LN MEDIA	0.031	0.454	-0.105	-0.242	-0.155	-0.211

2.4.2 Descripción de Programas creados para la elaboración de curvas de fragilidad

Para elaborar el presente estudio se elaboraron tres pequeños programas un macro de Excel llamado procesos sismos y dos programas en lenguaje Visual C#.Net 1.0 llamados IDARC ANALYZER 1 y 2

2.4.2.1 Descripción del Macro Procesos Sismos

Este macro permite normalizar sismos tanto para IDARC como para LINEAL para su uso se pide los siguientes datos dt, duración del registro, aceleración máxima, aceleración de la zona sísmica y número de puntos del acelerograma.

Para usarlo primero se pega el acelerograma en la worksheet entrada casilla C1 se ingresan los datos que se mencionaron en el párrafo anterior.

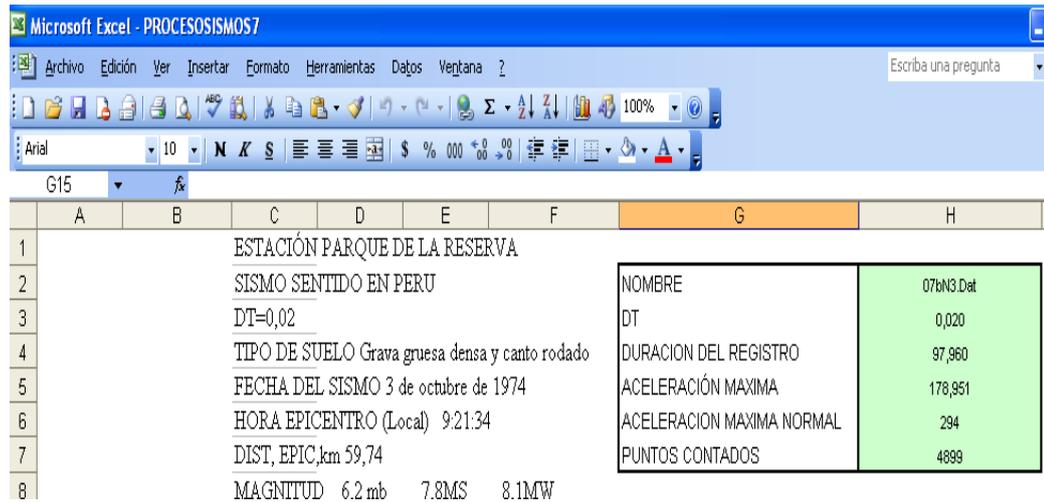


Figura 2.8 Pantalla de entrada de la hoja procesos sismos

Por último se da un click en los botones factor, aceleración, normalizado y selección en ese orden, cuando termina el proceso se guarda el sismo normalizado como archivo. Dat si se quiere usarlo posteriormente con el IDARC.

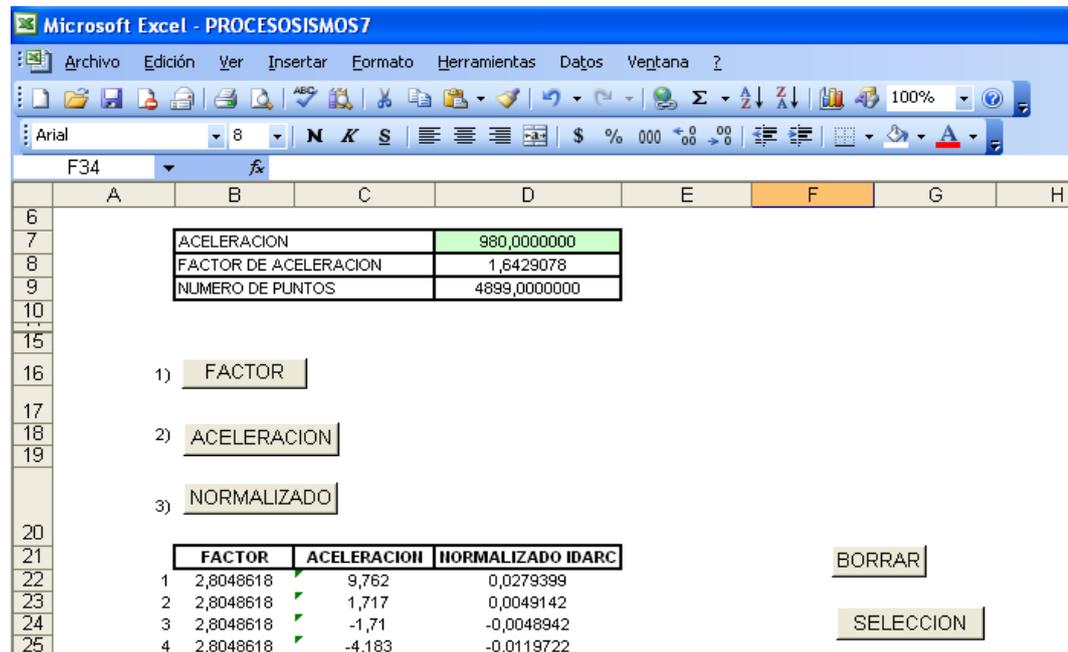


Figura 2.9 Pantalla de salida de la hoja procesos sismos.

Se indica por último los códigos de fuente para elaborar este macro:

```

Sub Valoresx()
Dim x As Integer
F = Worksheets("PROCESOS").Cells(8, 4)
L = Worksheets("PROCESOS").Cells(9, 4)
For x = 1 To L Step 1
    Worksheets("PROCESOS").Cells(21 + x, 2) = F
Next x
End Sub

```

```

Sub ValoresN()
Dim N As Integer
S = Worksheets("ENTRADA").Cells(12, 3)
T = Worksheets("PROCESOS").Cells(9, 4)
For N = 1 To T Step 1
    Worksheets("PROCESOS").Cells(21 + N, 3) = Worksheets("ENTRADA").Cells(11 + N, 3)
Next N
End Sub

```

```

Sub multiplicar()
Dim Q As Integer
A = Worksheets("PROCESOS").Cells(22, 2)
B = Worksheets("PROCESOS").Cells(22, 3)
C = Worksheets("PROCESOS").Cells(9, 4)
D = Worksheets("PROCESOS").Cells(7, 4)
For Q = 0 To C Step 1
    Worksheets("PROCESOS").Cells(22+Q,4) =Worksheets("PROCESOS").Cells(22+Q,2) *
    Worksheets("PROCESOS").Cells(22 + Q, 3) / D
Next Q
End Sub

```

2.4.2.2 Descripción del Idarc Analyzer 1

El programa IDARC ANALYZER 1 es un programa en lenguaje Visual C#.Net 1.0 creado por el Ingeniero Daniel Riofrío, su función es leer los datos de archivos en formato txt (archivos guardados como block de notas) que se obtienen luego de realizar las corridas con el programa IDARC V4 y generar una hoja electrónica de Excel con estos datos, es decir el programa se encarga de leer los archivos de forma masiva para generar una hoja electrónica de Excel.

Debido a que en un inicio este programa fue creado exclusivamente para la obtención de curvas de fragilidad el IDARC ANALYZER 1 arroja los siguientes datos:

Nombre del sismo

Numero del piso

Fuerza Cortante

Porcentaje de deriva

Deriva de Piso

Desplazamiento

Velocidad

Aceleración

2.4.2.2.1 Modo de usar el Idarc Analyzer

Para usarlo lo único que se necesita es ordenar los archivos que se tengan de las corridas de IDARC de la siguiente manera:

1) Se crea una carpeta general como las que se ve en la figura por ejemplo 0.15 G es una carpeta que contiene a todas las 288 corridas para sismos normalizados a 0.15 G en el caso 1 (Estribos en columnas y vigas de 8 mm)

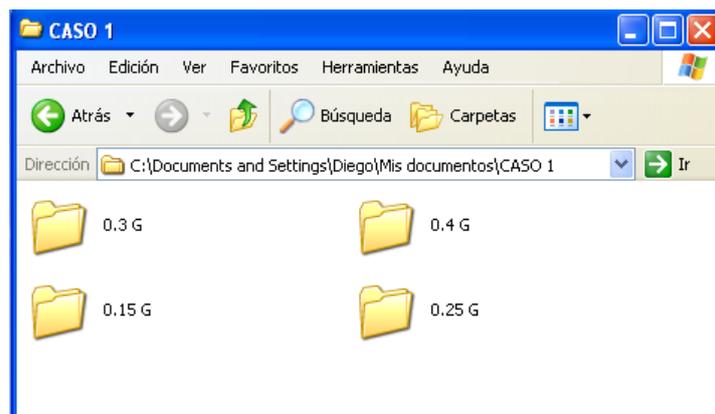


Figura 2.10 Carpetas generales correspondientes al caso 1 para todas las zonas

2) En la carpeta general se crea subcarpetas que indican el número de pisos de estructuras analizadas para el ejemplo la carpeta 0.15 G contenía 6 subcarpetas que indican el número de pisos

IDARC ANALYZER 1 no tiene restricciones en lo referente al número de subcarpetas (pisos) pues generara tantas worksheets dentro de un archivo de EXCEL como subcarpetas existan .

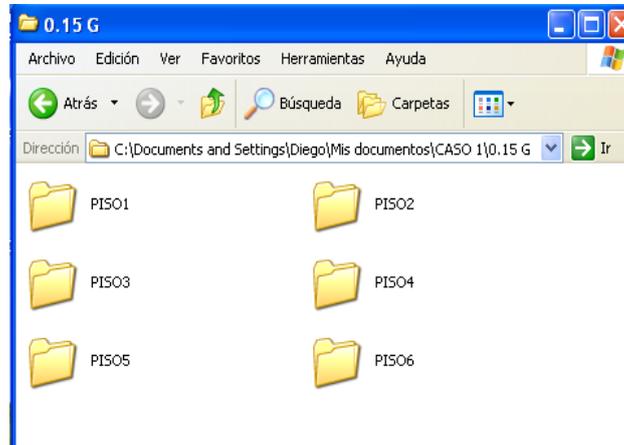


Figura 2.11 Subcarpetas que contienen el número de pisos

3) En la subcarpeta (PISOS) se crea dentro de ellas otras subcarpetas que indican el número de casos que se quiere analizar para el ejemplo la subcarpeta 0.15 G contenía 12 subcarpetas que indican el número de casos la misma cantidad de subcarpetas tenían las subcarpetas piso 2, piso 3, piso 4, piso 5, y piso 6.

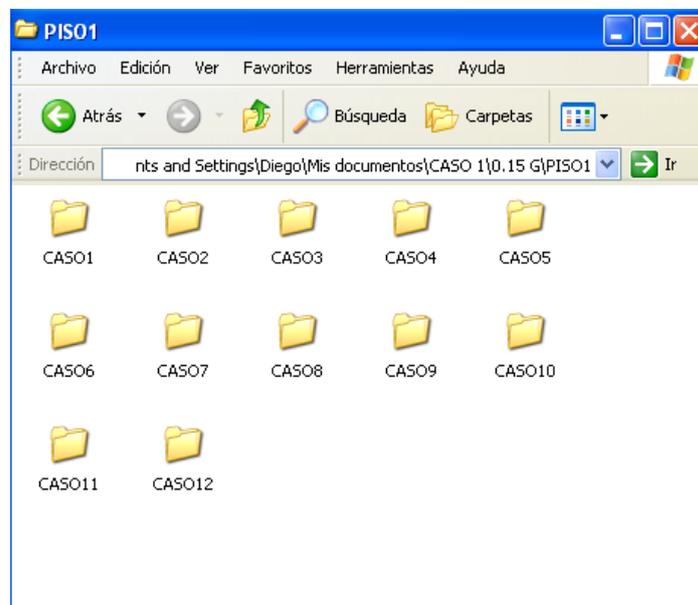


Figura 2.12 Subcarpetas “Casos” dentro de la carpetas “Pisos”

IDARC ANALYZER 1 tampoco tiene restricciones en lo referente al número de subcarpetas (Casos) pues ubicará dentro de cada worksheet (PISOS) la siguiente

información: nombre del sismo, número del piso, fuerza cortante, porcentaje de deriva, deriva de piso, desplazamiento, velocidad, aceleración para cada caso.

4) Dentro de las subcarpetas (CASOS) se coloca los archivos txt que se guardaron de las corridas del IDARC cada archivo representa un sismo y se crean tantos archivos como sismos se quieran analizar

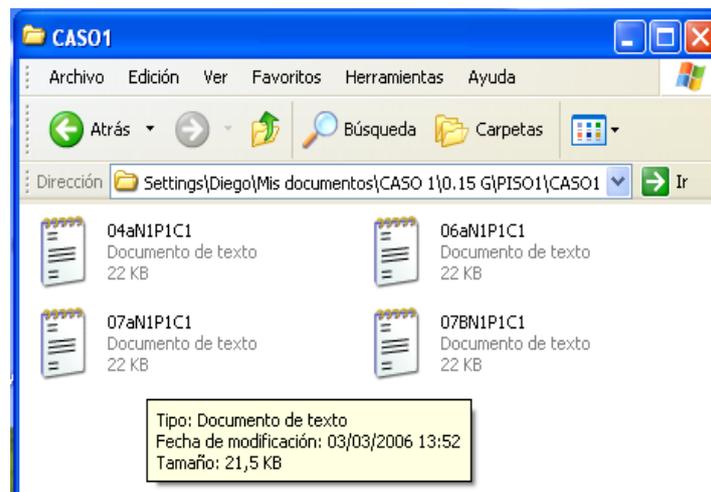


Figura 2.13 Sismos guardados en las subcarpetas “Casos”

5) Una vez que se tiene la información ordenada dentro de las carpetas y subcarpetas indicadas anteriormente se da enter en el acceso directo del IDARC ANALYZER 1, luego de esto se genera una ventana como la que se indica en la figura 2.14, se da un click o enter en el botón superior derecho indicado por la flecha llamado botón de origen

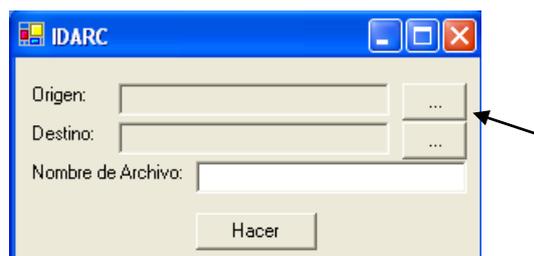


Figura 2.14 Ventana de uso del Idarc Analyzer 1 Botón Origen

6) Se busca el origen o la carpeta general que se desea analizar, posteriormente se pone aceptar.

7) Una vez que se tiene el origen se genera una nueva ventana como la que se indica en la figura, se da un click o enter en el botón inferior derecho indicado por la flecha llamado botón de destino.

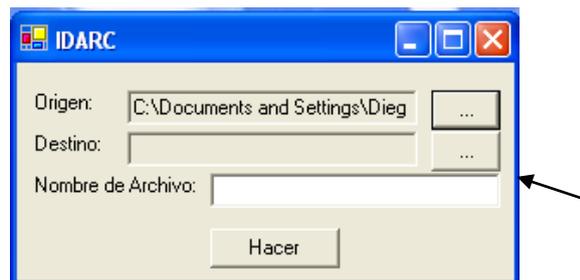


Figura 2.15 Ventana de uso del Idarc Analyzer 1 Botón Destino

8) Se busca el destino donde se guardara el archivo de Excel creado por el IDARC ANALYZER, posteriormente se pone aceptar

9) Se le da un nombre al archivo de salida y automáticamente se empezara a generar un archivo de Excel en función de los datos ordenados en las carpetas, se da un Enter en el botón HACER.

10) Se esperan varios segundos hasta que se salga una ventana como la de la figura 2.16 que nos indica que el archivo se generó exitosamente y se encuentra en el destino que nosotros escogimos

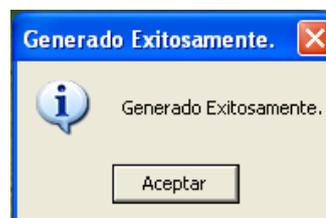


Figura 2.16 Ventana de Respuesta

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	SISMO	STORY	SHEAR	DRIFT RATIO	STORY DRIF	DISPLACEMENT	VELOCITY	ACCELERATION	STORY VELOCITY	DRIFT
1	CASO1									
2	04AN	6	198,33	0,34	103,202	343,241	3,427,248	44,009,751	143,63720	
4		5	308,85	0,3	89,157	240,881	2,523,306	26,706,022	111,99180	
5		4	365,21	0,2	60,367	153,538	1,724,655	29,075,027	63,77050	
6		3	398,12	0,15	45,393	97,952	1,144,691	31,954,828	51,21250	
7		2	458,44	0,11	32,256	54,711	769,311	30,972,903	42,23900	
8		1	522,2	0,07	22,455	22,455	350,246	22,998,385	35,02460	
9	06AN	6	167,95	0,29	85,637	279,270	3,092,576	36,838,901	122,83230	
10		5	266,72	0,25	74,415	195,672	2,138,321	25,045,869	97,82760	
11		4	313,51	0,17	50,657	124,100	1,597,718	24,002,640	58,57330	
12		3	323,67	0,12	36,988	76,692	1,099,572	19,854,569	51,81360	
13		2	369,27	0,08	24,868	43,023	692,420	25,369,729	40,72980	
14		1	430,98	0,06	18,155	18,155	292,370	20,486,237	29,23700	
15	07AN	6	222,93	0,36	108,868	338,919	3,618,544	49,670,245	169,07790	
16		5	307,01	0,3	89,246	230,153	2,528,537	30,253,928	124,60460	
17		4	374,3	0,2	58,614	158,281	2,043,778	30,248,157	68,55900	
18		3	438,84	0,16	47,799	102,511	1,416,108	24,861,967	65,78880	
19		2	494,51	0,11	33,693	56,922	843,959	21,260,148	48,83720	
20		1	540,96	0,08	23,335	23,335	359,575	16,818,644	35,95750	
21	07BN	6	148,78	0,24	72,654	217,311	2,583,736	32,972,683	103,31710	
22		5	219,67	0,2	60,926	158,257	1,740,049	21,320,953	74,01220	
23		4	248,71	0,13	38,507	109,793	1,271,154	22,625,112	51,59960	
24		3	314,43	0,11	33,371	72,250	875,645	16,694,008	42,55670	
25		2	337,22	0,08	23,608	38,880	575,452	18,364,449	33,16680	
26		1	340,25	0,05	15,272	15,272	243,785	14,537,999	24,37850	
27	CASO10									
28	04AN	6	232,19	0,3	90,645	272,296	3,232,171	51,793,977	145,92560	
29		5	289,4	0,24	71,011	189,081	2,142,207	25,050,467	108,63280	
30		4	337,38	0,16	46,731	122,816	1,506,185	26,248,608	55,73730	
31		3	388,24	0,12	35,889	78,252	1,004,819	27,602,037	44,48400	
32		2	435,66	0,09	25,925	43,052	568,721	24,297,111	33,88520	
33		1	477,84	0,06	17,239	17,239	251,917	18,146,435	25,19170	

Figura 2.17 Archivo autogenerado por el Idarc Analyzer 1

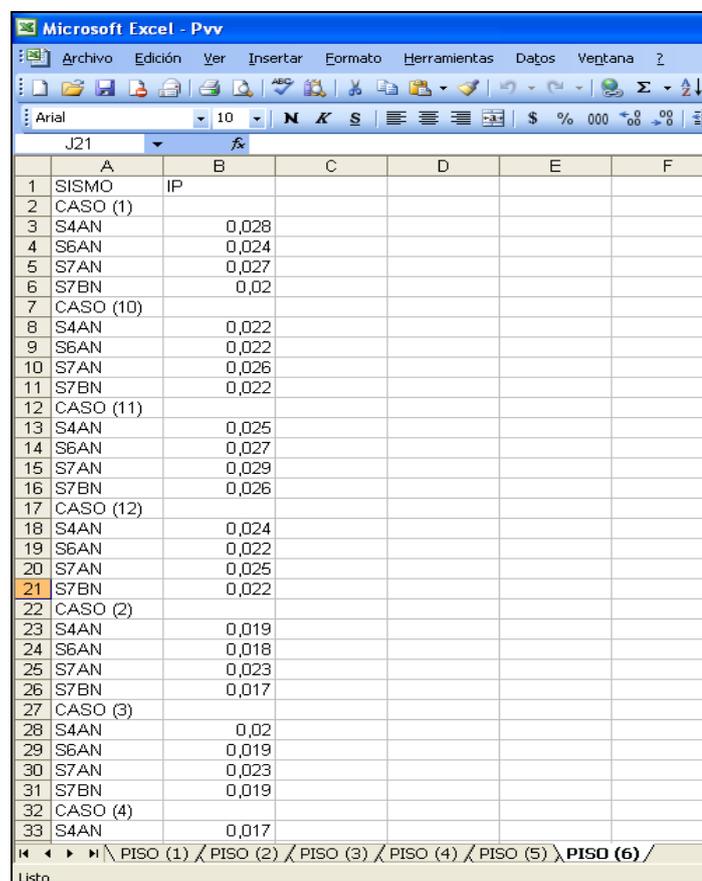
Se abre los resultados del archivo autogenerado como se puede ver en la figura superior. El IDARC ANALYZER leyó los archivos de datos ordenados como se indicó anteriormente y los copio en un archivo de EXCEL con la siguiente información nombre del sismo; numero del piso, fuerza Cortante, porcentaje de deriva, deriva de Piso, desplazamiento, velocidad, aceleración para cada caso.

La información referente al nombre del sismo el IDARC ANALYZER tomó los 4 primeros caracteres del archivo .txt y los colocó en las celdas de EXCEL en la primera columna, leyó también el nombre de las subcarpetas casos y separó toda la información por casos, finalmente se puede ver que generó tantas worksheets como subcarpetas pisos existían porque el nombre que IDARC ANALYZER coloca en las worksheets viene en función del nombre de las subcarpetas pisos.

2.4.2.3 Descripción del Idarc Analyzer 2

Al igual que el programa IDARC ANALYZER 1 es un programa en lenguaje Visual C#.Net 1.0 creado por el Ingeniero Daniel Riofrío, su función es leer los datos de archivos en formato txt y generar una hoja electrónica de EXCEL, pero a diferencia del IDARC ANALYZER 1 los datos de salida que se obtienen con este programa son los de índice de daño global en la estructura.

Para usarlo se sigue exactamente los mismos pasos que se indicaron para el IDARC ANALYZER 1 ya que su funcionamiento es parecido al anterior programa teniendo un archivo de salida como el que se muestra en la siguiente figura:



	A	B	C	D	E	F
1	SISMO	IP				
2	CASO (1)					
3	S4AN	0,028				
4	S6AN	0,024				
5	S7AN	0,027				
6	S7BN	0,02				
7	CASO (10)					
8	S4AN	0,022				
9	S6AN	0,022				
10	S7AN	0,026				
11	S7BN	0,022				
12	CASO (11)					
13	S4AN	0,025				
14	S6AN	0,027				
15	S7AN	0,029				
16	S7BN	0,026				
17	CASO (12)					
18	S4AN	0,024				
19	S6AN	0,022				
20	S7AN	0,025				
21	S7BN	0,022				
22	CASO (2)					
23	S4AN	0,019				
24	S6AN	0,018				
25	S7AN	0,023				
26	S7BN	0,017				
27	CASO (3)					
28	S4AN	0,02				
29	S6AN	0,019				
30	S7AN	0,023				
31	S7BN	0,019				
32	CASO (4)					
33	S4AN	0,017				

Figura 2.18 Archivo autogenerated por el Idarc Analyzer 2

Los programas descritos en verdad son muy útiles y ahorran mucho tiempo pues evita estar copiando los datos de manera manual lo que permitirá realizar mayor número de corridas para futuras investigaciones y queda en manos del CEINCI en donde seguramente le sabrán dar un buen uso.

2.4.3 Metodología de Trabajo

Es muy importante indicar la metodología de trabajo que se utilizó para este estudio pues en los 3 siguientes capítulos únicamente se presentarán los resultados obtenidos siguiendo esta metodología, la misma que se resume en los siguientes pasos:

- 1) Se obtuvieron los sismos de análisis los que posteriormente fueron normalizados mediante el macro proceso sismos.
- 2) Se crearon archivos de datos partiendo de las características de las estructuras de análisis ya descritas en este capítulo.
- 3) Se corrió estos datos en IDARC para generar archivos de salida.
- 4) Se ordeno los archivos de salida de tal manera que puedan ser leídos por el IDARC ANALYZER 1.
- 5) Se ejecutó el IDARC ANALYZER 1 para generar hojas de EXCEL.
- 6) Se copió los datos de los archivos autogenerador por el IDARC ANALYZER 1 a una hoja electrónica de EXCEL, la misma que permitía obtener los drifts de piso, los drifts máximos, clasificarlos en función del nivel de confianza, obtener la media y desviación estándar.
- 7) Con los datos de media y desviación estándar se hizo una distribución log normal.
- 8) Se obtuvieron curvas de fragilidad para cada tipo de estructura variando el número de pisos, el refuerzo transversal, y la zona sísmica.

2.4.3.1 Ejemplo de la obtención de una curva de fragilidad

La manera más fácil de indicar la metodología a seguir es dando un ejemplo por lo que a continuación se presenta la manera en que se obtuvieron las curvas de fragilidad para estructuras de un piso partiendo de los datos obtenidos con el programa IDARC se elaboró una tabla como la siguiente:

Tabla 2.14 Valores de Desplazamiento y Drift obtenido para estructuras de un piso.

CASO 1						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	34,0905	0,0114	0,011	0,0114	1,0000
06aN	1	24,9497	0,0083	0,008	0,00832	1,0000
07aN	1	50,5324	0,0168	0,017	0,01684	1,0000
07bN	1	30,4301	0,0101	0,010	0,01014	1,0000
CASO 2						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2

		(cm)				
04aN	1	33,2980	0,0111	0,011	0,01110	1,0000
06aN	1	27,8407	0,0093	0,009	0,00928	1,0000
07aN	1	42,7996	0,0143	0,014	0,01427	1,0000
07bN	1	32,4910	0,0108	0,011	0,01083	1,0000
CASO 3						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	37,1444	0,0124	0,012	0,01238	1,0000
06aN	1	26,1008	0,0087	0,009	0,00870	1,0000
07aN	1	39,8649	0,0133	0,013	0,01329	1,0000
07bN	1	32,2433	0,0107	0,011	0,01075	1,0000
CASO 4						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	36,7121	0,0122	0,012	0,01224	1,0000
06aN	1	26,8139	0,0089	0,009	0,00894	1,0000
07aN	1	40,2967	0,0134	0,013	0,01343	1,0000
07bN	1	30,9280	0,0103	0,010	0,01031	1,0000
CASO 5						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	31,0614	0,0104	0,010	0,01035	1,0000
06aN	1	26,7371	0,0089	0,009	0,00891	1,0000
07aN	1	35,6357	0,0119	0,012	0,01188	1,0000
07bN	1	33,6596	0,0112	0,011	0,01122	1,0000
CASO 6						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	26,0138	0,0087	0,009	0,00867	1,0000
06aN	1	27,1530	0,0091	0,009	0,00905	1,0000
07aN	1	38,9183	0,0130	0,013	0,01297	1,0000
07bN	1	33,6383	0,0112	0,011	0,01121	1,0000
CASO 7						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	28,4088	0,0095	0,009	0,00947	1,0000
06aN	1	23,8383	0,0079	0,008	0,00795	1,0000
07aN	1	35,6532	0,0119	0,012	0,01188	1,0000
07bN	1	32,5803	0,0109	0,011	0,01086	1,0000
CASO 8						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	26,7998	0,0089	0,009	0,00893	1,0000
06aN	1	24,1838	0,0081	0,008	0,00806	1,0000
07aN	1	30,3813	0,0101	0,010	0,01013	1,0000
07bN	1	30,6704	0,0102	0,010	0,01022	1,0000
CASO 9						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	28,5375	0,0095	0,010	0,00951	1,0000
06aN	1	24,1994	0,0081	0,008	0,00807	1,0000
07aN	1	26,4268	0,0088	0,009	0,00881	1,0000
07bN	1	28,2060	0,0094	0,009	0,00940	1,0000
CASO 10						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	33,3552	0,0111	0,011	0,01112	1,0000
06aN	1	28,0913	0,0094	0,009	0,00936	1,0000
07aN	1	23,4371	0,0078	0,008	0,00781	1,0000
07bN	1	26,8467	0,0089	0,009	0,00895	1,0000
CASO 11						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	35,5519	0,0119	0,012	0,01185	1,0000
06aN	1	30,4580	0,0102	0,010	0,01015	1,0000
07aN	1	24,2587	0,0081	0,008	0,00809	1,0000
07bN	1	27,4514	0,0092	0,009	0,00915	1,0000
CASO 12						
SISMO	PISO	DESPLAZAMIENTO (cm)	DRIFT (piso)	DRIFT MAX.	DRIFT (global)	β_2
04aN	1	34,1645	0,0114	0,011	0,01139	1,0000
06aN	1	29,7276	0,0099	0,010	0,00991	1,0000
07aN	1	25,5002	0,0085	0,009	0,00850	1,0000

07bN	1	27,1744	0,0091	0,009	0,00906	1,0000
------	---	---------	--------	-------	---------	--------

Con los valores de la tabla anterior se elabora una nueva tabla en función del nivel de confianza (Tabla 2.6)

Se obtiene un drift medio y una desviación estándar con datos seleccionados que para el caso de esta estructura era:

Drift medio: 1.031 %

Desviación estándar: 0.186

Con estos datos se plantea la siguiente ecuación particular para el piso 1 partiendo de la ecuación de Gauss

$$y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} = \frac{48}{0.186\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2 \times 0.186^2}} \quad (2.23)$$

Con la ecuación anterior se puede graficar en EXCEL la distribución normal de la variación del drift obtenido con el IDARC. Se tiene entonces la siguiente gráfica en la que claramente se ve que el pico más alto de la campana corresponde al valor de 1.03 que es igual al promedio

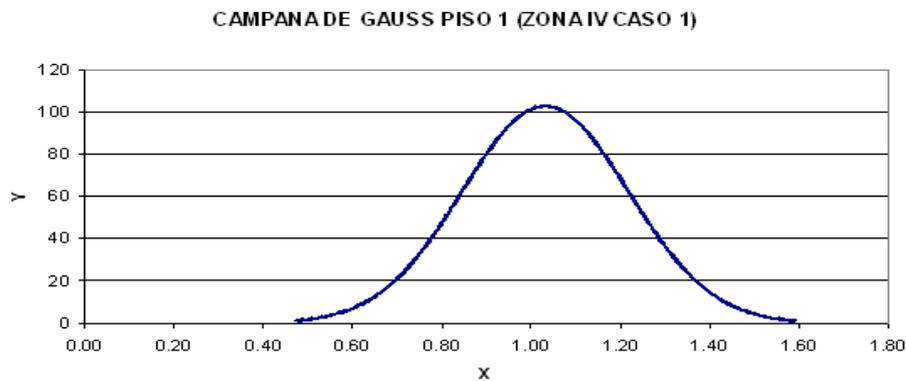


Figura 2.19 Distribución Normal de la variación del drift obtenido con el IDARC para estructuras de un piso en la zona sísmica IV.

Se asume que $y = Ln[x]$ y se vuelve a aplicar la distribución normal se tiene entonces la siguiente gráfica de distribución logarítmica normal en función del drift, es esta la curva de fragilidad para una estructura de un piso en la zona de mayor aceleración con un estribo de 8 mm en vigas y columnas.

DISTRIBUCION LOGARITMICA NORMAL PISO 1 ZONA IV CASO 1

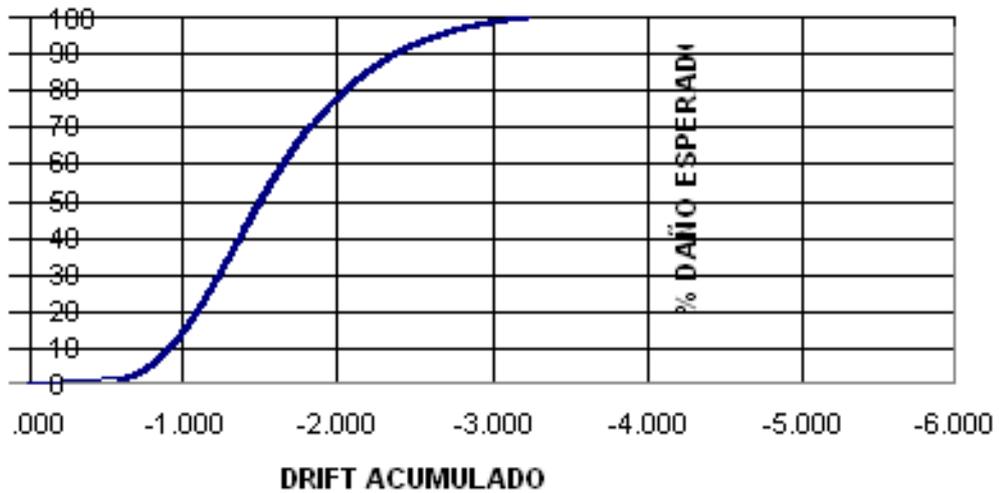


Figura 2.20 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

2.5 CURVAS DE FRAGILIDAD POR PISO.

En los siguientes capítulos se presentará tablas como la 2.13 para el resto de estructuras, pues se pretende en este estudio indicar los resultados obtenidos para cada corrida así como la media y la desviación estándar después de realizar todas las corridas así también como los valores de daño de las estructuras con una variación de 0.05 del drift partiendo de la tabla 2.13 mediante una distribución Log normal.

Tabla 2.15 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 1

DRIFT	PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA					
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.05	1.52189E-59	5.29086E-10	4.49469E-22	2.92136E-35	1.16218E-33	1.0456E-29
0.10	3.13318E-36	5.45111E-07	1.56051E-13	1.3472E-20	4.56502E-20	1.3789E-17
0.15	2.33388E-25	1.60814E-05	1.38788E-09	6.11664E-14	7.84003E-14	4.64904E-12
0.20	7.03865E-19	0.00013171	3.01527E-07	4.51752E-10	3.57771E-10	7.84776E-09
0.25	1.47884E-14	0.000568485	1.068E-05	1.47953E-07	9.07462E-08	1.00935E-06

0.30	1.7667E-11	0.001684914	0.000133433	8.18698E-06	4.39399E-06	2.98035E-05
0.35	3.40034E-09	0.003916112	0.000861433	0.000147963	7.4709E-05	0.000348086
0.40	1.89024E-07	0.007694763	0.0035576	0.001260958	0.000626823	0.002177908
0.45	4.33243E-06	0.013387174	0.010702185	0.006331633	0.003191333	0.008775891
0.50	5.15772E-05	0.021256064	0.025508012	0.021632169	0.011270365	0.025651577
0.55	0.000373211	0.031448103	0.050998605	0.055443813	0.03023242	0.058959675
0.60	0.001834373	0.043999105	0.089042818	0.114206499	0.065674778	0.112803505
0.65	0.006641665	0.058849518	0.139801862	0.19880056	0.121054044	0.187239339
0.70	0.018824031	0.07586437	0.201737884	0.30364219	0.196052437	0.278107107
0.75	0.043755019	0.09485383	0.272053588	0.418822523	0.286531257	0.37846512
0.80	0.086506928	0.115592084	0.347318206	0.533546322	0.385848275	0.480632893
0.85	0.149757385	0.137833434	0.424063622	0.638986	0.486699506	0.577913623
0.90	0.232403707	0.161325277	0.499225357	0.729660127	0.582690853	0.665553584
0.95	0.329602897	0.185818053	0.570392293	0.803440408	0.669239931	0.740950504
1.00	0.434101385	0.211072495	0.635887624	0.860759468	0.743797659	0.803356951
1.05	0.538121761	0.236864602	0.694729469	0.903591146	0.805594908	0.853358513
1.10	0.635018107	0.262988761	0.746522213	0.934563815	0.855163609	0.892334976
1.15	0.720239493	0.289259434	0.791320189	0.956347472	0.893827106	0.922017535
1.20	0.791542662	0.315511745	0.829492111	0.971311636	0.923271582	0.944178965
1.25	0.848659191	0.341601274	0.861602404	0.981387516	0.945239784	0.960448247
1.30	0.892114676	0.367009069	0.887942755	0.987974772	0.961132937	0.972068307
1.35	0.925068985	0.392381101	0.909989265	0.992349831	0.972802829	0.980516169
1.40	0.948958681	0.417273445	0.928016316	0.995172187	0.9811258	0.986496559
1.45	0.965835454	0.441612883	0.942652531	0.996974011	0.986995398	0.990692653
1.50	0.977489241	0.465340284	0.954463199	0.998114214	0.991094945	0.993614604
1.55	0.985375943	0.488409103	0.963943628	0.998830393	0.993934497	0.995636288
1.60	0.990618997	0.510783936	0.971519077	0.999277439	0.995887318	0.997027523
1.65	0.994050005	0.532439157	0.977548756	0.999555043	0.997222134	0.997980567
1.70	0.996264076	0.553357649	0.982332077	0.999726691	0.998129781	0.998630967
1.75	0.997675271	0.573529641	0.98611588	0.999832455	0.998744243	0.999073445
1.80	0.998564929	0.592951653	0.989101813	0.999897441	0.999158678	0.999373707
1.85	0.999120383	0.61162554	0.991453343	0.999937285	0.999437333	0.999577049
1.90	0.999464217	0.629557649	0.993302132	0.999961673	0.999624214	0.99971454
1.95	0.99967545	0.646758059	0.994753644	0.999976584	0.999749285	0.999807394
2.00	0.999804357	0.663239917	0.99589197	0.999985693	0.999832851	0.999870052
2.05	0.999882564	0.679018856	0.996783894	0.999991255	0.999888614	0.999912311
2.10	0.999929769	0.694112485	0.997482281	0.999994652	0.999925788	0.999940806
2.15	0.999958133	0.708539945	0.99802886	0.999996727	0.999950556	0.999960019
2.20	0.99997511	0.722321533	0.998456493	0.999997995	0.99996705	0.999972977
2.25	0.999985237	0.73547837	0.998791009	0.99999877	0.999978033	0.99998172
2.30	0.999991261	0.748032121	0.999052674	0.999999245	0.999985348	0.999987623
2.35	0.999994835	0.760004763	0.999257371	0.999999536	0.99999022	0.99999161
2.40	0.999996951	0.771418379	0.999417533	0.999999714	0.999993466	0.999994306
2.45	0.999998202	0.782294994	0.999542886	0.999999823	0.999995631	0.999996131
2.50	0.999998941	0.792656435	0.999641031	0.999999891	0.999997076	0.999997368
2.55	0.999999376	0.802524216	0.999717909	0.999999932	0.999998041	0.999998206
2.60	0.999999633	0.811919446	0.999778159	0.999999958	0.999998685	0.999998776
2.65	0.999999784	0.820862755	0.999825405	0.999999974	0.999999117	0.999999164
2.70	0.999999873	0.829374235	0.999862477	0.999999984	0.999999406	0.999999428
2.75	0.999999925	0.837473397	0.999891586	0.99999999	0.9999996	0.999999608
2.80	0.999999956	0.845179133	0.999914459	0.999999994	0.99999973	0.999999731
2.85	0.999999974	0.852509701	0.999932446	0.999999996	0.999999818	0.999999815
2.90	0.999999985	0.859482703	0.999946602	0.999999998	0.999999877	0.999999872
2.95	0.999999991	0.866115081	0.999957751	0.999999998	0.999999916	0.999999912
3.00	0.999999995	0.872423116	0.999966541	0.999999999	0.999999943	0.999999939

2.6 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS.

Con los valores de la tabla 2.15 se elaboraron las siguientes curvas de fragilidad para estructuras de hormigón armado de 1 a 6 pisos todas ellas con un

refuerzo transversal de de 8 mm en vigas y en columnas en la zona de mayor peligrosidad sísmica.

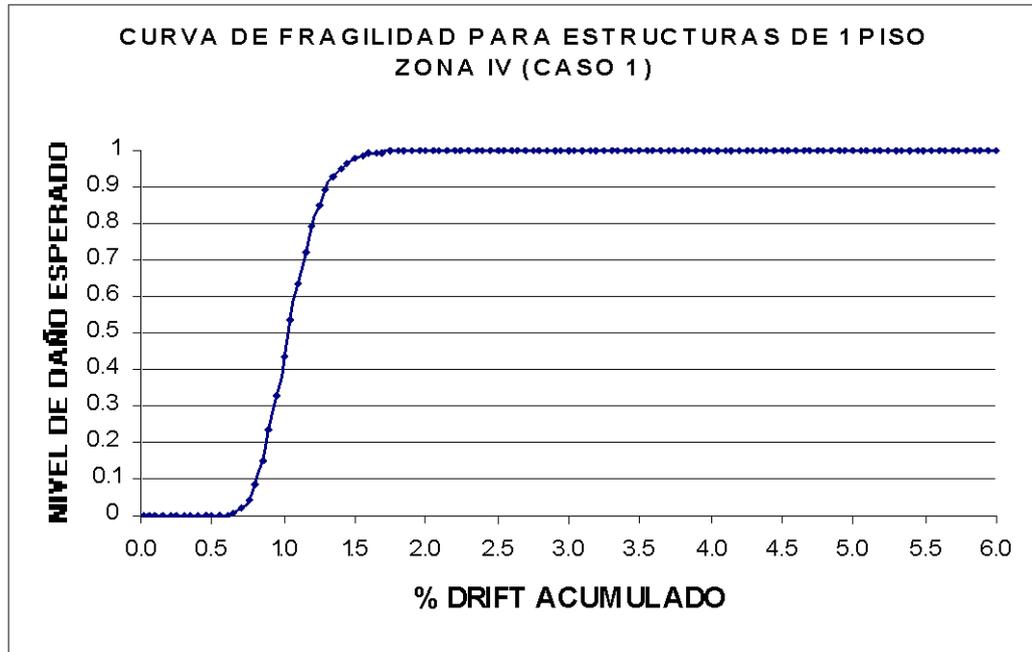


Figura 2.21 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

En la figura 2.22 se aprecia una curva de fragilidad para estructuras de dos pisos de hormigón armado en la zona de mayor peligrosidad sísmica.

Nótese que a diferencia de la curva de fragilidad presentada en la figura 2.21 para estructuras de un piso, esta curva presenta una pendiente menor, es decir tiene una mayor probabilidad de alcanzar el daño extensivo que según Ghobarah se da cuando el drift está comprendido entre: $0.011 \leq \gamma < 0.023$.

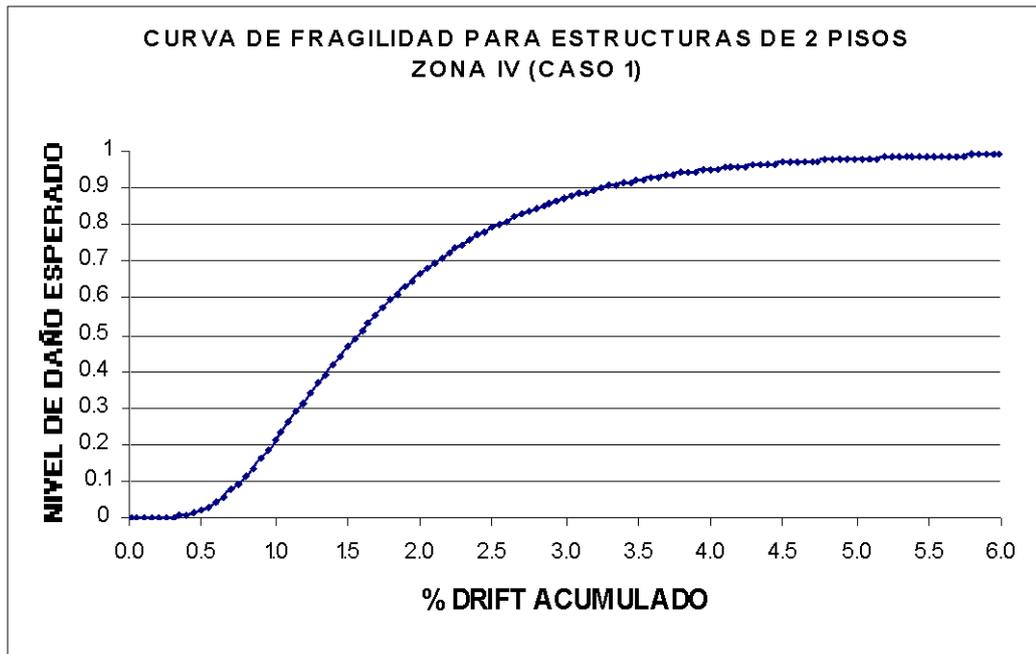


Figura 2.22 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

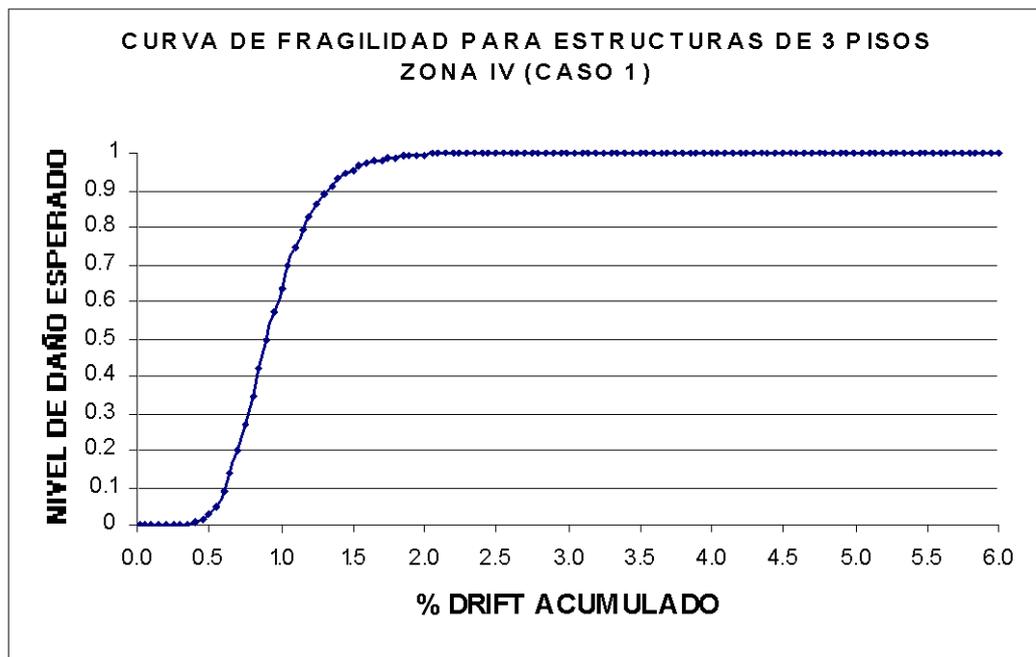


Figura 2.23 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

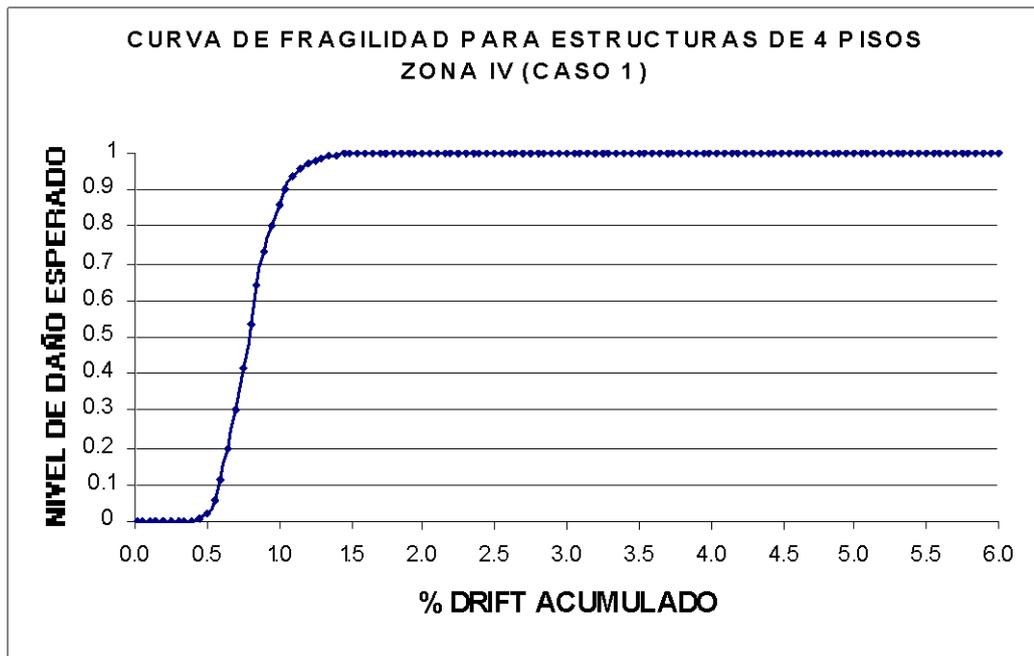


Figura 2.24 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

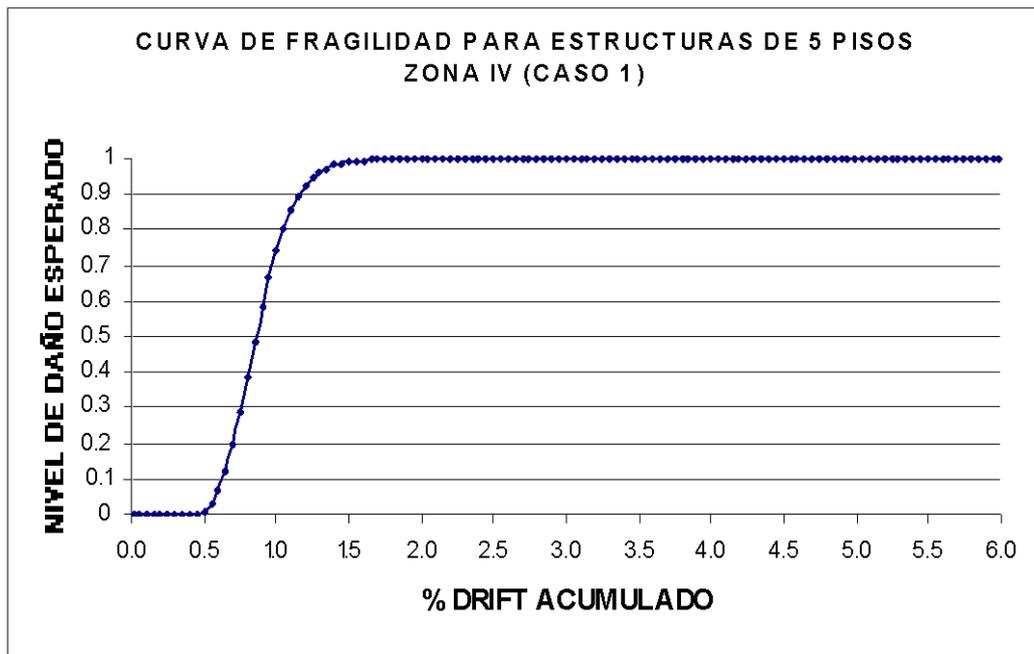


Figura 2.25 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

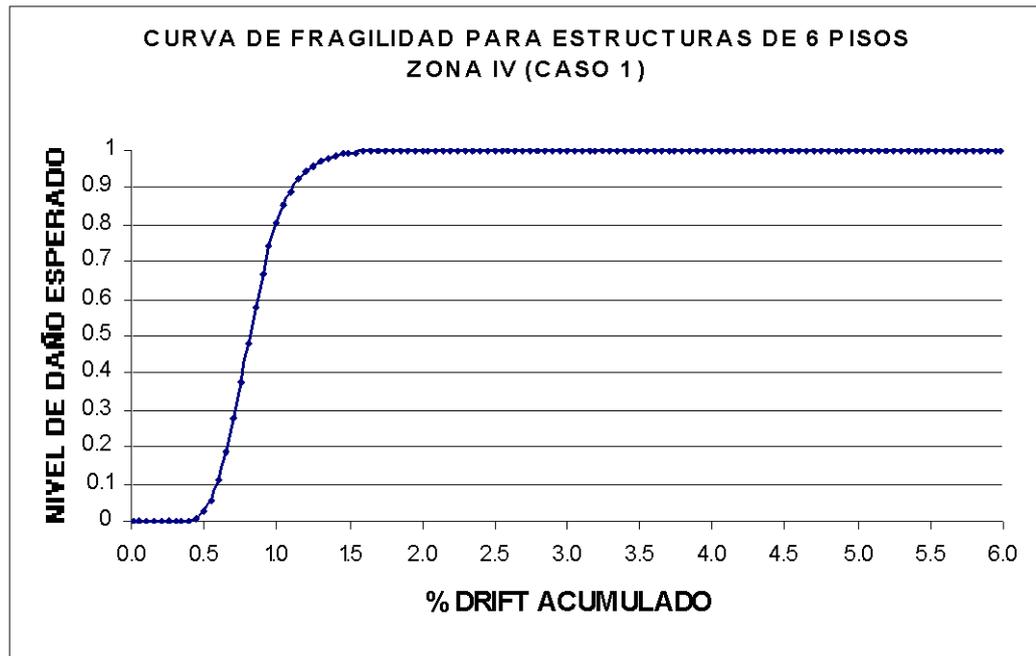


Figura 2.26 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

Se ha presentado las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona de mayor peligrosidad sísmica, como se puede observar en las gráficas anteriores para todas las estructuras a excepción de las de 2 pisos, la variación total de la probabilidad de excedencia se da entre valores del drift comprendidos entre el 0.5 y el 1.5 %

Por otra parte en la figura 2.27 muestra todas las curvas obtenidas en este capítulo, se puede apreciar que la curva de fragilidad de estructuras de 2 pisos, muestra una pendiente diferente, esto indica que este tipo de estructura tiene mayor probabilidad de alcanzar estados de daños más severos.

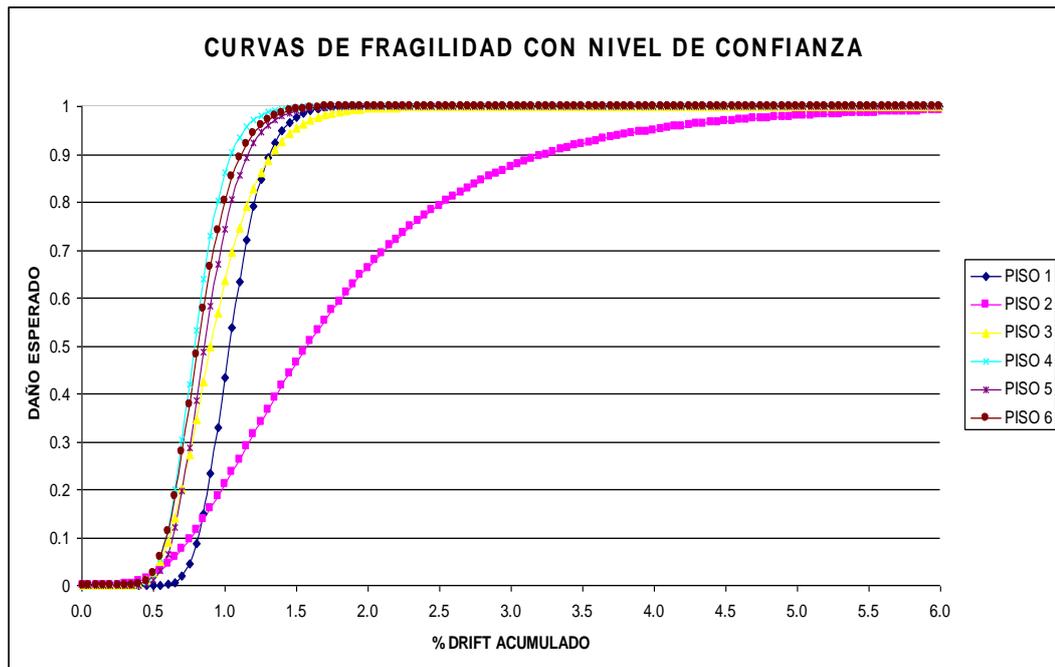


Figura 2.27 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

2.7 CURVAS DE FRAGILIDAD PROMEDIO PARA ESTRUCTURAS DE 1-6 PISOS.

La figura 2.28 muestra la curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

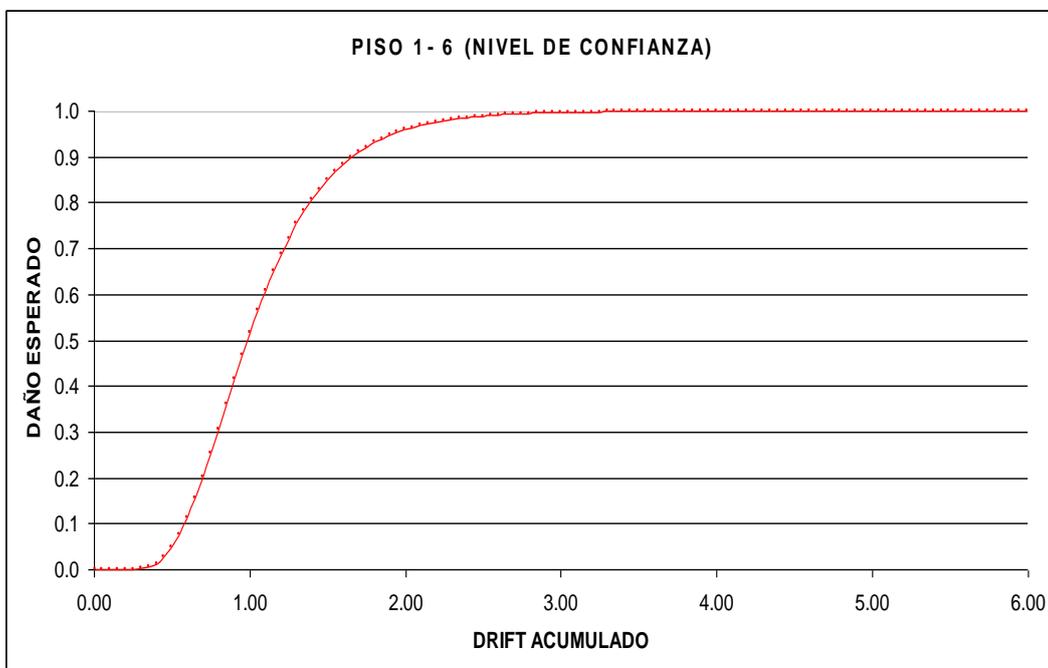


Figura 2.28 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos

CAPÍTULO III

INFLUENCIA DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN LAS CURVAS DE FRAGILIDAD

RESUMEN

Se presenta una breve descripción del uso del estribo en elementos estructurales de Hormigón Armado. Se establece los tipos de variación a estudiar en función del refuerzo transversal, una vez que se tiene distintos tipos de casos en función del estribo se determinan los valores medios obtenidos luego de realizar un análisis dinámico no lineal mediante el programa IDARC para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador.

Posteriormente se hallan las curvas de fragilidad con los datos medios obtenidos luego de usar el IDARC para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV, finalmente se comparan estas curvas en función de los casos determinados por variación del refuerzo transversal.

3.1 IMPORTANCIA DEL USO DEL REFUERZO TRANSVERSAL

Cuando un miembro estructural soporta momentos flectores variables a lo largo de su eje longitudinal, sus diferentes secciones sufren deslizamientos relativos. Para resistir estos deslizamientos se crean esfuerzos tangenciales de corte que transforman el estado monoaxial de esfuerzos en flexión por un estado biaxial o plano

En los elementos de Hormigón Armado sometidos a esfuerzos cortantes se hacen presentes esfuerzos de tracción diagonales los cuales pueden producir una falla prematura del elemento con una carga inferior a la que originaría una falla por flexión. Mientras que las grietas por tracción debidas a la flexión suelen ser verticales, los esfuerzos de tracción diagonal debido al corte, producen grietas inclinadas perpendiculares a su dirección. Las grietas que se producen por corte son aproximadamente a 45 grados.

En la figura 3.1 se puede apreciar una falla por tracción diagonal en los nudos que forman la unión de columnas y vigas.



Figura 3.1 Nudo sin estribos y falla por tracción diagonal

Una de las maneras para reforzar las vigas de concreto armado y hacerlas capaces de resistir estos esfuerzos consiste en colocar un refuerzo transversal perpendicular a la grieta, es decir siguiendo la trayectoria de los esfuerzos principales de tracción. Las funciones básicas del acero transversal en vigas son:

- Restringir el crecimiento de grietas inclinadas, logrando mayor profundidad de la zona comprimida.
- Mejora la capacidad de adherencia del acero longitudinal, evitando la falla por desgarramiento
- Aumenta la ductilidad del conjunto, y si los estribos son cerrados, confinan el concreto evitando la rotura frágil.

El problema se presenta en evaluar la cantidad de refuerzo transversal que será necesario proporcionar a la viga para resistir los esfuerzos de tracción que originan las grietas.

Uno de los métodos utilizados para determinar cualitativamente las funciones del refuerzo transversal, fue propuesto por Ritter en el año de 1899, y es conocido con el nombre de Analogía de la Armadura. En este método se idealiza la viga como una Armadura, donde se asemejan las funciones del refuerzo longitudinal al cordón de tracción, el refuerzo transversal a las diagonales de tracción y el concreto comprimido, entre grieta y grieta a la diagonal de compresión

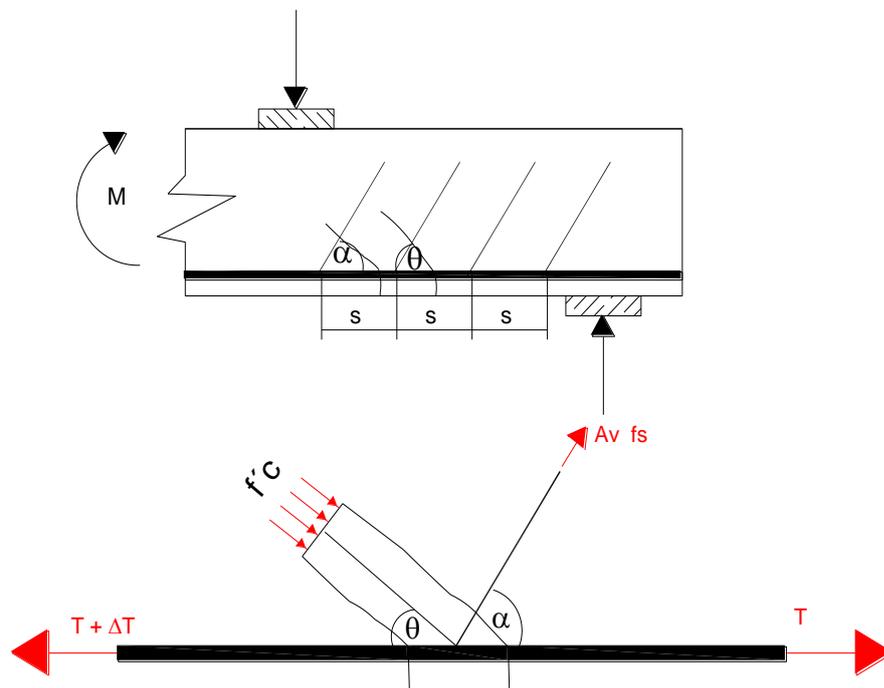


Figura 3.2 Analogía de la armadura

En la figura 3.2 se muestran las fuerzas que actúan en una junta de la cuerda de tensión, se llama s al espaciamiento entre estribos. La fuerza de compresión en la diagonal se denota por F_c y la de tensión en la diagonal del acero por $A_v f_s$.

Debido al incremento de momento ΔM , existe un incremento en la tensión longitudinal igual a ΔT .

Por equilibrio de fuerzas verticales se tiene que:

$$A_v \times F_s \times \text{Sen} \alpha = F_c \times \text{Sen} \theta \quad (3.1)$$

Por equilibrio de fuerzas horizontales:

$$\Delta T = A_v f_s \text{Cos} \alpha + F_c \text{Cos} \theta \quad (3.2)$$

Sabiendo que:

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{z} = \frac{V_s}{z} \quad (3.3)$$

Sustituyendo F_c de la ecuación 3.1 y ΔT de la ecuación 3.3 se tiene:

$$\frac{V_s}{z} = A_v f_s \left[\text{cos} \alpha + \frac{\text{Sen} \alpha}{\text{tan} \theta} \right] \quad (3.4)$$

Por lo que la fuerza cortante máxima que se toma en un área A_v de refuerzo transversal es:

$$V = \frac{A_v \times f_s \times z}{s} \left[\text{cos} \alpha + \frac{\text{Sen} \alpha}{\text{tan} \theta} \right] \quad (3.5)$$

Si se admite que las grietas se forman comúnmente con un ángulo θ igual a 45° se tiene finalmente:

$$V = \frac{A_v \times f_s \times z}{s} [\text{cos} \alpha + \text{sen} \alpha] \quad (3.6)$$

En el caso de estribos perpendiculares al refuerzo longitudinal el valor de $\alpha = 90$ entonces 3.6 se reduce a:

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (3.7)$$

3.2 DISEÑO A CORTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En la mayoría de los códigos los efectos de las variables indicadas anteriormente se expresan por medio de fórmulas sencillas. A continuación se presentan algunas de las expresiones para evaluar la resistencia a efectos de la fuerza cortante en vigas y columnas.

a) Refuerzo transversal en vigas

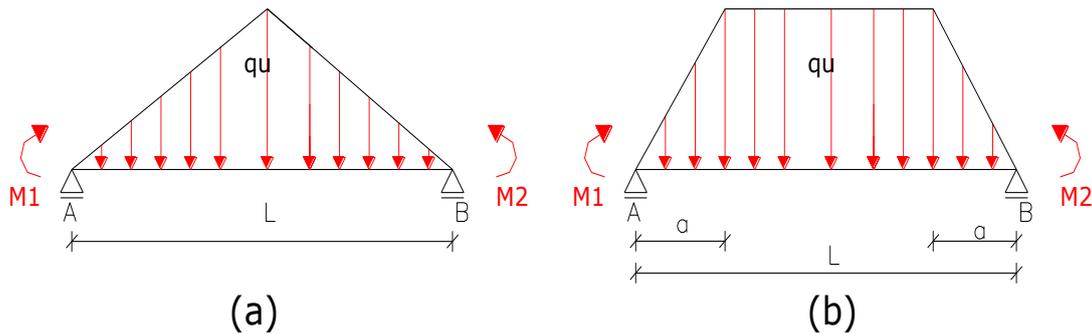


Figura 3.3 Viga sometida a diferentes tipos de cargas exteriores

El cortante actuante queda definido por:

$$V_{ACT} = V_{hiper} + V_{isos} \tag{3.8}$$

El M_u que es el momento que resisten las varillas longitudinales de la viga cuando aparecen las rótulas plásticas se lo calcula con la siguiente expresión para los 4 extremos de la viga:

$$M_u = A_s(\alpha \times f_y) \left[d - \frac{A_s(\alpha \times f_y)}{1.7 f'c \times b} \right] \tag{3.9}$$

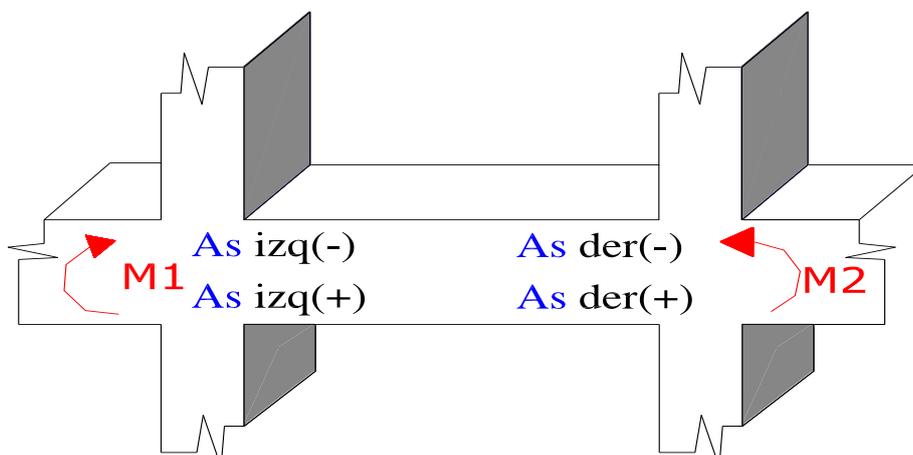


Figura 3.4 Viga con refuerzo longitudinal

Una vez que se tiene el M.u. en los 4 extremos de la viga se calcula el cortante hiperestático, tomando el mayor de los dos valores que se muestran a continuación:

$$V_{hiper1} = \frac{Mu_{IZQ(-)} + Mu_{DER(+)}}{L}; \quad V_{hiper2} = \frac{Mu_{IZQ(+)} + Mu_{DER(-)}}{L} \quad (3.10)$$

El cortante isostático varía en función del tipo de carga así por ejemplo para cargas de tipo triangular (figura 3.3 a) se tiene:

$$V_{isos} = \frac{qu \times l}{4} \quad (3.11)$$

Mientras que para cargas de tipo trapezoidal como la indicada en la figura 3.3 (b) el cortante isostático se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{isos} = \frac{qu \times l}{2} \left(1 - \frac{a}{l} \right) \quad (3.12)$$

El cortante actuante tiene que ser menor al cortante resistente que se lo calcula con la expresión 3.13

$$V_{RES} = \phi(V_c + V_s) \quad (3.13)$$

Sabiendo que:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'c} \times b \times d \quad (3.14)$$

Se debe chequear la siguiente condición:

$$Si V_{HIPER} < V_{ISOS} \Rightarrow V_s = \frac{V_{ACT} - \phi V_c}{\phi} \quad (3.15)$$

Además se debe controlar que:

$$V_s \geq 2.1\sqrt{f'c} \times b \times d \quad (3.16)$$

Adicionalmente:

$$V_s \geq 1.06\sqrt{f'c} \times b \times d \quad (3.17)$$

Por último el acero mínimo se lo calcula con la siguiente expresión:

$$A_{\min} = \frac{3.52 \times b \times s}{f_y} \quad (3.18)$$

b) Refuerzo transversal en columnas

Las solicitaciones de corte que actúan sobre las columnas serán resistidas por el hormigón, y por el refuerzo transversal. Existen 3 posibilidades para el diseño de estribos de columnas tanto en pie como en cabeza, de estas 3 posibilidades se debe escoger la más desfavorable es decir aquella que tenga una mayor cuantía de acero.

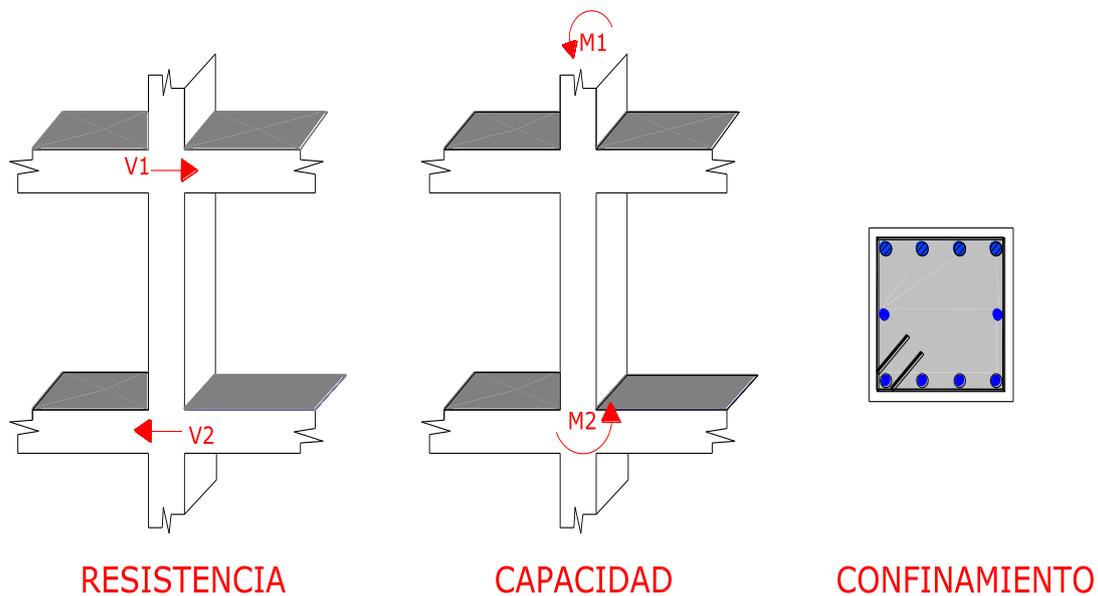


Figura 3.5 Tipos de diseños para armadura transversal en columnas

Diseño por resistencia: El área de acero del estribo (A_{v1}) debe cubrir el cortante actuante de cálculo (V_u), tomando en cuenta que una estructura se debe diseñar para los siguientes estados de carga tomados del reglamento ACI 318S - 05:

$$U = 1.4 D + 1.7 L \quad (3.19)$$

$$U = 0.75(1.4 D + 1.7 L) \pm E \quad (3.20)$$

$$U = 0.9 D \pm (1E) \quad (3.21)$$

Se debe tener en cuenta que cuando E se basa en fuerzas sísmicas a nivel de servicio, se debe usar 1.4 E en lugar de E. Los estados de carga indicados anteriormente

han evolucionado desde los años 60 y todavía se consideran confiables para la construcción en concreto, sin embargo el reglamento ACI 318S – 05 establece 7 nuevas ecuaciones para calcular la resistencia última requerida, la mismas que se muestran a continuación:

$$U = 1.4 (D + F) \quad (3.22)$$

$$U = 1.2 (D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(Lr, o S o R) \quad (3.23)$$

$$U = 1.2D + 1.6(Lr o S o R) + (L + 0.8W) \quad (3.24)$$

$$U = 1.2 D + 1.6W + L + 0.5(Lr o S o R) \quad (3.25)$$

$$U = 1.2D + E + L + 0.2S \quad (3.26)$$

$$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H \quad (3.27)$$

$$U = 0.9D + E + 1.6H \quad (3.28)$$

Donde:

L: Cargas Vivas

D: Cargas Muertas

E: Cargas por sismo

F: Cargas debido al peso del fluido

T: Fuerza de tracción en la zona de un nodo

S: Cargas por nieve

R: Cargas por lluvia

W: Cargas por viento

Lr: Cargas Vivas de cubierta

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (3.29)$$

Entonces se tiene que:

$$A_{v1} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \quad (3.30)$$

Diseño por capacidad: El área de acero del estribo (A_{v2}) debe cubrir el cortante actuante por capacidad (V_n)

Se tiene que:

$$V_n = \frac{M_1 + M_2}{L_c} \quad (3.31)$$

Por lo tanto:

$$V_s = \frac{V_n - \phi V_c}{\phi} \quad (3.32)$$

Finalmente se tiene que:

$$A_{v2} = \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \quad (3.33)$$

Diseño por confinamiento: El área de acero del estribo (A_{sh}) debe permitir el confinamiento, para ello se debe escoger el mayor valor de las siguientes expresiones:

$$A_{s_h} = \frac{0,3 \times S \times h \times f_c}{f_y} \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (3.34)$$

$$A_{s_h} = \frac{0,09 \times s \times h' \times f_c}{f_y} \quad (3.35)$$

Donde:

A_{sh} : área total del refuerzo transversal perpendicular a h'

s : espaciamiento centro a centro de los estribos cerrados

h : dimensión mayor perpendicular al sentido de análisis

A_g : área total de la sección transversal de la columna

A_c : área del núcleo rectangular de una columna medida entre las caras exteriores de un estribo cerrado

Las ecuaciones 3.34 y 3.35 sirven para controlar el confinamiento de columnas de gran dimensión y tienen por objeto garantizar una capacidad adecuada de curvatura a flexión en las regiones de fluencia. Generalmente para el diseño del refuerzo

transversal en columnas el análisis por confinamiento es el más desfavorable, y es con el que se diseña.

Se ha presentado una breve descripción del uso del estribo en elementos estructurales, por otra parte se ha visto la importancia de colocar el refuerzo transversal en vigas y columnas.

Finalmente se pretende determinar la influencia del refuerzo transversal en las curvas de fragilidad mediante la comparación de los tres casos de análisis indicados en el capítulo 1.

3.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 8 mm. EN VIGAS Y COLUMNAS (CASO 1)

En la parte final del capítulo anterior se indicaron las gráficas correspondientes a las curvas de fragilidad para la zona de mayor peligrosidad sísmica usando estribos simples de 8 mm. en vigas y columnas, por lo que resultaría inútil colocar nuevamente estas gráficas, a continuación se van a indicar los resultados y las gráficas obtenidas para los otros dos casos de análisis.

3.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 8 mm. EN VIGAS Y DOBLES DE 10 MM. EN COLUMNAS (CASO 2)

Los valores que se presentan a continuación son el resultado de 288 corridas en IDARC, es decir se sometieron 72 estructuras de tres vanos que varían de 1 a 6 pisos ante 4 eventos sísmicos peruanos normalizados a 0.4 de g que ya fueron descritos con detenimiento en los capítulos anteriores.

Mediante el uso del programa IDARC se varió el refuerzo transversal o estribo en los archivos de entrada, antes de mostrar los resultados es importante indicar que se utilizaron datos con un nivel de confianza. Es decir se desecharon los valores en los que el drift se alejaba en más del 1 % del drift medio. Luego de esto se tuvieron los siguientes resultados referentes a valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal simple de 8mm en vigas y dobles de 10 mm en columnas.

Tabla 3.1 Valores medios y desviación estándar de los drifts Caso 2

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA IV CASO 2							
ESTRUCTURAS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1-6
PROMEDIO DEL DRIFT	1.0243	1.5449	0.8360	0.7712	0.8490	0.8143	0.9652
DESVIACION ESTANDAR	0.1936	0.5452	0.2038	0.1955	0.2267	0.2621	0.3906
LN MEDIA	0.0240	0.4350	-0.1791	-0.2599	-0.1637	-0.2054	-0.0354

De la tabla anterior se aprecia que se obtuvo menores valores de drift medio a los presentados para el caso 1 (Tabla 2.13), esto nos hace concluir que colocar refuerzo de mayor diámetro en columnas permite obtener drifts menores, lo que representa que las estructuras sean menos vulnerables sin embargo hay que establecer si esta variación influye o no en las curvas de fragilidad.

Con los valores de la tabla 3.1 se realizará una distribución logarítmica normal usando la función LOG NORMAL de EXCEL para posteriormente obtener las curvas de fragilidad

En la tabla 3.2 se indican los valores con los que se obtuvieron las curvas de fragilidad de estructuras de 1 a 6 pisos cuando se usaron estribos simples de 8 mm. en vigas y estribos dobles de 10 mm en columnas (CASO 2), en la zona de mayor riesgo sísmico del Ecuador, posteriormente se presentan estas curvas.

Tabla 3.2 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 2

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA IV CASO 2

DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.20	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.30	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
0.35	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006
0.40	0.0000	0.0066	0.0001	0.0004	0.0005	0.0033
0.45	0.0000	0.0118	0.0012	0.0029	0.0026	0.0118
0.50	0.0001	0.0193	0.0058	0.0133	0.0098	0.0314
0.55	0.0007	0.0291	0.0200	0.0419	0.0277	0.0672
0.60	0.0029	0.0414	0.0518	0.0996	0.0629	0.1220
0.65	0.0094	0.0562	0.1084	0.1910	0.1194	0.1950
0.70	0.0246	0.0733	0.1918	0.3102	0.1973	0.2820
0.75	0.0537	0.0925	0.2971	0.4434	0.2922	0.3769
0.80	0.1009	0.1137	0.4145	0.5745	0.3966	0.4731
0.85	0.1677	0.1366	0.5324	0.6908	0.5021	0.5650
0.90	0.2520	0.1608	0.6413	0.7854	0.6016	0.6487
0.95	0.3487	0.1862	0.7347	0.8570	0.6900	0.7218
1.00	0.4507	0.2125	0.8102	0.9081	0.7649	0.7834
1.05	0.5510	0.2394	0.8683	0.9428	0.8257	0.8339
1.10	0.6437	0.2667	0.9109	0.9654	0.8734	0.8744
1.15	0.7251	0.2941	0.9412	0.9795	0.9097	0.9061
1.20	0.7933	0.3215	0.9619	0.9882	0.9366	0.9305
1.25	0.8482	0.3488	0.9758	0.9933	0.9560	0.9490
1.30	0.8909	0.3758	0.9848	0.9962	0.9699	0.9628
1.35	0.9231	0.4023	0.9906	0.9979	0.9796	0.9731
1.40	0.9468	0.4283	0.9943	0.9989	0.9863	0.9806
1.45	0.9637	0.4537	0.9966	0.9994	0.9909	0.9861
1.50	0.9756	0.4784	0.9979	0.9997	0.9940	0.9901
1.55	0.9838	0.5024	0.9988	0.9998	0.9960	0.9930
1.60	0.9894	0.5256	0.9993	0.9999	0.9974	0.9950
1.65	0.9931	0.5480	0.9996	1.0000	0.9983	0.9965
1.70	0.9956	0.5696	0.9998	1.0000	0.9989	0.9975
1.75	0.9972	0.5904	0.9999	1.0000	0.9993	0.9982
1.80	0.9982	0.6104	0.9999	1.0000	0.9995	0.9988
1.85	0.9989	0.6295	1.0000	1.0000	0.9997	0.9991
1.90	0.9993	0.6478	1.0000	1.0000	0.9998	0.9994
1.95	0.9996	0.6653	1.0000	1.0000	0.9999	0.9996
2.00	0.9997	0.6821	1.0000	1.0000	0.9999	0.9997
2.05	0.9998	0.6981	1.0000	1.0000	0.9999	0.9998
2.10	0.9999	0.7133	1.0000	1.0000	1.0000	0.9998
2.15	0.9999	0.7278	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
2.20	1.0000	0.7416	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
2.25	1.0000	0.7548	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
2.30	1.0000	0.7673	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	0.7791	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.40	1.0000	0.7904	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	0.8011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.50	1.0000	0.8113	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	0.8210	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.60	1.0000	0.8301	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	0.8388	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.70	1.0000	0.8471	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	0.8549	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.80	1.0000	0.8623	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	0.8693	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.90	1.0000	0.8760	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	0.8823	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3.00	1.0000	0.8882	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

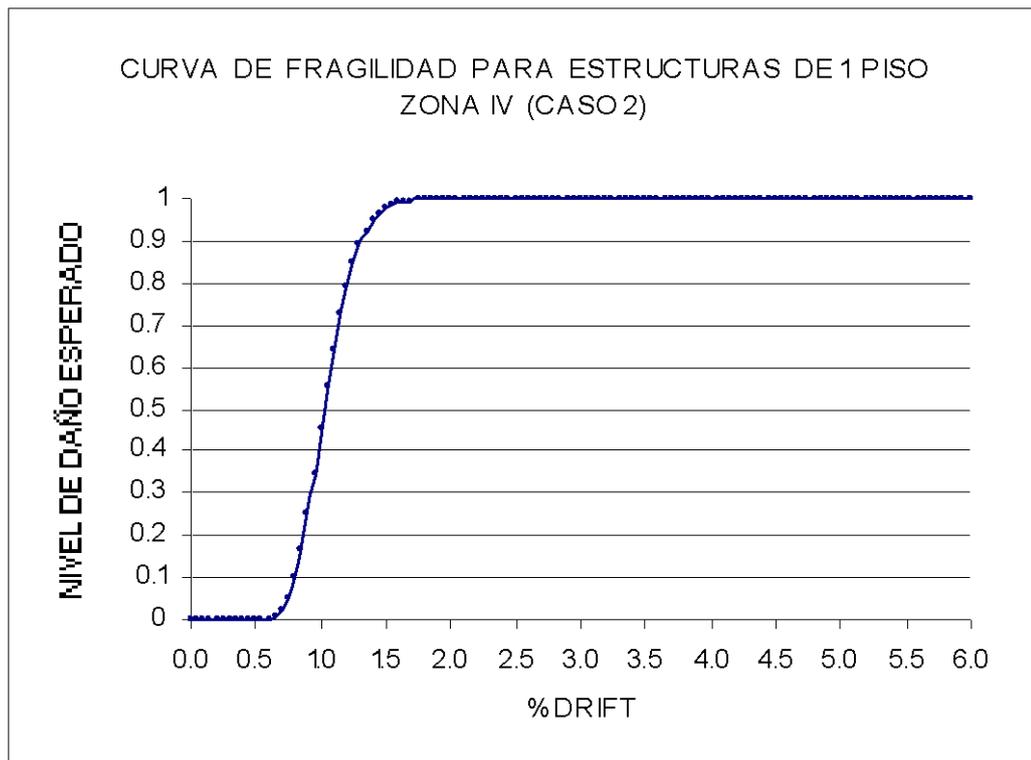


Figura 3.6 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

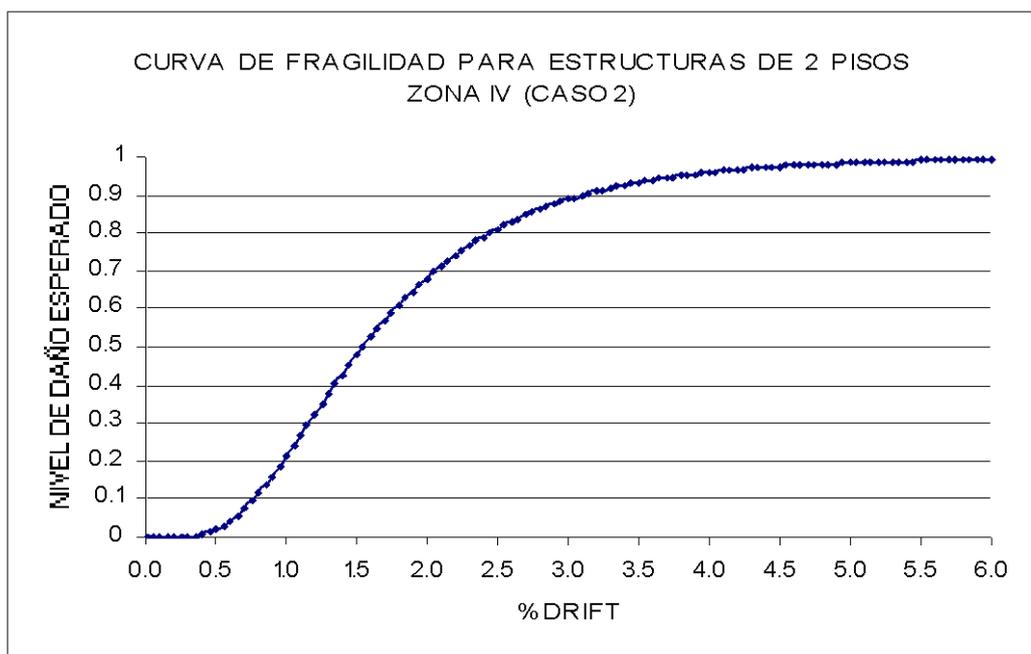


Figura 3.7 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

Nótese que a diferencia de la curva de fragilidad presentada en la figura 2.22 para estructuras de dos pisos correspondiente al caso 1, la curva presentada en la figura 3.7 tiene una pendiente menor, esto implica que tiene mayor probabilidad de alcanzar o exceder estados de daños mayores, pero esta variación no es muy notable, algo similar se obtuvo con los otros pisos.

También es importante señalar que esta curva tiene menor pendiente debido a que la desviación estándar de los datos con los que se calculó es mayor, pese a que se seleccionó los datos en función del nivel de confianza impuesto.

Además las estructuras de 2 pisos tienen un drift medio mayor que los drifts de las otras estructuras, esto nos hace concluir que estas estructuras son más vulnerables ya que tienen mayor probabilidad de exceder estados de daño mayores. A continuación se presentan las curvas de fragilidad para los demás pisos.

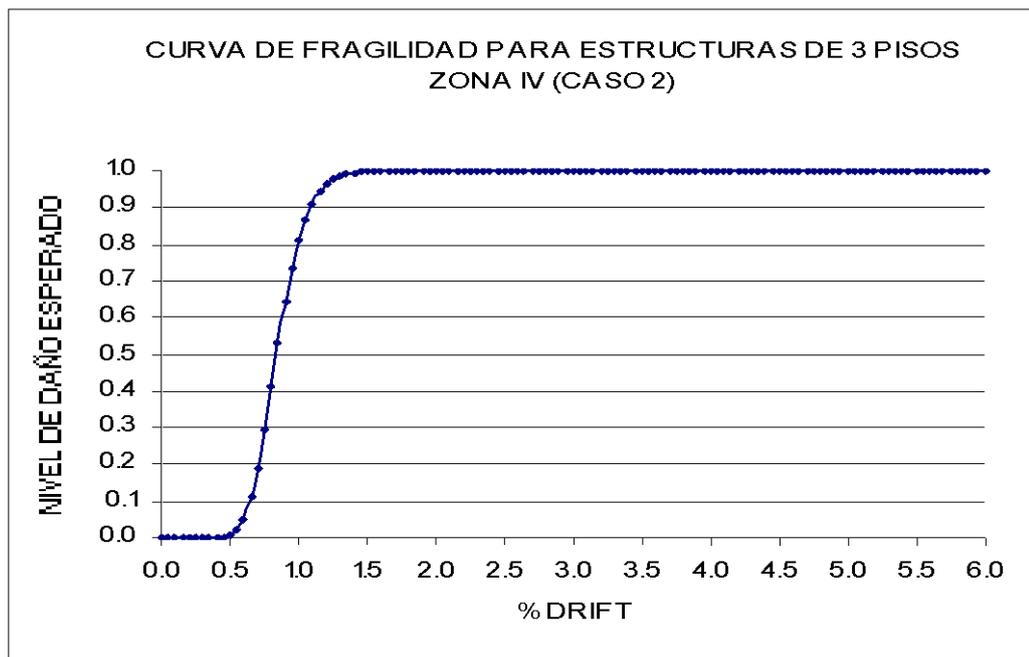


Figura 3.8 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

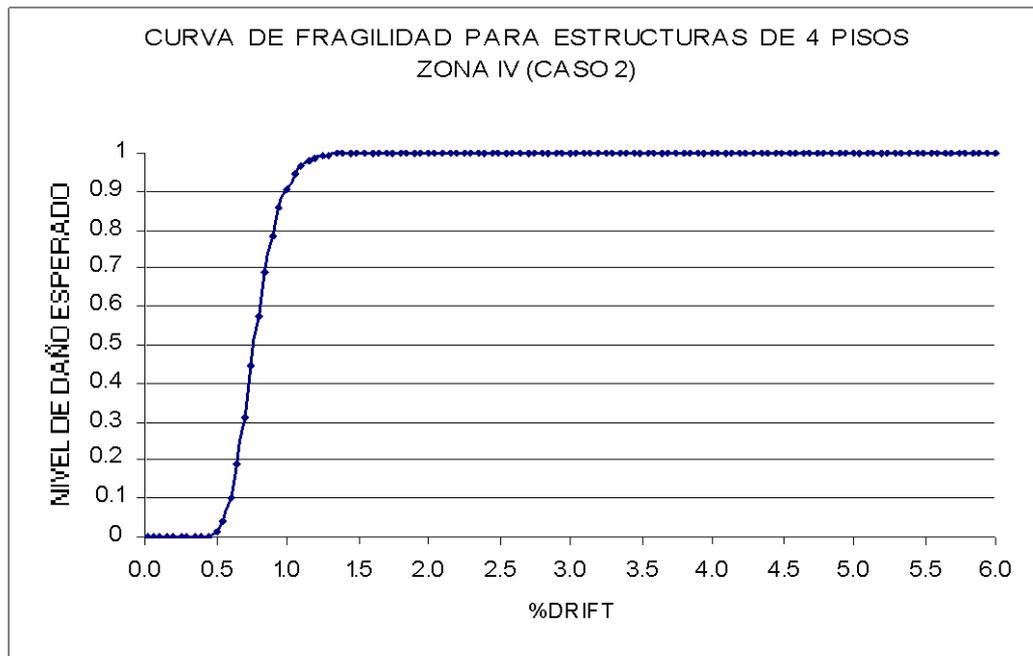


Figura 3.9 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

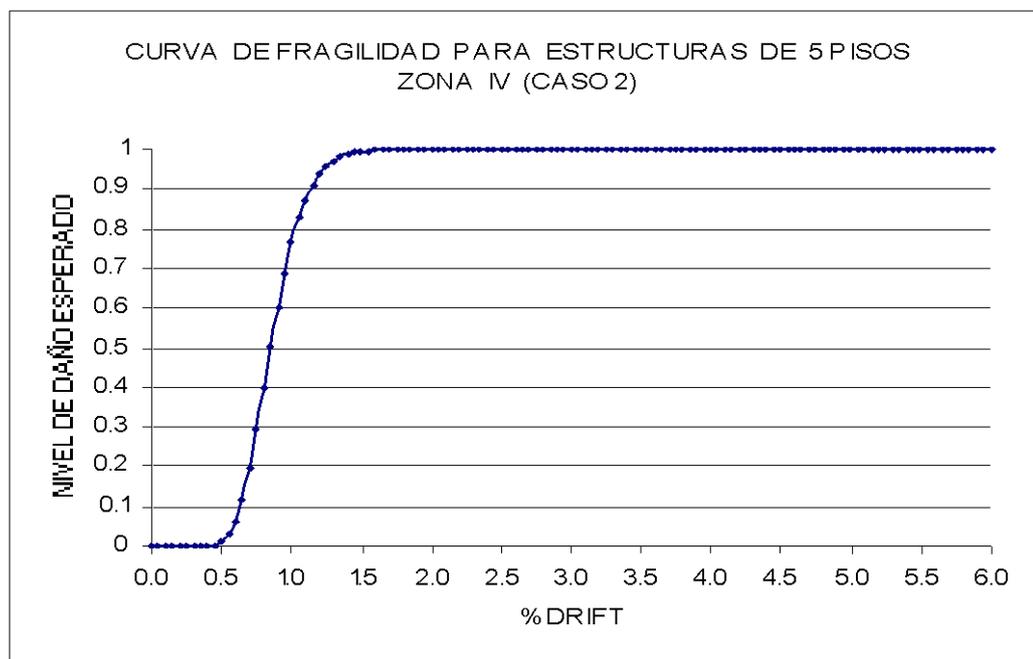


Figura 3.10 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

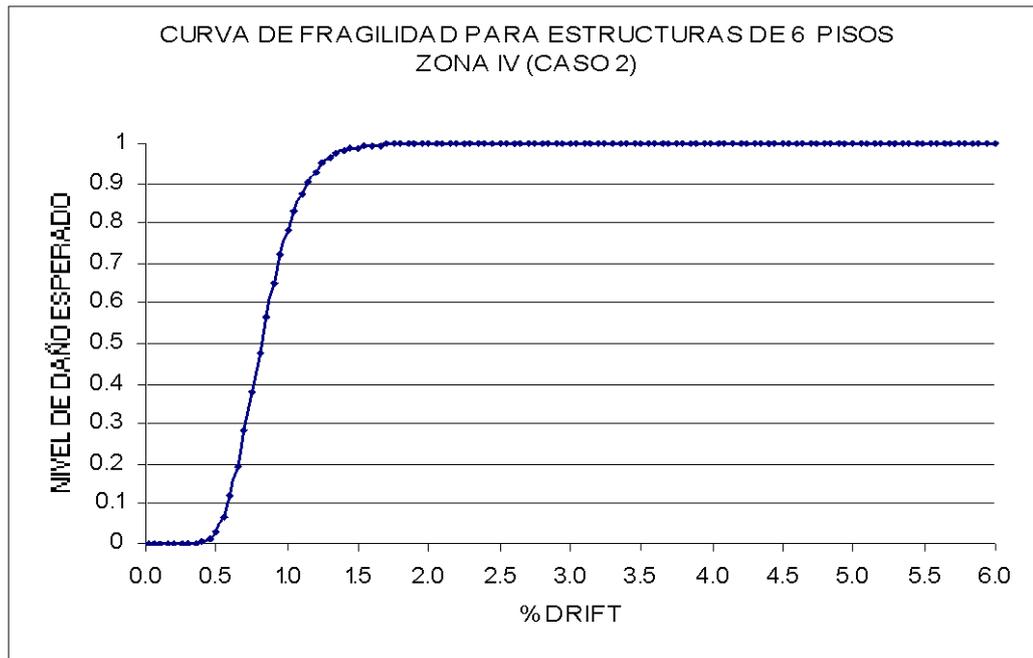


Figura 3.11 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

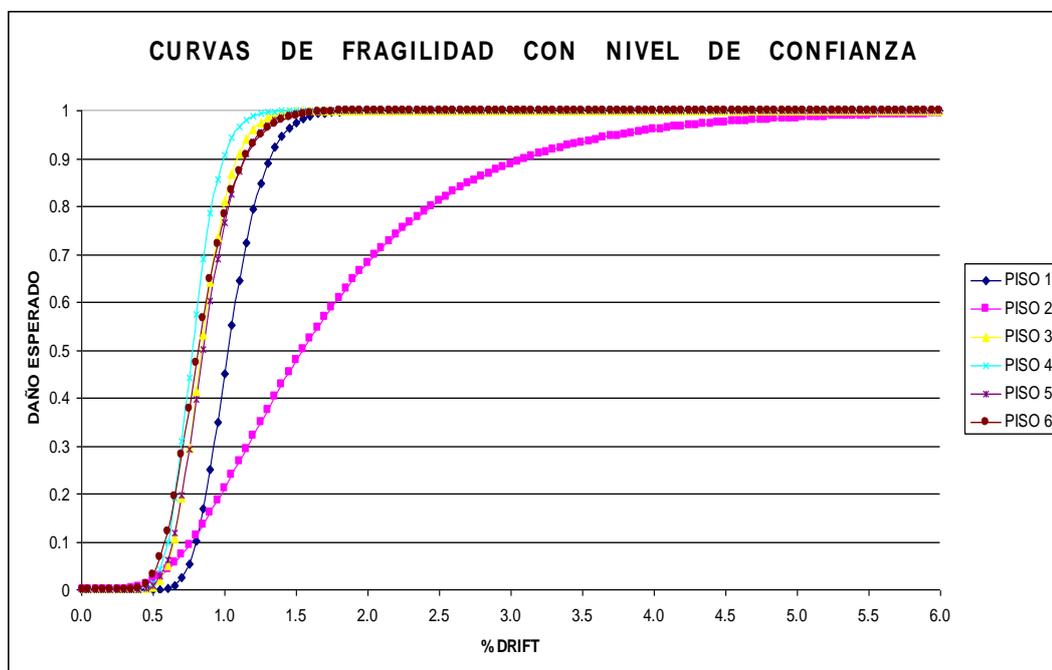


Figura 3.12 Curvas de fragilidad de estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV
Caso 2

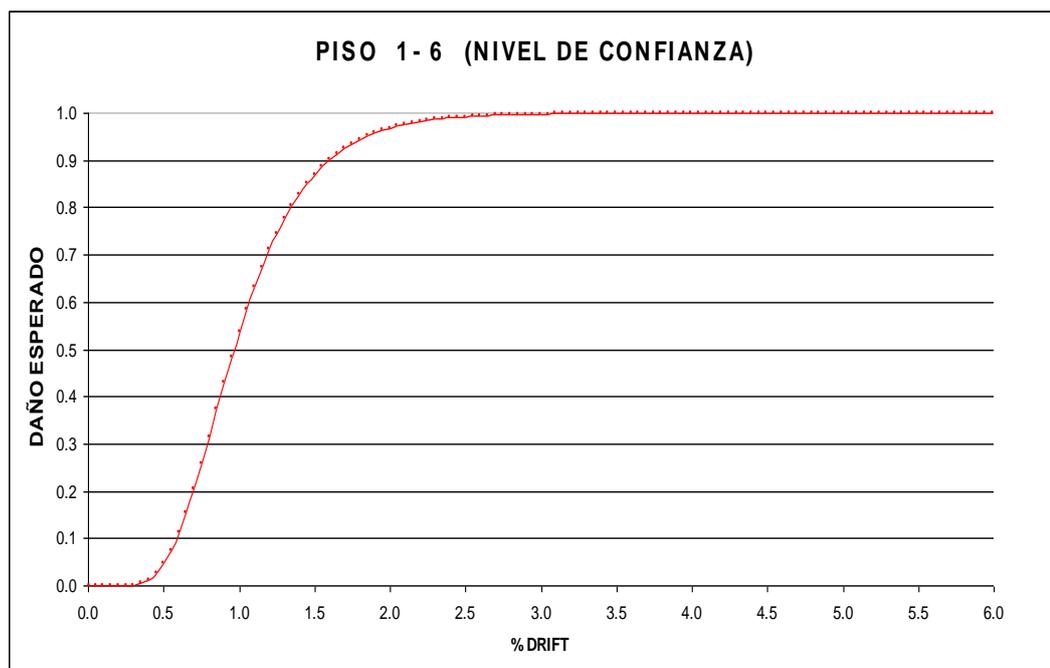


Figura 3.13 Curva de fragilidad media para estructuras de uno a seis pisos zona IV
Caso 2

3.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G Y ESTRIBOS SIMPLES DE 10 MM. EN VIGAS Y DOBLES DE 10 MM. EN COLUMNAS (CASO 3)

Para la realización del último caso de análisis se cambió el estribo utilizado en vigas de 8 mm considerado en el caso 2 a 10 mm, además se mantuvo el estribo doble de 10 mm en columnas.

La tabla 3.3 muestra los resultados de valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas ante 4 sismos peruanos con un refuerzo transversal simple de 10 mm en vigas y doble de 10 mm en columnas con nivel de confianza mediante el uso del IDARC.

Tabla 3.3 Valores medios y desviación estándar de los drifts Caso 3

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA IV CASO 3							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1-6
PROMEDIO DEL DRIFT	1.0251	1.5176	0.8330	0.7707	0.8482	0.7942	0.9556
DESVIACION ESTANDAR	0.1934	0.5253	0.1957	0.1942	0.2270	0.2272	0.3751
LN MEDIA	0.0248	0.4172	-0.1827	-0.2604	-0.1646	-0.2304	-0.0454

Por último se realizará una distribución logarítmica normal usando EXCEL para posteriormente obtener las curvas de fragilidad para el caso 3 usando los valores que se indican en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona IV caso 3

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA IV CASO 3						
DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.35	0.0000	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
0.4	0.0000	0.0056	0.0001	0.0004	0.0005	0.0013
0.45	0.0000	0.0103	0.0008	0.0028	0.0026	0.0062
0.5	0.0001	0.0173	0.0045	0.0129	0.0100	0.0208
0.55	0.0006	0.0267	0.0169	0.0412	0.0282	0.0529
0.6	0.0028	0.0387	0.0468	0.0986	0.0636	0.1085
0.65	0.0093	0.0532	0.1025	0.1902	0.1205	0.1888
0.7	0.0243	0.0704	0.1870	0.3101	0.1988	0.2891
0.75	0.0531	0.0898	0.2958	0.4442	0.2939	0.4004
0.8	0.1000	0.1114	0.4182	0.5761	0.3983	0.5127
0.85	0.1665	0.1349	0.5411	0.6929	0.5037	0.6174
0.9	0.2506	0.1599	0.6537	0.7877	0.6030	0.7090
0.95	0.3471	0.1863	0.7491	0.8592	0.6912	0.7848
1	0.4491	0.2136	0.8248	0.9100	0.7658	0.8448
1.05	0.5494	0.2416	0.8816	0.9443	0.8264	0.8905
1.1	0.6423	0.2700	0.9223	0.9665	0.8739	0.9242
1.15	0.7239	0.2987	0.9503	0.9803	0.9100	0.9484
1.2	0.7923	0.3274	0.9689	0.9887	0.9368	0.9654
1.25	0.8474	0.3559	0.9810	0.9936	0.9562	0.9771
1.3	0.8903	0.3841	0.9885	0.9964	0.9700	0.9850
1.35	0.9227	0.4118	0.9932	0.9981	0.9797	0.9902
1.4	0.9465	0.4390	0.9960	0.9989	0.9864	0.9937
1.45	0.9635	0.4654	0.9977	0.9994	0.9909	0.9960
1.5	0.9755	0.4911	0.9987	0.9997	0.9940	0.9974
1.55	0.9837	0.5160	0.9992	0.9998	0.9960	0.9984
1.6	0.9893	0.5401	0.9996	0.9999	0.9974	0.9990
1.65	0.9931	0.5632	0.9998	1.0000	0.9983	0.9994
1.7	0.9955	0.5855	0.9999	1.0000	0.9989	0.9996
1.75	0.9972	0.6069	0.9999	1.0000	0.9993	0.9997
1.8	0.9982	0.6273	1.0000	1.0000	0.9995	0.9998
1.85	0.9989	0.6469	1.0000	1.0000	0.9997	0.9999
1.9	0.9993	0.6656	1.0000	1.0000	0.9998	0.9999
1.95	0.9996	0.6834	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000
2	0.9997	0.7003	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000
2.05	0.9998	0.7165	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000
2.1	0.9999	0.7318	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	0.9999	0.7463	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	0.7602	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	0.7732	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	0.7857	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	0.7974	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	0.8085	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	0.8190	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	0.8290	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	0.8384	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	0.8473	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	0.8557	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	0.8636	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

2.75	1.0000	0.8711	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	0.8782	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	0.8848	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	0.8912	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	0.8971	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

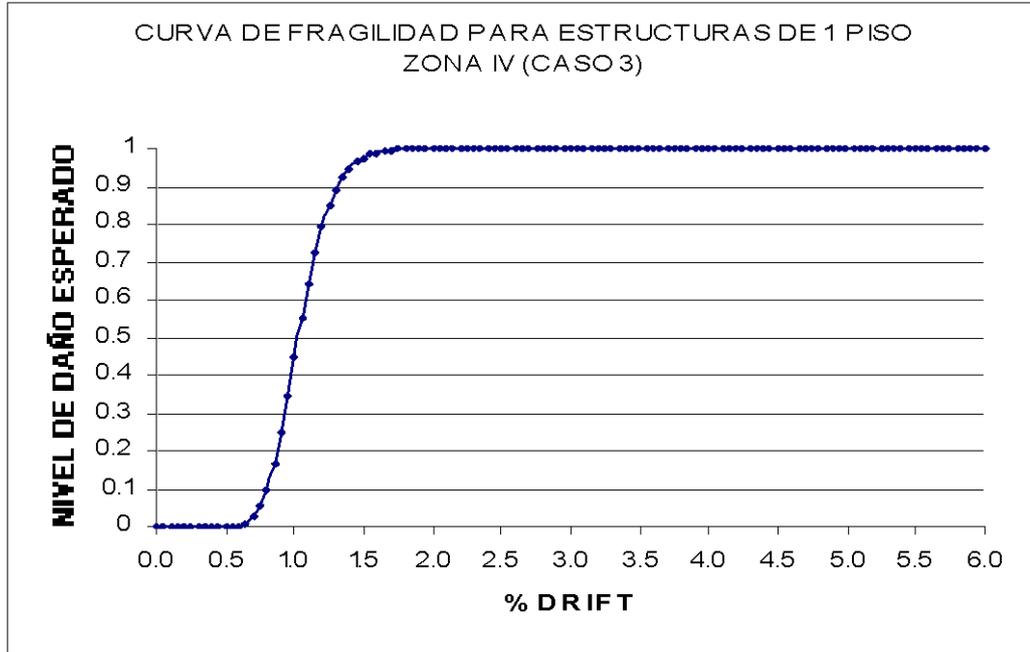


Figura 3.14 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona IV

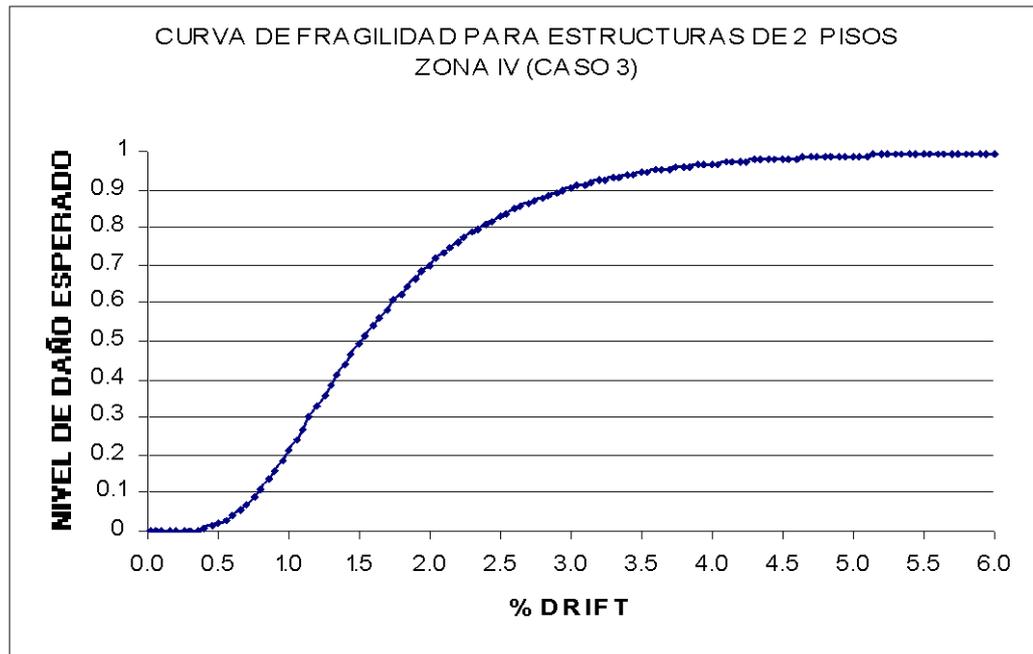


Figura 3.15 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona IV

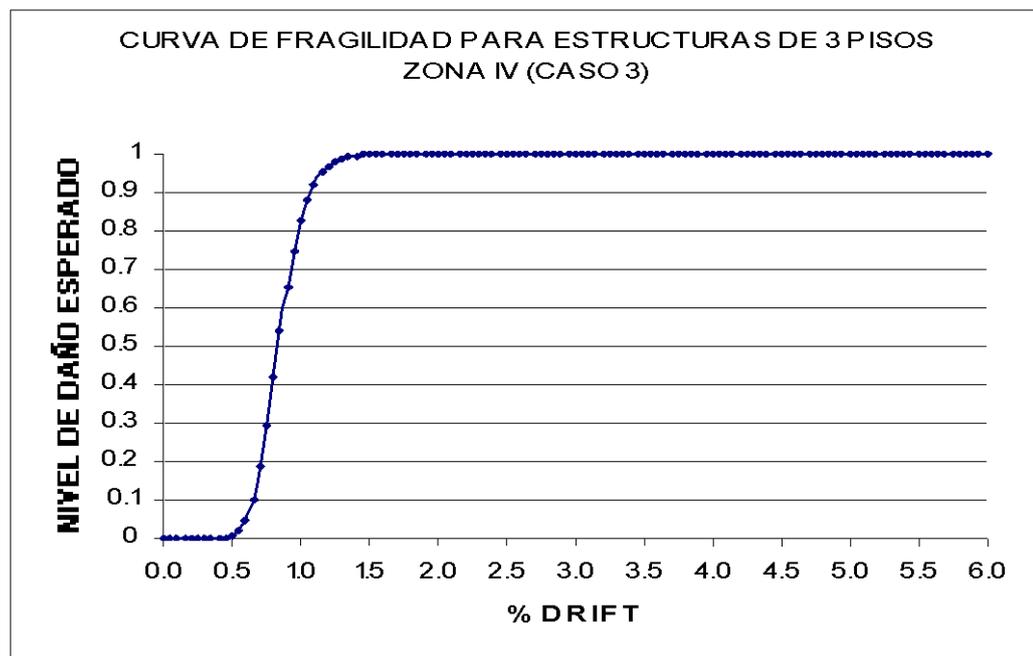


Figura 3.16 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona IV

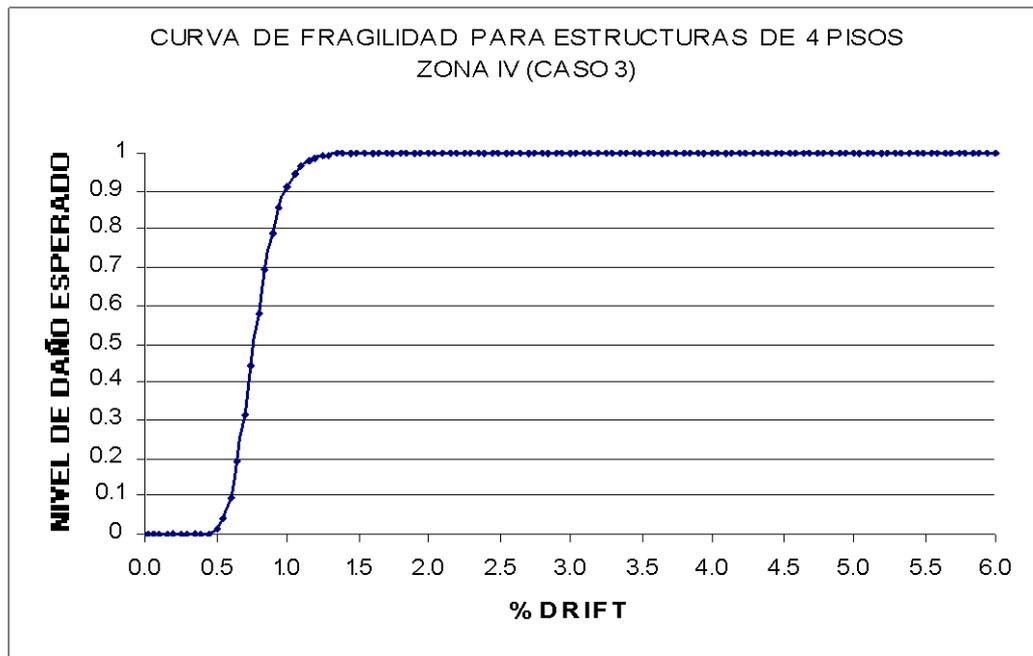


Figura 3.17 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona IV

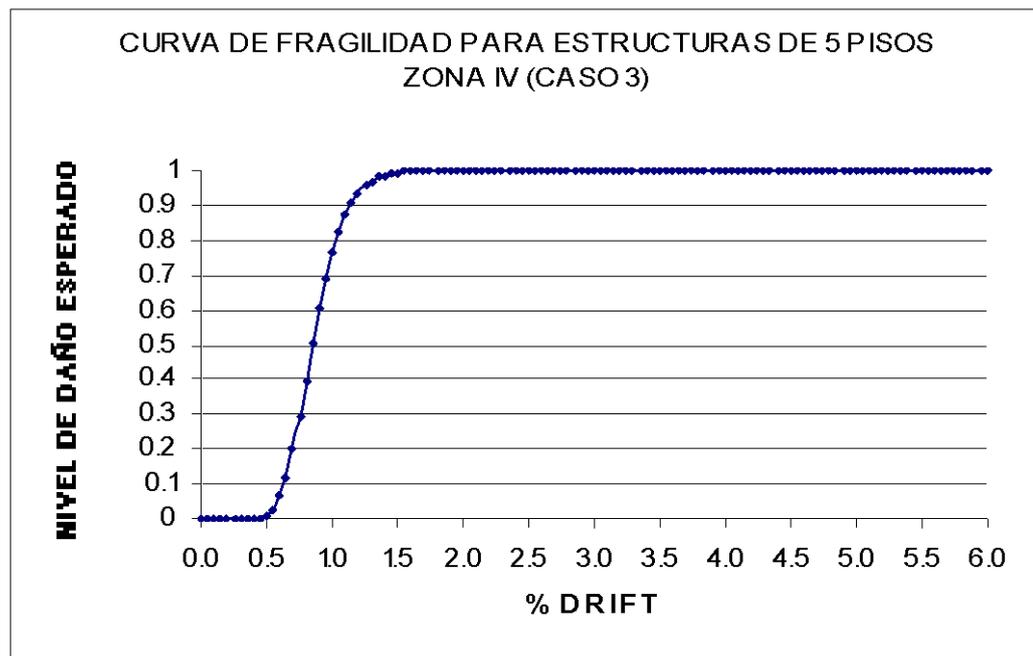


Figura 3.18 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona IV

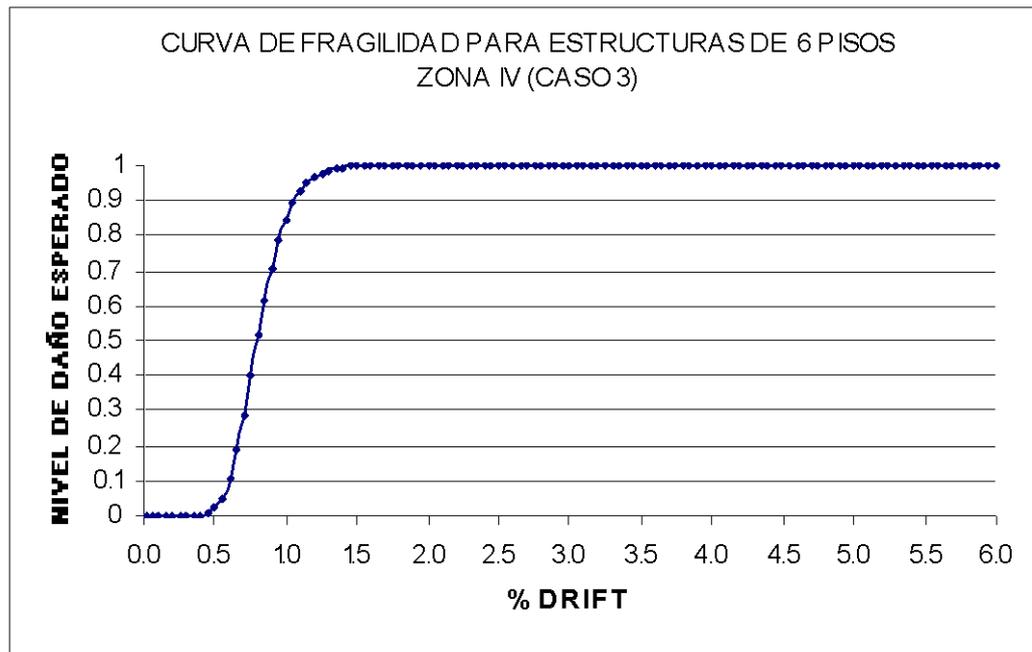


Figura 3.19 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona IV

Nótese que al igual que las curvas de fragilidad presentadas para el caso 2 todas las curvas presentadas para este caso, tienen una pendiente muy similar. Se aprecia que todas las estructuras a excepción de la de 2 pisos presentan probabilidades de excedencia muy similares, esto se debe a que los valores de drift medio y de desviación estándar son muy similares.

La figura 3.20 muestra las curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV para el caso 3 en un solo gráfico y la figura 3.21 muestra la curva de fragilidad media para este caso.

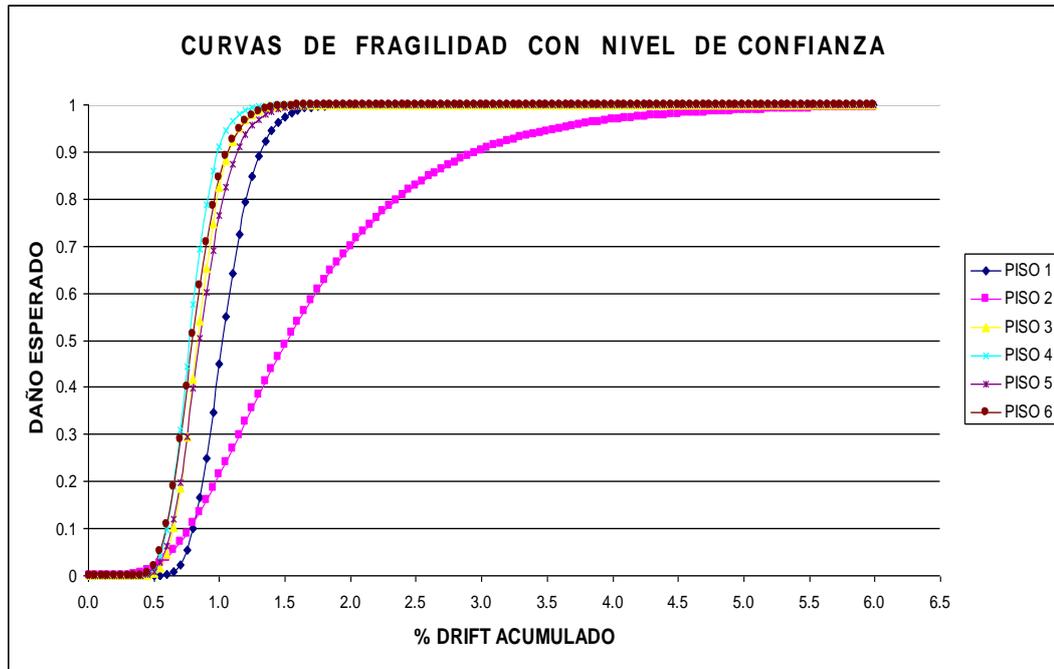


Figura 3.20 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona IV Caso 3

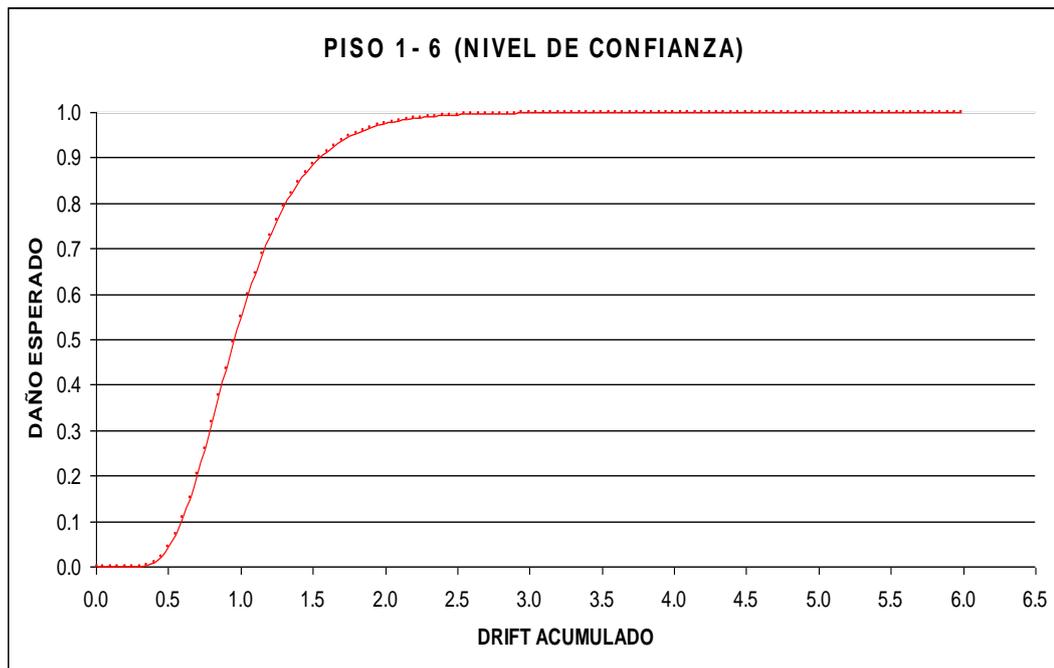


Figura 3.21 Curva de fragilidad media para estructuras de uno a seis pisos zona IV Caso 3

3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR PISO

Se indicó que se pretende establecer la influencia del acero transversal en las curvas de fragilidad esta influencia se expresa en función de la vulnerabilidad, pues es lógico pensar que estructuras con menor cantidad de refuerzo transversal van a presentar diferentes estimaciones de daño, es decir las curvas pertenecientes al caso 1 van a estar hacia la izquierda y por debajo de las curvas presentadas para el caso 2 y 3 en ese orden.

Por otra parte se puede apreciar en las gráficas que vienen a continuación que el enunciado anterior se cumple, pero la variación que se presenta mediante el uso del programa IDARC es mínima.

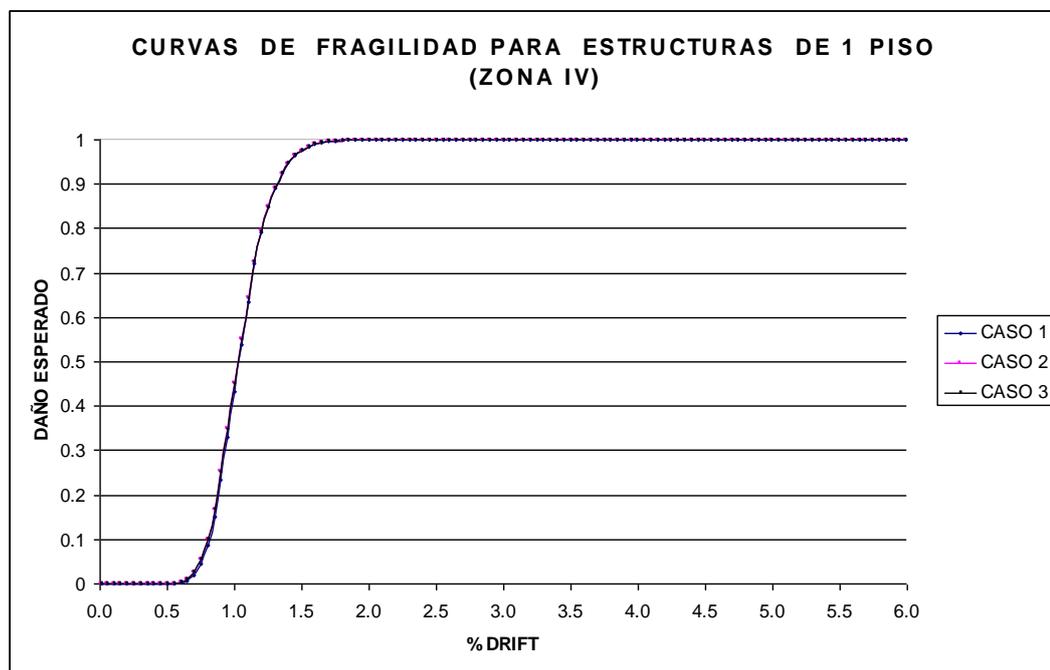


Figura 3.22 Curvas de fragilidad en estructuras de un piso en la zona IV

En la gráfica 3.22 se puede observar que el programa IDARC no representa los límites de comportamiento por cortante, por lo que las gráficas obtenidas para los 3 casos se superponen.

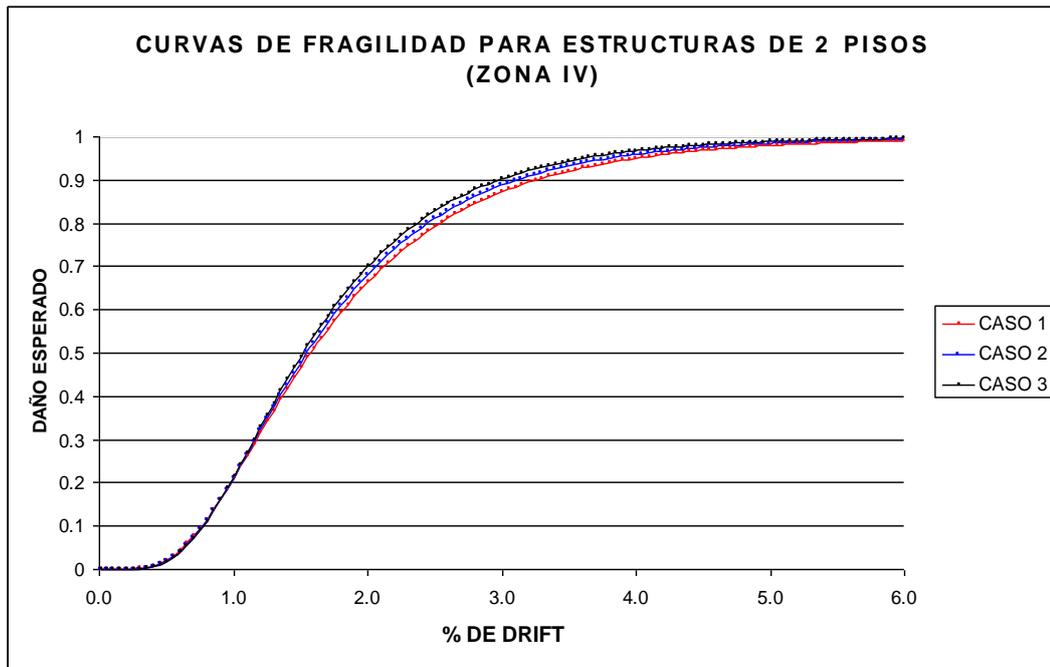


Figura 3.23 Curvas de fragilidad en estructuras de dos pisos en la zona IV

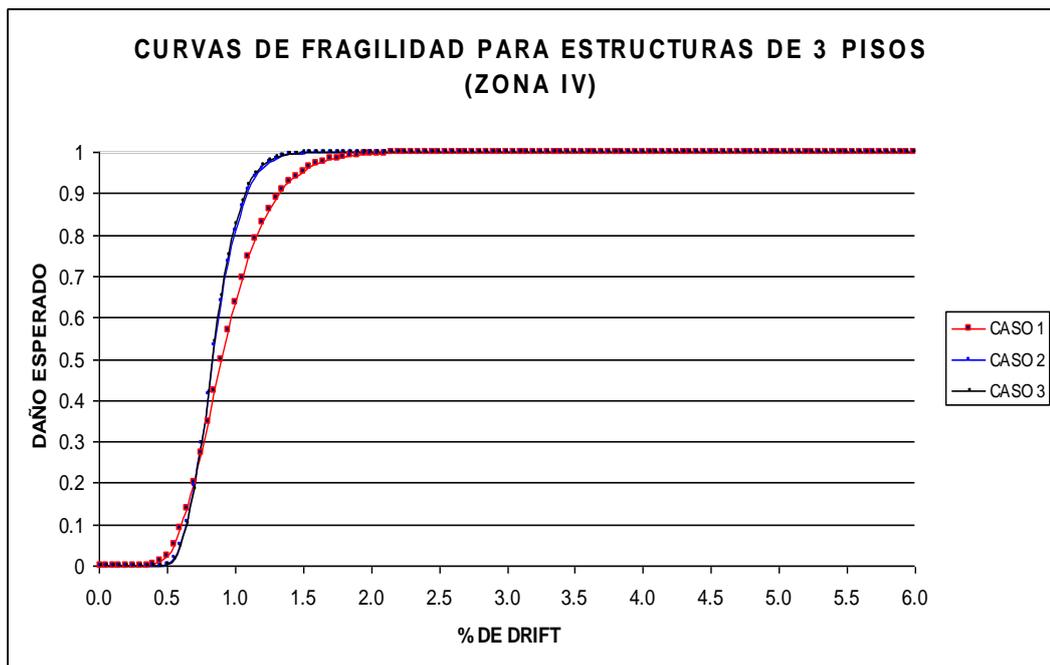


Figura 3.24 Curvas de fragilidad en estructuras de tres pisos en la zona IV

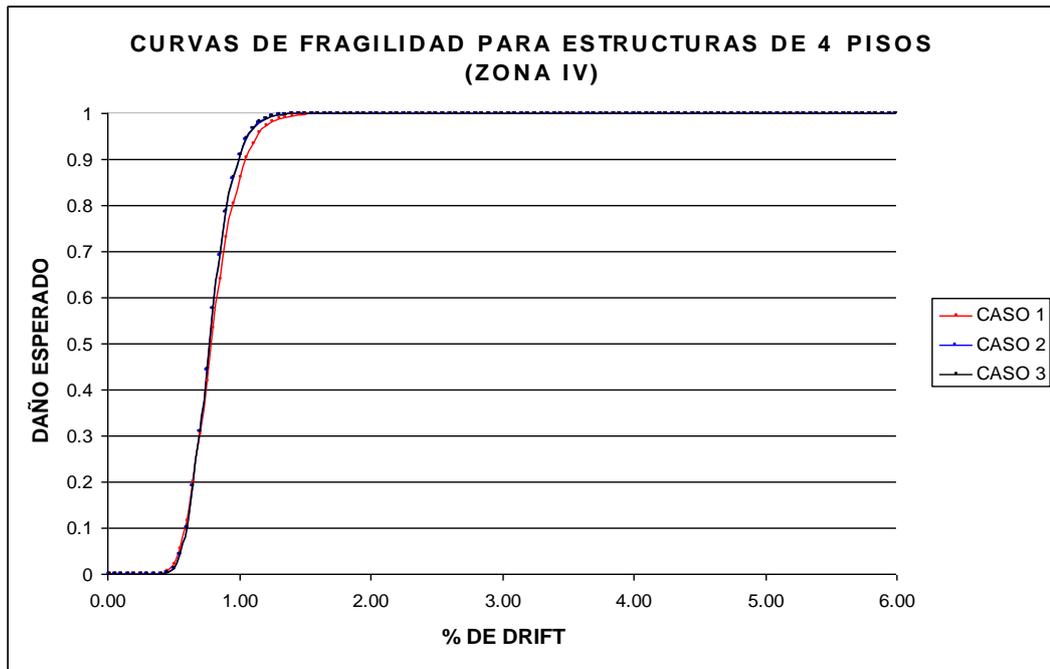


Figura 3.25 Curvas de fragilidad en estructuras de cuatro pisos en la zona IV

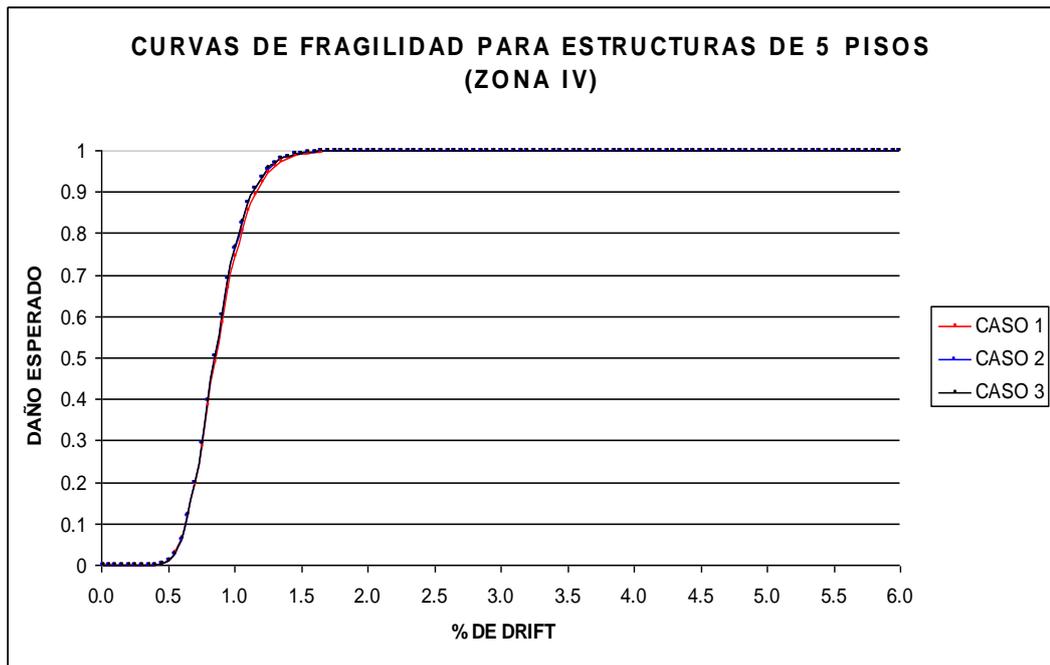


Figura 3.26 Curvas de fragilidad en estructuras de cinco pisos en la zona IV

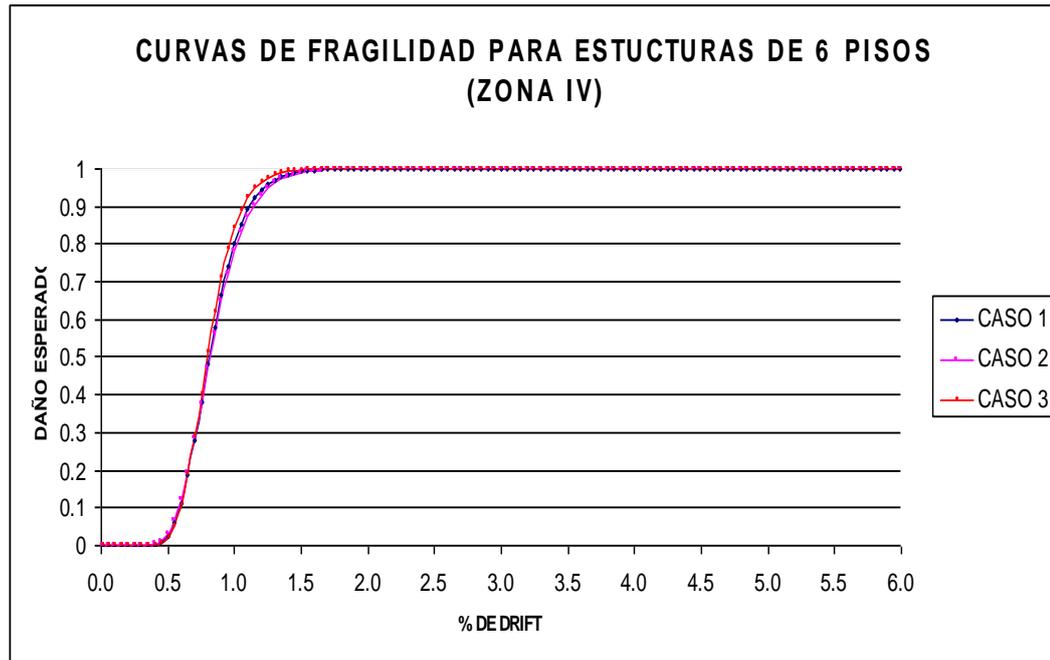


Figura 3.27 Curvas de fragilidad en estructuras de seis pisos en la zona IV

Como se pudo ver en las curvas anteriores, se cumplía prácticamente que en todas ellas las curvas con menor cantidad de refuerzo transversal (Caso 1) estaban por debajo de las curvas con mayor cantidad de refuerzo transversal estribo de 10 mm (Caso 2 y 3) sin embargo la influencia es prácticamente nula.

3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS AGRUPADOS DE 1 – 6 PISOS

A continuación se presentan los valores con los que se obtuvieron las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos para los tres tipos de casos los mismos que se muestran en la tabla 3.5:

Tabla 3.5 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras agrupadas de 1 a 6 pisos

PISO 1-6

DRIFT	CASO 1	CASO 2	CASO 3
0.10	0.000000	0.000000	0.000000
0.15	0.000002	0.000001	0.000000
0.20	0.000045	0.000028	0.000015
0.25	0.000381	0.000272	0.000175
0.30	0.001763	0.001388	0.001005
0.35	0.005564	0.004704	0.003705
0.40	0.013543	0.012066	0.010121
0.45	0.027388	0.025380	0.022332
0.50	0.048300	0.046111	0.042091
0.55	0.076761	0.074961	0.070400
0.60	0.112519	0.111791	0.107331
0.65	0.154716	0.155732	0.152104
0.70	0.202090	0.205412	0.203304
0.75	0.253177	0.259196	0.259158
0.80	0.306489	0.315396	0.317792
0.85	0.360640	0.372433	0.377423
0.90	0.414417	0.428932	0.436491
0.95	0.466828	0.483773	0.493725
1.00	0.517104	0.536103	0.548162
1.05	0.564686	0.585319	0.599129
1.10	0.609207	0.631040	0.646213
1.15	0.650459	0.673069	0.689215
1.20	0.688363	0.711357	0.728104
1.25	0.722940	0.745968	0.762980
1.30	0.753828	0.776595	0.793580
1.35	0.782095	0.804346	0.821060
1.40	0.807473	0.829007	0.845249
1.45	0.830166	0.850828	0.866441
1.50	0.850389	0.870063	0.884933
1.55	0.868357	0.886966	0.901014
1.60	0.884280	0.901778	0.914955
1.65	0.898359	0.914727	0.927010
1.70	0.910784	0.926025	0.937411
1.75	0.921732	0.935864	0.946368
1.80	0.931365	0.944421	0.954069
1.85	0.939831	0.951853	0.960681
1.90	0.947264	0.958302	0.966352
1.95	0.953784	0.963892	0.971210
2.00	0.959501	0.968735	0.975370
2.05	0.964509	0.972928	0.978929
2.10	0.968896	0.976557	0.981973
2.15	0.972737	0.979697	0.984575
2.20	0.976099	0.982412	0.986799
2.25	0.979042	0.984761	0.988700
2.30	0.981617	0.986793	0.990324
2.35	0.983872	0.988549	0.991712
2.40	0.985845	0.990069	0.992898
2.45	0.987572	0.991383	0.993912
2.50	0.989084	0.992521	0.994779
2.55	0.990408	0.993505	0.995520
2.60	0.991568	0.994357	0.996155
2.65	0.992584	0.995095	0.996697
2.70	0.993475	0.995734	0.997162
2.75	0.994256	0.996288	0.997560
2.80	0.994941	0.996769	0.997901
2.85	0.995543	0.997185	0.998193
2.90	0.996070	0.997547	0.998443

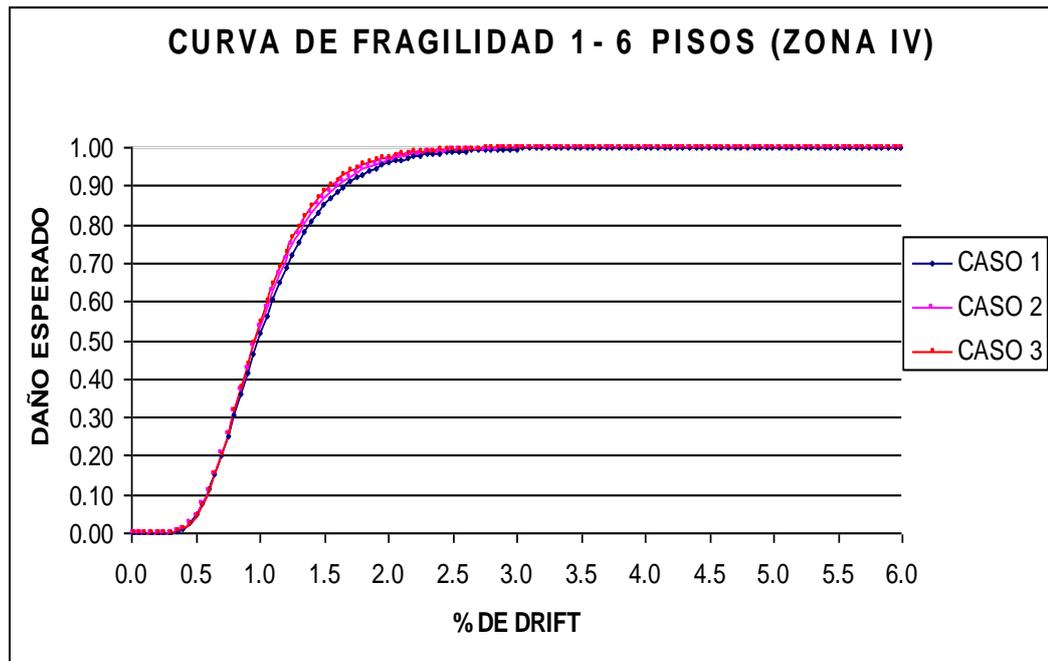


Figura 3.28 Curvas de fragilidad en estructuras agrupadas de uno a seis pisos en la zona IV

CAPÍTULO IV

CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS SIMPLES DE 8 MM.

RESUMEN

Se inicia justificando la importancia del acoplamiento del efecto de corte y de flexión, se indican las ecuaciones para obtener la relación corte ductilidad, posteriormente se establecen los valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas ante 4 eventos sísmicos con un refuerzo transversal de 8mm en vigas y columnas, para las cuatro zonas sísmicas establecidas por el Código Ecuatoriano de la Construcción.

Con los valores anteriormente indicados se obtienen las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos para cada una de las zonas sísmicas, finalmente se estableció en un solo gráfico las curvas de fragilidad para las 4 zonas sísmicas por piso.

4.1 ACOPLAMIENTO DE LA FLEXIÓN CON EL CORTE

Las estructuras de hormigón armado construidas hace más de 30 años se caracterizan por tener una gran cantidad de refuerzo longitudinal y muy poco refuerzo

transversal, en este tipo de estructuras se produce primeramente una falla debido al efecto del corte antes que por flexión, por lo tanto la curva de capacidad que se obtenga para este tipo de estructuras mediante la técnica del pushover, estará sobredimensionada por no considerar dicho efecto.

Por otro lado varios son los trabajos que incorporan el efecto del corte al de flexión como lo son: Park y Pauley (1975), Vecchio y Collins (1986), Presley y Calvi (1991), Ichinose (1992), Collins y Mitchell (1997).

En la figura 4.1 se presenta el modelo numérico adoptado por la normativa de Nueva Zelanda que relaciona el corte con la ductilidad de rotación.

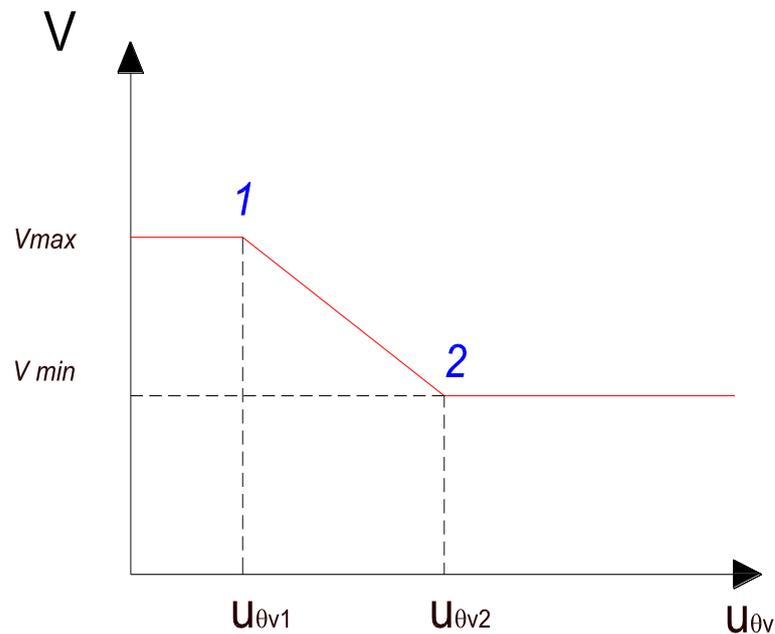


Figura 4.1 Relación corte ductilidad por rotación

En el punto 2 de la figura anterior se produce la falla a corte, el mismo que está asociado con una ductilidad de rotación $U_{\theta v2}$, y con un cortante mínimo denominado V_{min} que se lo calcula con la siguiente expresión:

$$V_{min} = R_{\theta v2} \times V_{max} \quad (4.1)$$

A continuación se presentan algunas de las expresiones para evaluar la relación corte ductilidad para vigas y columnas rectangulares.

a) Para vigas rectangulares

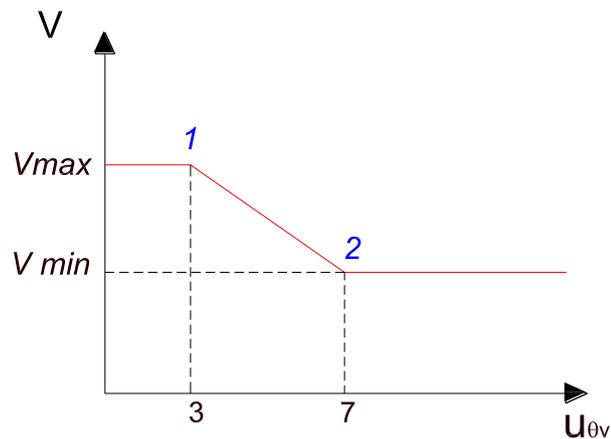


Figura 4.2 Relación corte y ductilidad de rotación en vigas

La figura 4.2 indica la relación corte y ductilidad de rotación para vigas rectangulares de hormigón armado, por otra parte se muestran las ecuaciones para determinar el V_{max} y el $R_{\theta v2}$

$$V_{max} = \phi r \left(0.2\sqrt{f'c} \times b \times d + \frac{A_v f_{vy} d}{s} \right) \quad (4.2)$$

$$R_{\theta v2} = \frac{0.05\sqrt{f'c} \times b \times d + \frac{A_v \times f_{vy} \times d}{s}}{0.2\sqrt{f'c} \times b \times d + \frac{A_v \times f_{vy} \times d}{s}} \quad (4.3)$$

Siendo:

$\sqrt{f'c}$: La resistencia a compresión del hormigón expresada en M.Pa

ϕr : Factor de reducción de esfuerzos por corte (0.85)

b) Para columnas rectangulares

La figura 4.3 indica la relación corte y ductilidad de rotación para columnas rectangulares de hormigón armado, la curva superior indica que la columna trabaja a flexo compresión uniaxial y la inferior se da cuando se trabaja a flexo compresión biaxial.

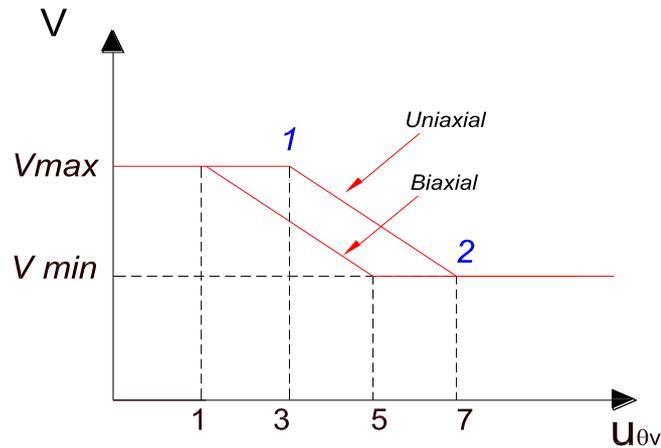


Figura 4.3 Relación corte y ductilidad de rotación en columnas

Las ecuaciones para determinar el V_{max} y el $R_{\theta v 2}$ en columnas de hormigón armado son las siguientes:

$$V_{max} = \phi r \left\{ 0.85 \left(0.29 \sqrt{f'c} \times 0.8Ag + \frac{A_v f_{vy} d''}{s} \cot 30 - N \tan \alpha \right) \right\} \quad (4.4)$$

$$R_{\theta v 2} = \frac{0.1 \sqrt{f'c} \times 0.8Ag + \frac{A_v \times f_{vy} \times d''}{s} \cot 30 - N \tan \alpha}{0.29 \sqrt{f'c} \times 0.8Ag + \frac{A_v \times f_{vy} \times d''}{s} \cot 30 - N \tan \alpha} \quad (4.5)$$

Siendo:

Ag : El área gruesa de la columna

d'' : La longitud del núcleo de hormigón confinado

N : La carga axial, tomando en cuenta que si trabaja a tensión es positiva

α : Es el ángulo entre el eje longitudinal y la recta donde actúa la fuerza de compresión en el hormigón

Una estructura se comporta mejor ante una acción sísmica si se garantiza que las rótulas plásticas se formen en las vigas y no en las columnas, de esta manera se tiene que las vigas deben ser proporcionadas y reforzadas de tal forma que su fluencia en caso de un sismo severo se de antes que la de las columnas. Las razones para que esto se cumpla son las siguientes:

- En una estructura con columnas débiles, la deformación plástica se concentra en cierto entrepiso y por consiguiente requiere un valor de ductilidad relativamente grande que usualmente es difícil de conseguir
- La falla de las columnas representa el colapso de todo el edificio
- Tanto en la falla por corte como en la de flexión, la resistencia de las columnas se degrada con más rapidez que en las vigas.

La tendencia moderna en el diseño sismorresistente se concentran en orientar el proceso de formación de rótulas plásticas desde la etapa del diseño.

Durante un sismo los elementos más afectados son los extremos de los elementos estructurales, siendo l_p la longitud de la zona dañada.



Figura 4.4 Falla en la unión viga columna por falta de estribos

En la figura 4.4 se puede apreciar una falla en los extremos de los elementos estructurales debido a la falta de refuerzo transversal.

Si se considera que **la ductilidad de rotación es igual a la ductilidad por curvatura** Satyarno (2000), se puede expresar en un solo gráfico el comportamiento a flexión y a corte, la luz libre de corte L^* permite relacionar el momento a flexión y el cortante V si se toma en cuenta que el punto de inflexión se encuentra en la mitad del elemento, se tiene la siguiente ecuación:

$$M = V \times L^* \quad (4.6)$$

Por lo indicado anteriormente en el diagrama momento curvatura se incluirá la falla a corte, multiplicando V_{max} y V_{min} por $L/2$

Un elemento desarrolla toda su capacidad a flexión, siempre y cuando la curva proveniente del corte no cruce o este por debajo de la curva a flexión, ya que el punto de cruce de las curvas indica que el elemento no desarrolla totalmente su capacidad a flexión sino que en ese punto se produce la falla por corte.

La figura 4.5 muestra el diagrama momento curvatura de una viga de 25 cm. de base por 35 cm. de altura con estribos de 8 mm de diámetro, nótese que la viga no alcanza a llegar a su M_u debido a que primero se produjo la falla por corte.

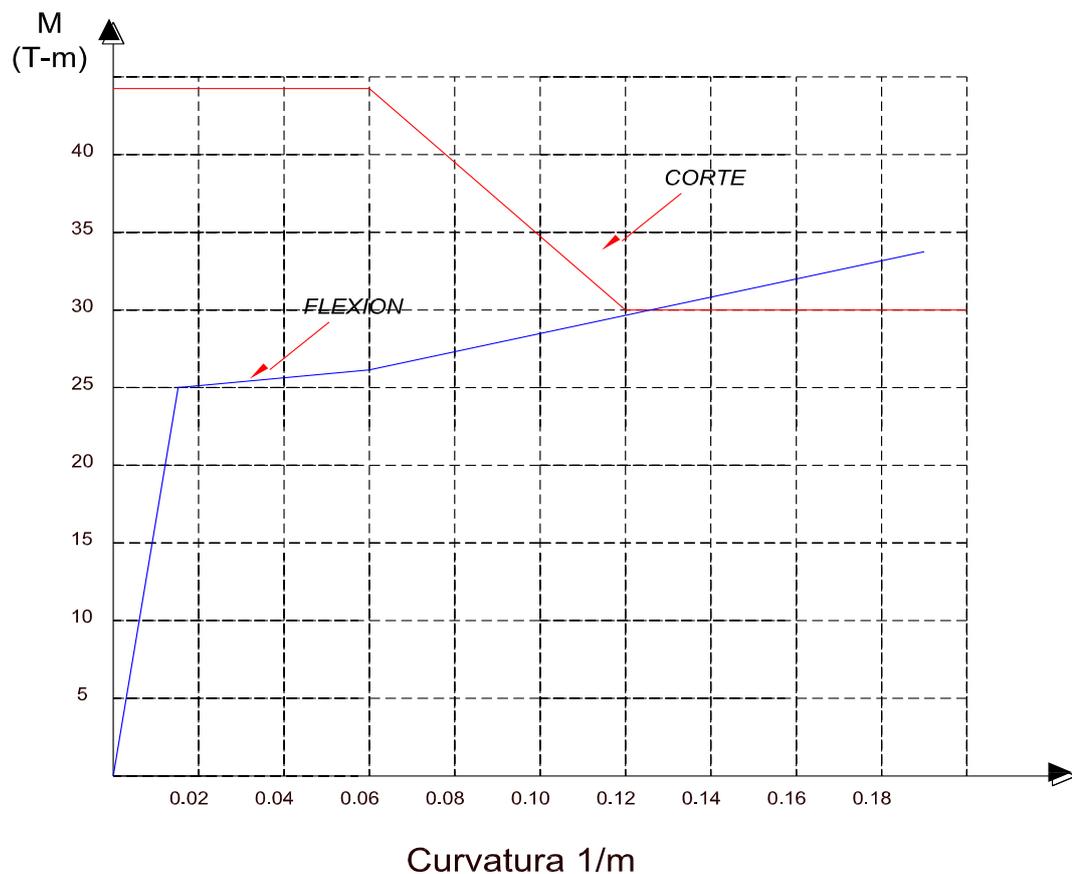


Figura 4.5 Momento curvatura de una viga de 25 cm. por 35 cm. (Caso 1)

En el programa CEINCI 1 se modeló una viga de 50 cm. de base por 60 cm. de altura y con una cuantía de armado inferior de 1.25 % y superior de 1.5 % (Caso 4 de la tabla 1.2), los resultados se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Valores del diagrama momento curvatura para una viga considerando los 3 casos de variación de refuerzo transversal

VALORES DEL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA (VIGA)											
SIN EFECTO DE CORTE											
CASO 1		CASO 2		CASO 3							
M _A	10.21 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m	M _A	10.22 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m	M _A	10.22 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m
M _Y	95.84 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m	M _Y	95.89 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m	M _Y	95.89 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m
M _S	98.61 T -m	Φ _S	0.0319367 1/m	M _S	98.66 T -m	Φ _S	0.0319367 1/m	M _S	98.66 T -m	Φ _S	0.0319367 1/m
M _u	131.77 T -m	Φ _U	0.1091567 1/m	M _u	144.23 T -m	Φ _U	0.1439760 1/m	M _u	144.23 T -m	Φ _U	0.1439760 1/m
u	13.09	Rs	1.37	u	17.2	Rs	1.5	u	17.2	Rs	1.5
CON EFECTO DE CORTE											
CASO 1		CASO 2		CASO 3							
M _A	10.21 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m	M _A	10.22 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m	M _A	10.22 T -m	Φ _A	0.0004767 1/m
M _Y	95.84 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m	M _Y	95.89 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m	M _Y	95.89 T -m	Φ _Y	0.0083417 1/m
M _S	98.58 T -m	Φ _S	0.0316815 1/m	M _S	98.67 T -m	Φ _S	0.0319367 1/m	M _S	98.67 T -m	Φ _S	0.0319367 1/m
M _u	98.58 T -m	Φ _U	0.0316815 1/m	M _u	105.56 T -m	Φ _U	0.0488016 1/m	M _u	105.56 T -m	Φ _U	0.0488016 1/m
u	3.8	Rs	1.03	u	5.85	Rs	1.1	u	5.85	Rs	1.1

La figura 4.6 muestra el diagrama momento curvatura de la viga modelada con estribos de 8 mm de diámetro, nótese que se produce una falla por corte ya que el Mu que esta viga alcanzaría de no considerarse la falla a corte sería de 144.23 T –m, sin embargo, debido al efecto del corte esta viga solo alcanza un Mu de 105.56 T-m

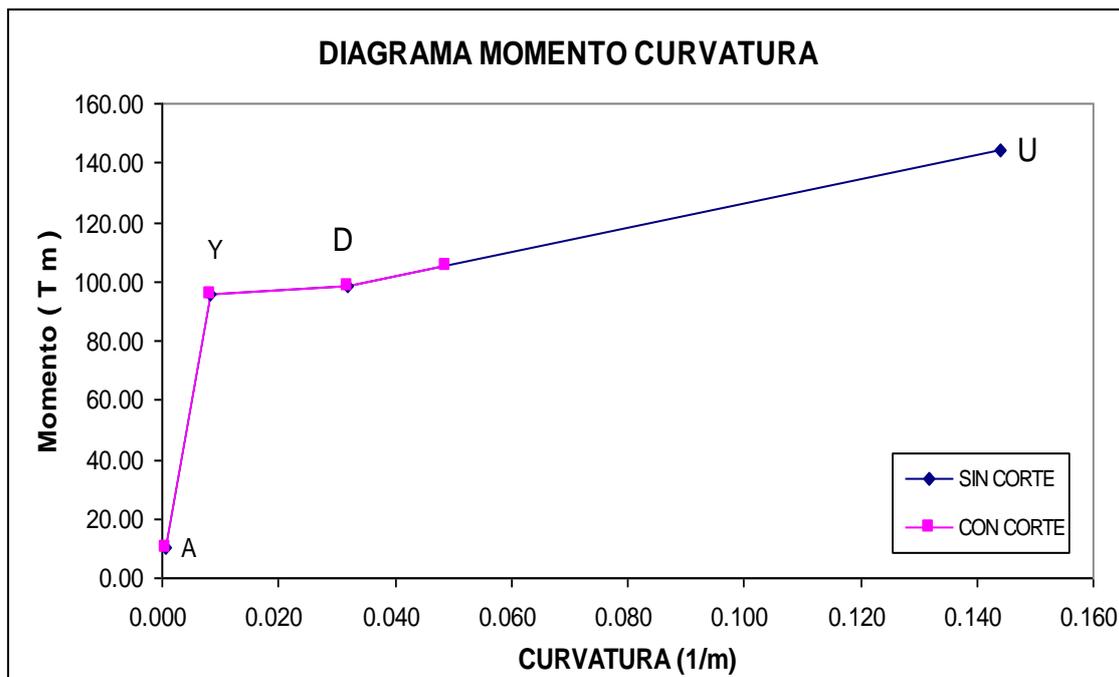


Figura 4.6 Momento curvatura de una viga de 50 cm. por 60 cm. (Caso 2)

4.2 MODELO DE PLASTICIDAD DE THOM (1983)

La figura 4.7 muestra el modelo de plasticidad adoptado por Thom et al (1983), este modelo concentra la plasticidad en un resorte rotacional y uno vertical en sus dos extremos

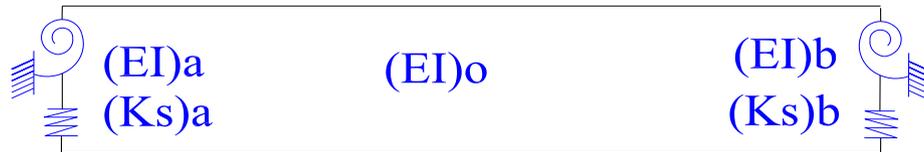


Figura 4.7 Modelo de plasticidad de Thom et al 1983

Se llama $(EI)_a$, $(EI)_o$, $(EI)_b$ a la rigidez en el nudo inicial, en el centro y en el nudo final respectivamente, hay que indicar que estos términos se obtienen del diagrama momento curvatura, $(K_s)_a$, es la rigidez a corte en el nudo inicial, y $(K_s)_b$ la rigidez a corte en el nudo final. La matriz de flexibilidad para este modelo es la siguiente:

$$f = \begin{bmatrix} \frac{L'}{6(EI)_o} \left(1 + \frac{(EI)_o}{(EI)_a} \right) + \frac{1}{K_s(L')^2} & -\frac{L'}{6(EI)_o} + \frac{1}{K_s(L')^2} \\ -\frac{L'}{6(EI)_o} + \frac{1}{K_s(L')^2} & \frac{L'}{6(EI)_o} \left(1 + \frac{(EI)_o}{(EI)_b} \right) + \frac{1}{K_s(L')^2} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

4.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G

Los tres primeros capítulos del presente estudio han hecho énfasis en mostrar curvas de fragilidad para la zona de mayor peligrosidad sísmica del país porque en esta zona se encuentran las principales ciudades del Ecuador como lo son: Quito, Riobamba, Manta, Ibarra etc.

Además de ello se determinó anteriormente las curvas de fragilidad para esta zona de mayor peligrosidad sísmica y en ellas se vio la influencia del refuerzo transversal mediante tres casos de análisis los mismos que fueron detallados en el capítulo 3.

Las curvas de fragilidad para 0.4 g en el caso de usar estribos de 8 mm en vigas y columnas ya fueron determinadas en el capítulo 2 por lo que resultaría inútil y

poco valioso colocarlas una vez más por lo que a continuación se presentan las curvas de fragilidad obtenidas para el caso 1 en las otras zonas sísmicas del país

4.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.3 G

Para obtener estas curvas previamente se normalizaron los sismos a 0.3 g utilizando los factores de variación respectivos que se indicaron en la tabla 2.3 del capítulo 2, así también como en los casos descritos anteriormente se hizo una selección de datos en función del nivel de confianza finalmente luego de realizar 288 corridas se tuvieron los siguientes resultados referentes a valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos peruanos con un refuerzo transversal de 8 mm en vigas y columnas en la zona III.

Tabla 4.2 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA III

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA III CASO 1							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.7712	1.1080	0.5907	0.5500	0.6141	0.5432	0.6933
DESVIACION	0.1061	0.3807	0.0945	0.1145	0.1355	0.1282	0.2686
LN MEDIA	-0.2598	0.1026	-0.5265	-0.5978	-0.4876	-0.6103	-0.3663

Como se puede observar estos valores varían en relación con los valores que se presentaron en la tabla 2.13, en los que se presentaban los valores obtenidos para estructuras que tenían el mismo refuerzo longitudinal y transversal pero que se hallaban en la zona IV, es fácil entonces indicar que los valores de drift medio varían de un 25 a un 35 % menos en relación a los presentados en la tabla 2. 13, los porcentajes de disminución de los drifts máximos de las zonas I, II y III con respecto a la zona IV serán presentados al final de este capítulo

Por medio de EXCEL se obtuvieron los valores para cada curva fragilidad pertenecientes a la zona III y con un refuerzo transversal de 8 mm en vigas y columnas que se resumen a continuación

Tabla 4.3 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III caso 1

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA III CASO 1						
DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.35	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
0.4	0.0000	0.0037	0.0000	0.0027	0.0008	0.0085
0.45	0.0000	0.0090	0.0020	0.0399	0.0109	0.0710
0.5	0.0000	0.0183	0.0389	0.2026	0.0647	0.2590
0.55	0.0007	0.0329	0.2252	0.4999	0.2081	0.5387
0.6	0.0090	0.0536	0.5660	0.7763	0.4321	0.7811
0.65	0.0536	0.0806	0.8445	0.9277	0.6626	0.9193
0.7	0.1807	0.1139	0.9639	0.9824	0.8331	0.9761
0.75	0.3965	0.1527	0.9943	0.9966	0.9299	0.9941
0.8	0.6353	0.1961	0.9993	0.9995	0.9745	0.9987
0.85	0.8205	0.2431	0.9999	0.9999	0.9918	0.9998
0.9	0.9273	0.2925	1.0000	1.0000	0.9976	1.0000
0.95	0.9753	0.3431	1.0000	1.0000	0.9994	1.0000
1	0.9928	0.3938	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000
1.05	0.9982	0.4438	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	0.9996	0.4924	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	0.9999	0.5389	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	0.5830	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	0.6243	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	0.6626	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	0.6981	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	0.7305	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	0.7601	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	0.7869	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	0.8110	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	0.8327	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	0.8522	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	0.8696	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	0.8850	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	0.8987	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	0.9109	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	0.9217	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	0.9312	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	0.9396	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	0.9470	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	0.9535	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	0.9592	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	0.9642	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	0.9686	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	0.9725	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	0.9759	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	0.9788	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	0.9814	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	0.9837	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	0.9857	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	0.9875	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	0.9890	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	0.9903	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	0.9915	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	0.9926	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	0.9935	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	0.9942	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	0.9949	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	0.9956	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	0.8971	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Con los valores presentados anteriormente se obtuvieron las siguientes curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III y con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas (CASO 1)

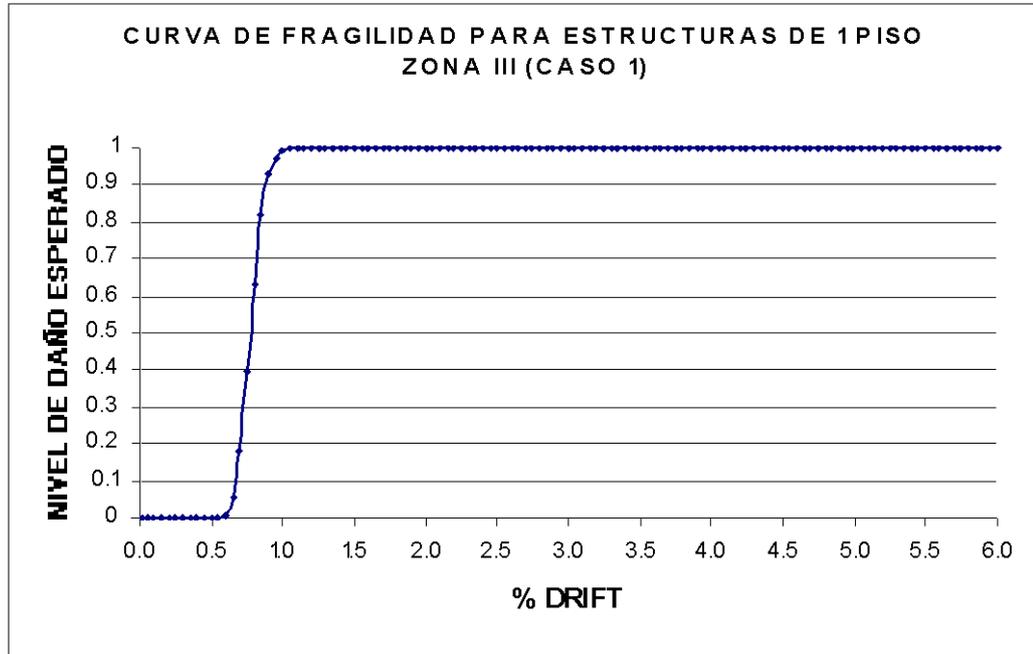


Figura 4.8 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona III

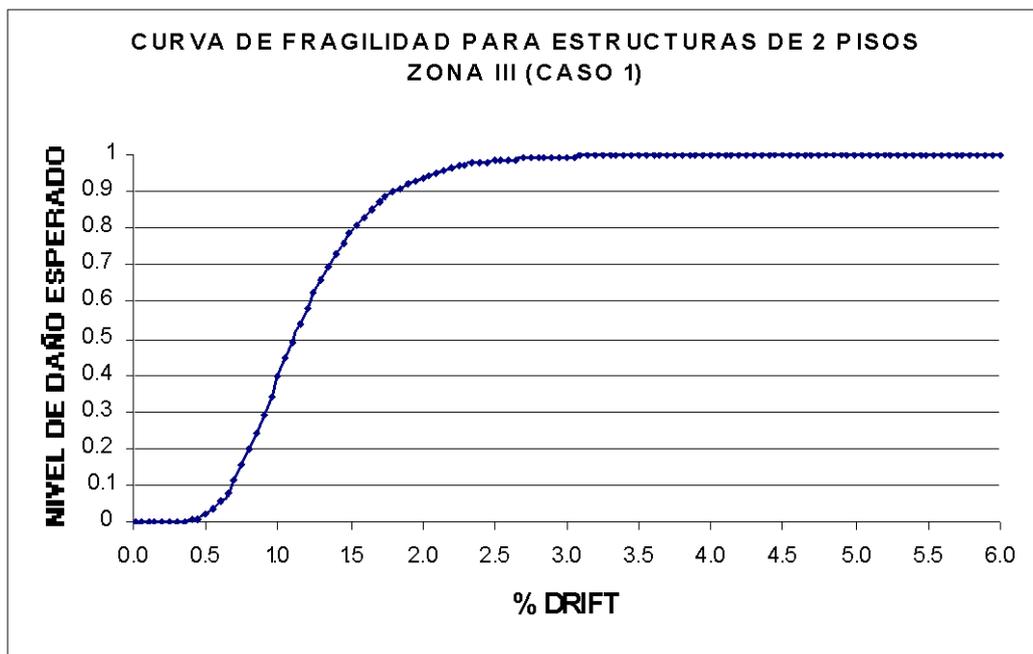


Figura 4.9 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona III

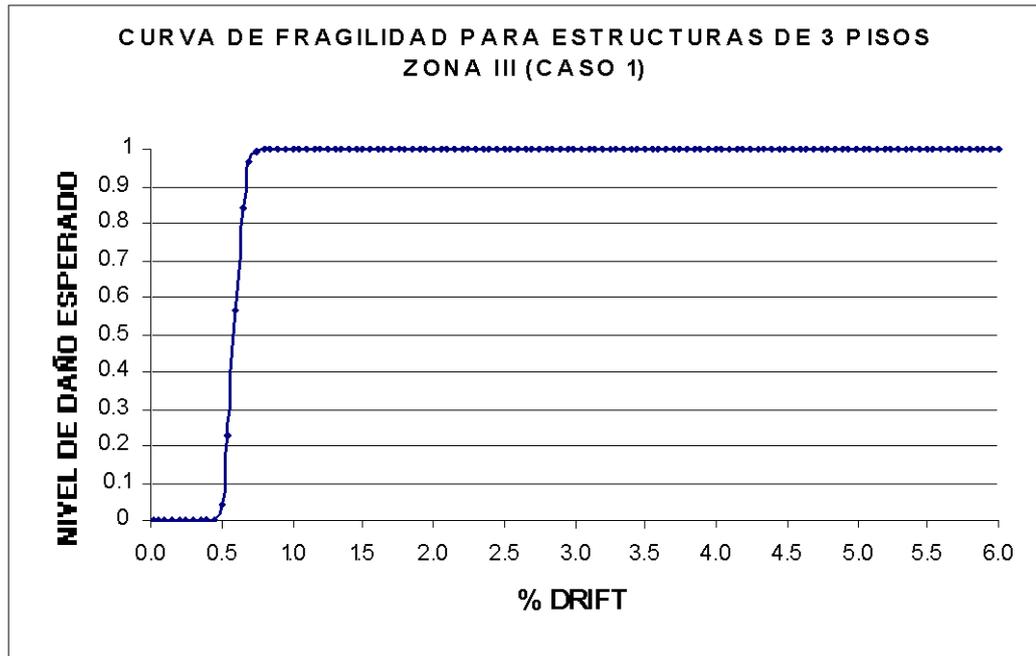


Figura 4.10 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona III

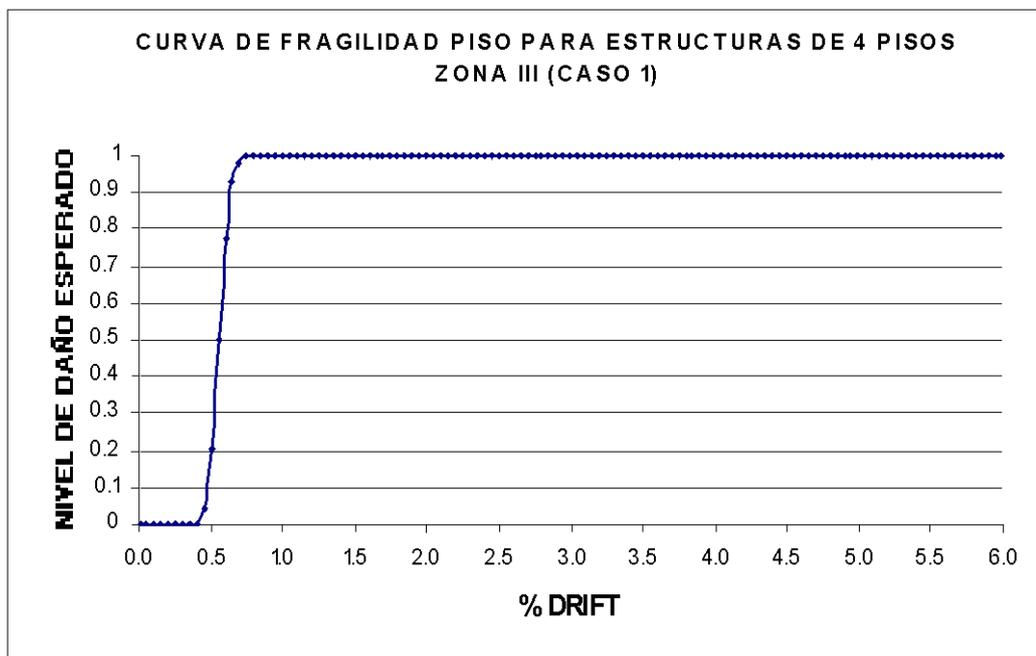


Figura 4.11 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona III

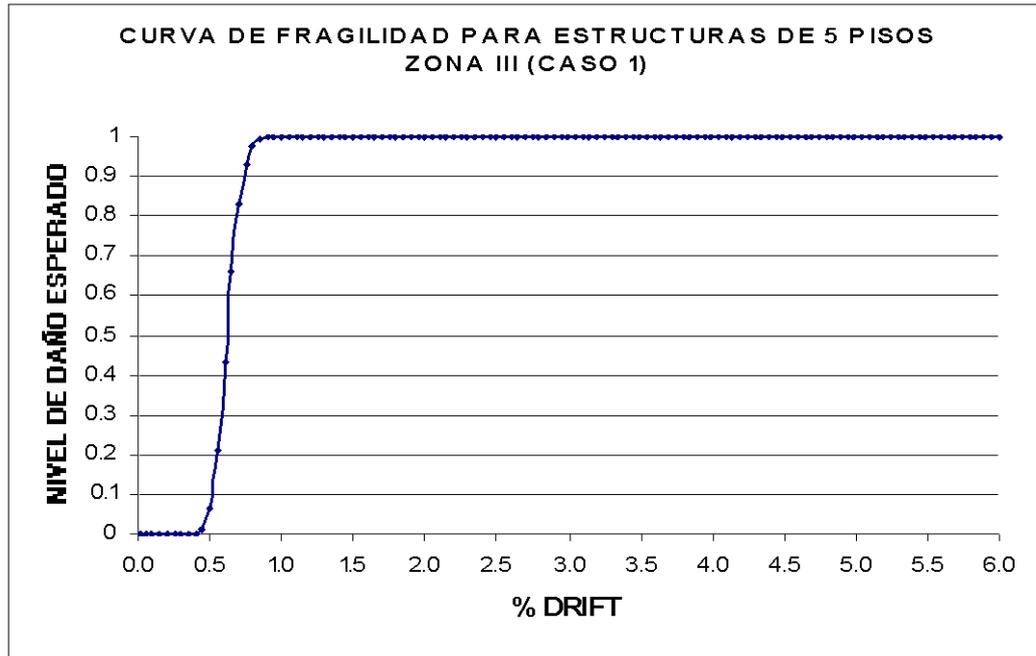


Figura 4.12 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona III

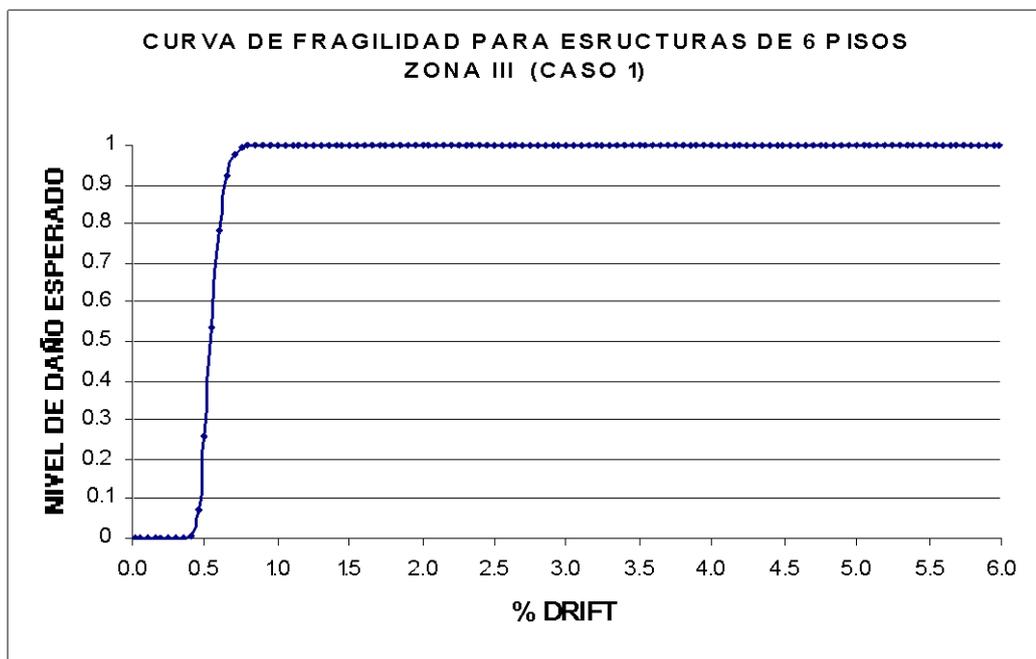


Figura 4.13 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona III

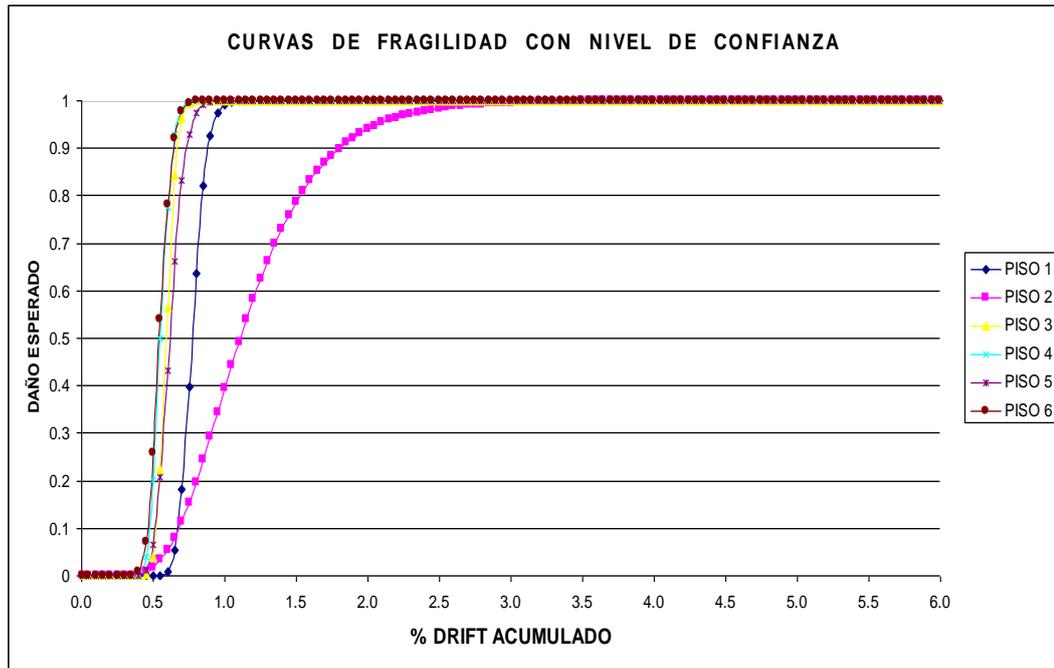


Figura 4.14 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona III con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

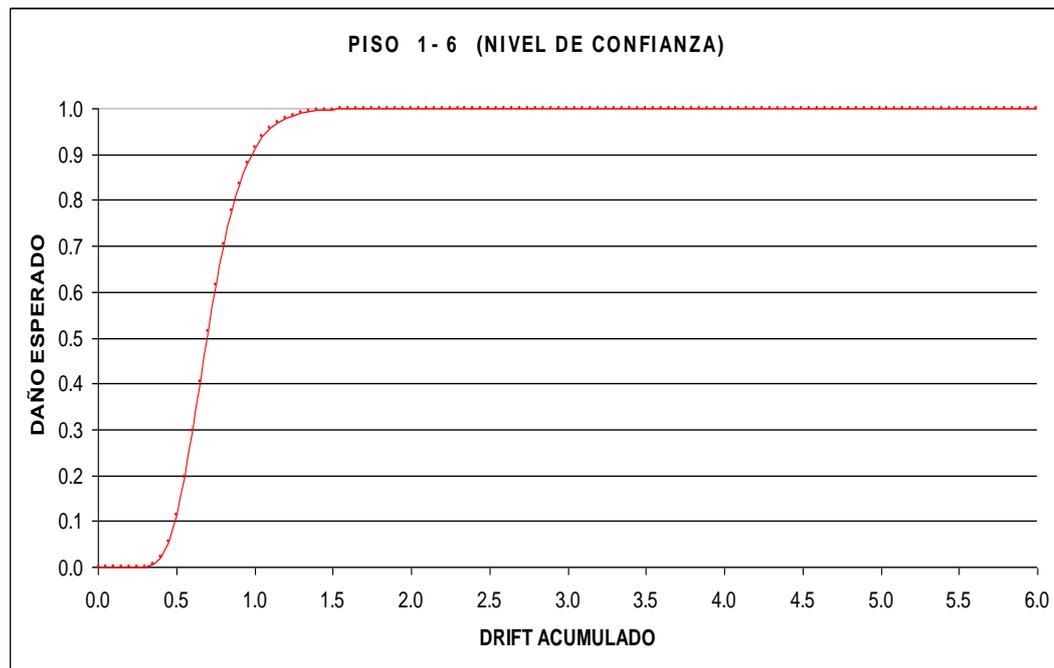


Figura 4.15 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona III con un estribo simple de 8 mm en vigas y en columnas

4.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.25 G

Se normalizo los sismos a 0.25 g utilizando los factores de variación respectivos, igualmente como en los casos descritos anteriormente se hizo una selección de datos en función del nivel de confianza. Finalmente luego de realizar 288 corridas en IDARC se tuvieron los siguientes resultados de valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal de 8mm en vigas y columnas en la zona II.

Tabla 4.4 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA II

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA II CASO 1							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.6564	0.8495	0.4895	0.4419	0.5058	0.4502	0.5636
DESVIACION	0.1035	0.2352	0.0785	0.0707	0.1115	0.1213	0.1926
LN MEDIA	-0.4209	-0.1631	-0.7143	-0.8167	-0.6817	-0.7982	-0.5735

Para todas las estructuras se ve que los valores de drift medio descienden en un 40 % en relación con los valores que se presentaron en la tabla 2.13, en los que se presentaban los valores obtenidos para estructuras que tenían el mismo acero longitudinal y transversal pero que se hallaban en la zona IV

Se resumen a continuación los valores con los que se determino las curvas de fragilidad pertenecientes a la zona II y con un refuerzo transversal de 8 mm en vigas y columnas, y posteriormente se presentan dichas curvas.

Tabla 4.5 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona II caso 1

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA II CASO 1						
DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004
0.35	0.0000	0.0001	0.0000	0.0005	0.0005	0.0190
0.4	0.0000	0.0007	0.0050	0.0794	0.0177	0.1651
0.45	0.0001	0.0034	0.1416	0.6014	0.1475	0.4989
0.5	0.0043	0.0121	0.6062	0.9597	0.4592	0.8067
0.55	0.0437	0.0323	0.9311	0.9990	0.7740	0.9507
0.6	0.1926	0.0696	0.9952	1.0000	0.9373	0.9911
0.65	0.4621	0.1275	0.9998	1.0000	0.9878	0.9988
0.7	0.7326	0.2052	1.0000	1.0000	0.9982	0.9999
0.75	0.9010	0.2981	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000
0.8	0.9720	0.3992	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.85	0.9937	0.5010	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9	0.9988	0.5969	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	0.9998	0.6827	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	1.0000	0.7560	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.05	1.0000	0.8162	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	1.0000	0.8640	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	1.0000	0.9011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	0.9290	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	0.9497	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	0.9648	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	0.9755	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	0.9832	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	0.9885	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	0.9922	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	0.9947	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	0.9964	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	0.9976	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	0.9984	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	0.9989	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	0.9993	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

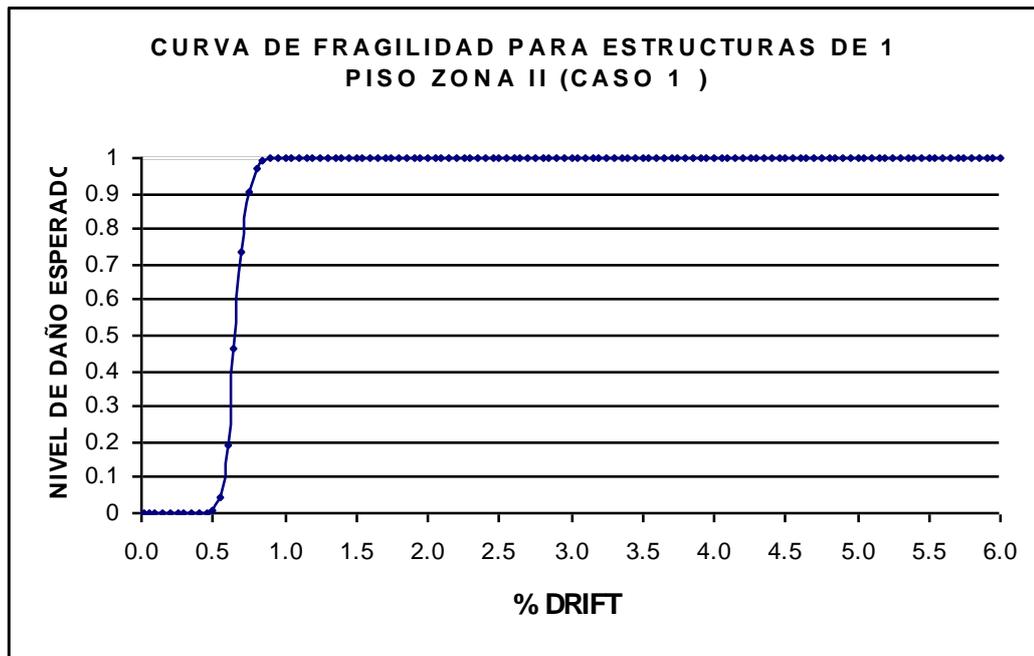


Figura 4.16 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona II

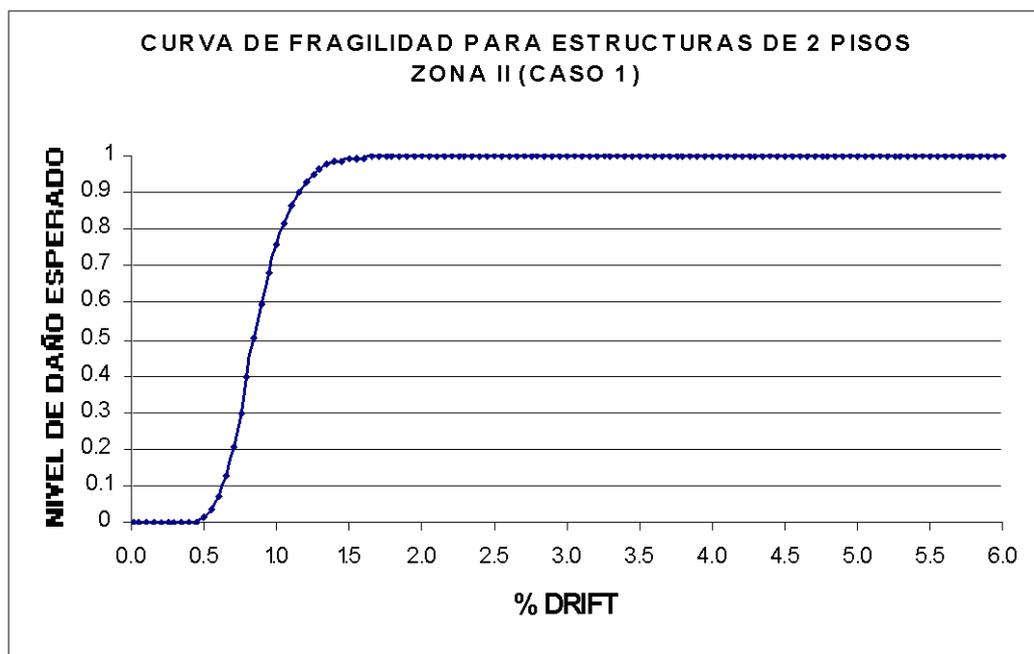


Figura 4.17 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona II

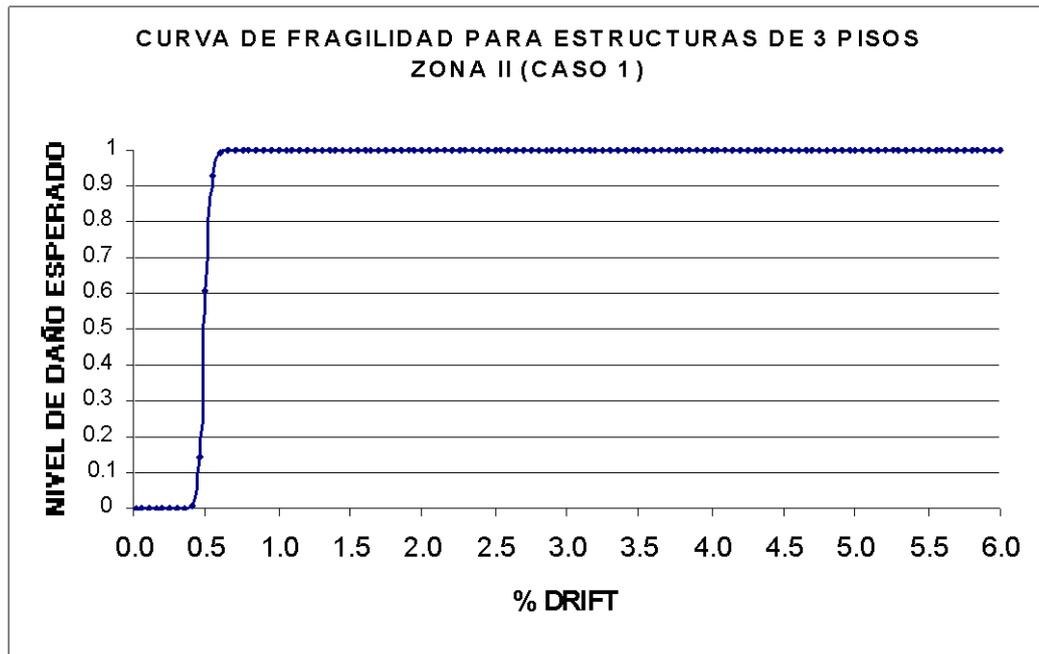


Figura 4.18 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona II

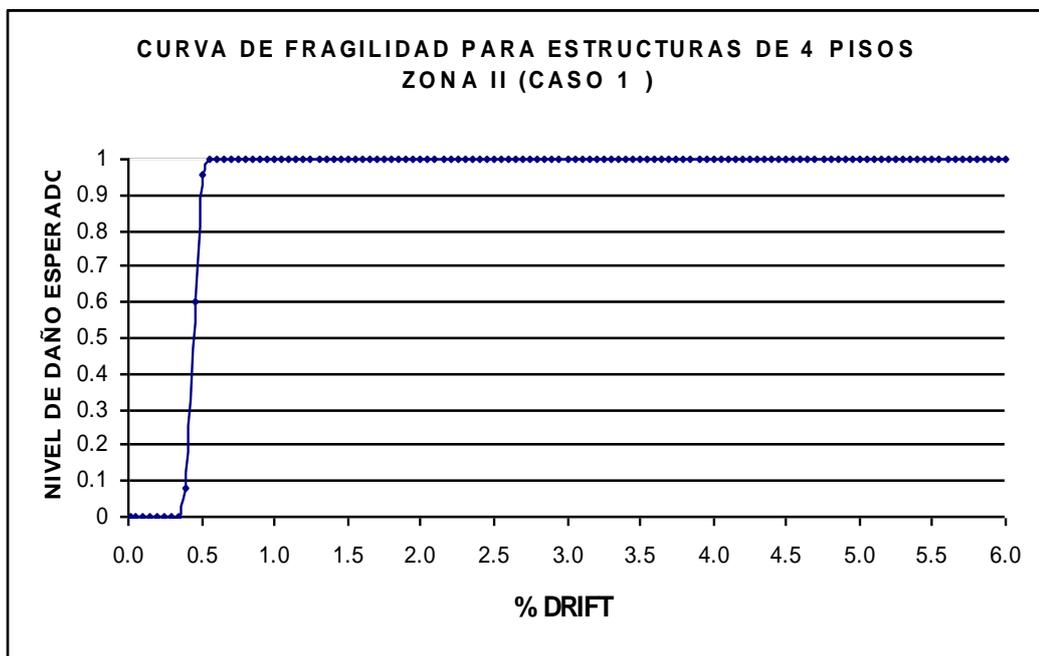


Figura 4.19 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona II

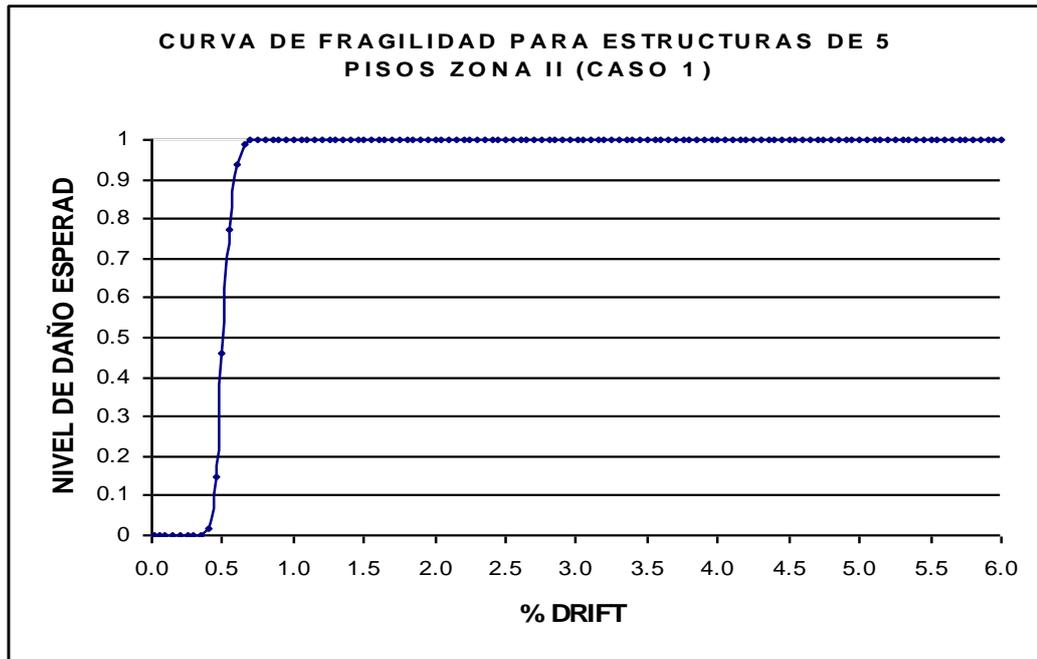


Figura 4.20 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona II

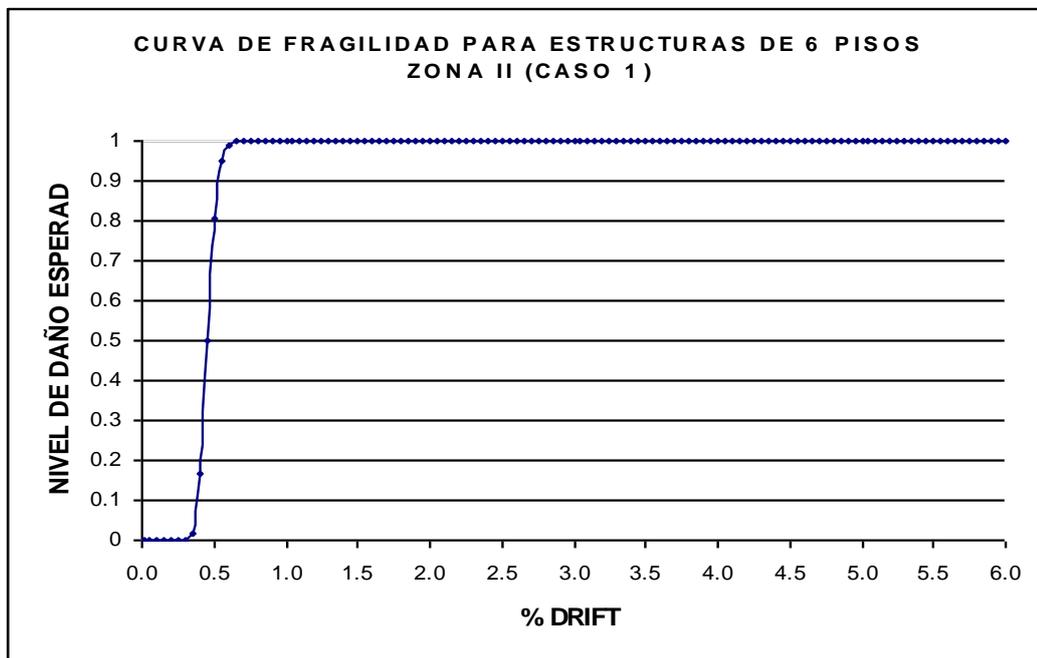


Figura 4.21 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona II

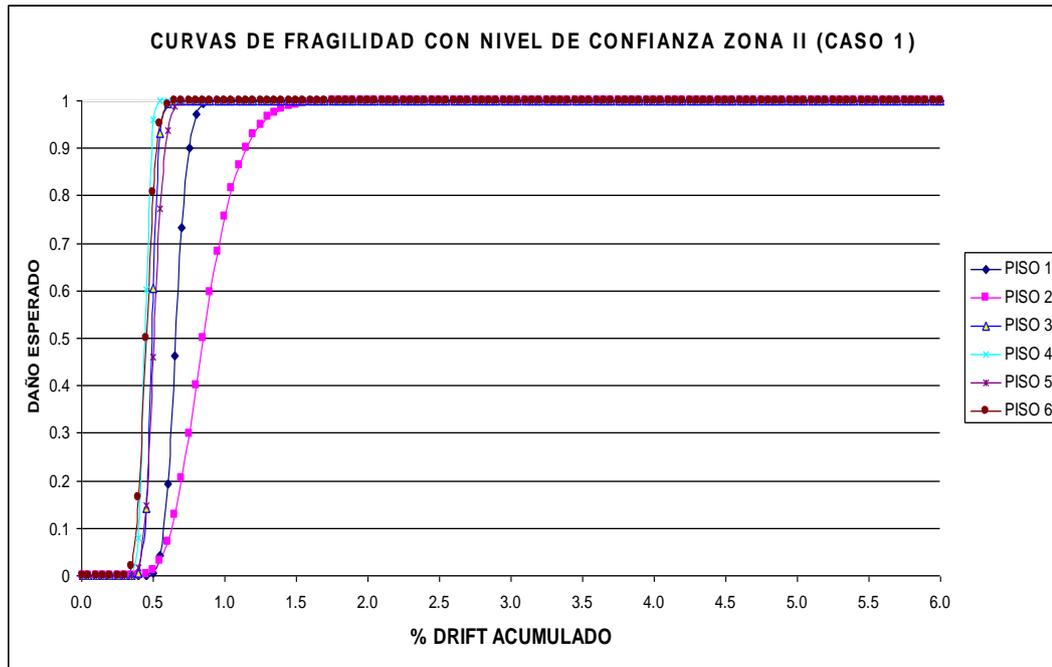


Figura 4.22 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos zona II

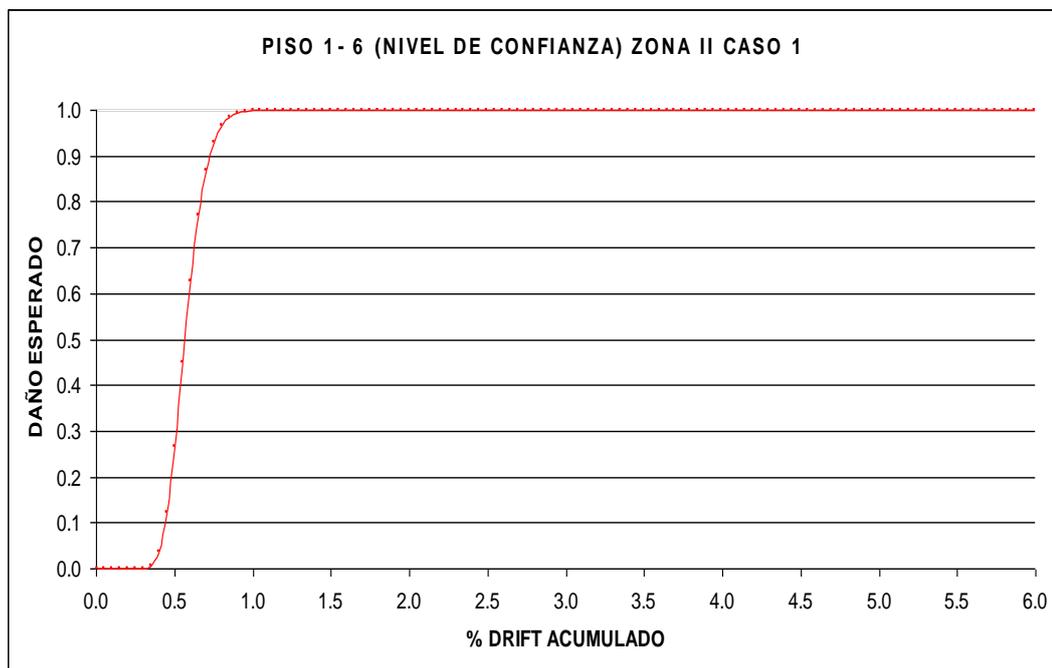


Figura 4.23 Curva de fragilidad promedio para estructuras de 1 a 6 pisos zona II

4.6 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.15 G

La zona I es la de menor peligrosidad sísmica, no por ello se debe sobrestimar la vulnerabilidad que en esta zona tienen las diferentes estructuras, por lo que usando sismos normalizados a 0.15 g, seleccionando los datos en función del nivel de confianza y luego de realizar 288 corridas en IDARC se tuvo los siguientes resultados para determinar los valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal de 8mm en vigas y columnas en la zona I

Tabla 4.6 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA I

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA I CASO 1							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.4029	0.4816	0.2922	0.2632	0.2926	0.2591	0.3320
DESVIACION	0.0818	0.0874	0.0470	0.0407	0.0509	0.0519	0.1022
LN MEDIA	-0.9091	-0.7306	-1.2302	-1.3348	-1.2288	-1.3504	-1.1027

Los valores de drift medio descienden en relación con los valores que se presentaron en la tabla 2.13, en un 60 % esto nos hace concluir que efectivamente en esta zona las estructuras son menos vulnerables al daño, esto se reflejara en las curvas de fragilidad, por lo tanto se obtuvieron los valores para cada curva de fragilidad pertenecientes a la zona I y con un refuerzo transversal de 8 mm en vigas y columnas a partir de los valores mostrados en la tabla 4.6 que se resumen a continuación

Tabla 4.7 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I caso 1

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA I CASO 1						
DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6

0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0004	0.1030	0.0010	0.2444
0.3	0.0002	0.0000	0.7114	0.9993	0.6872	0.9976
0.35	0.0427	0.0001	0.9999	1.0000	0.9998	1.0000
0.4	0.4652	0.0168	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.45	0.9120	0.2186	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	0.9959	0.6657	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.55	0.9999	0.9356	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.6	1.0000	0.9940	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.65	1.0000	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

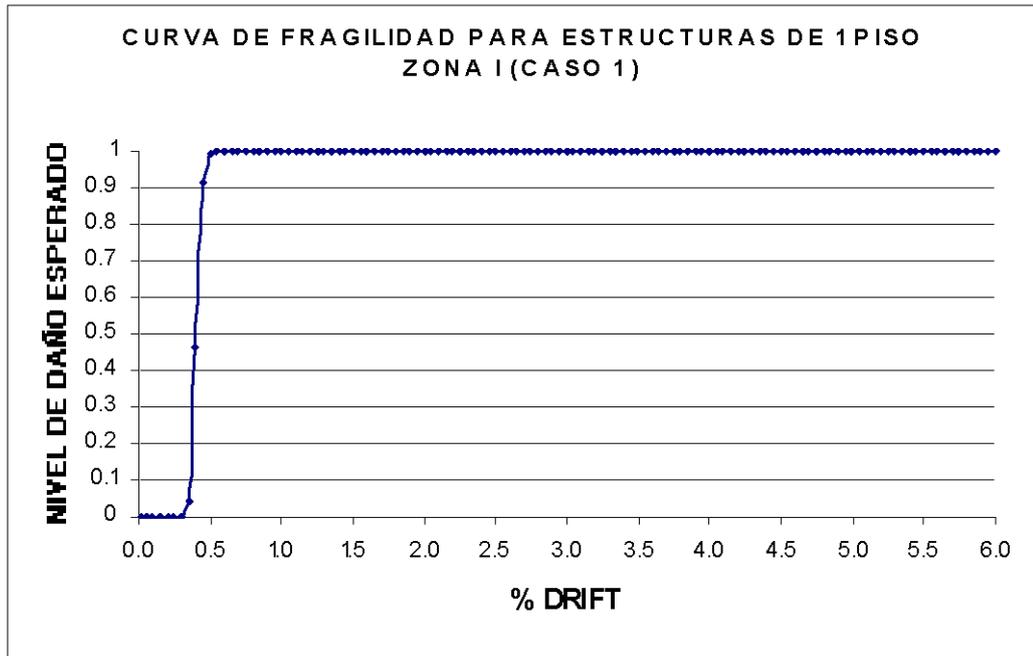


Figura 4.24 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona I

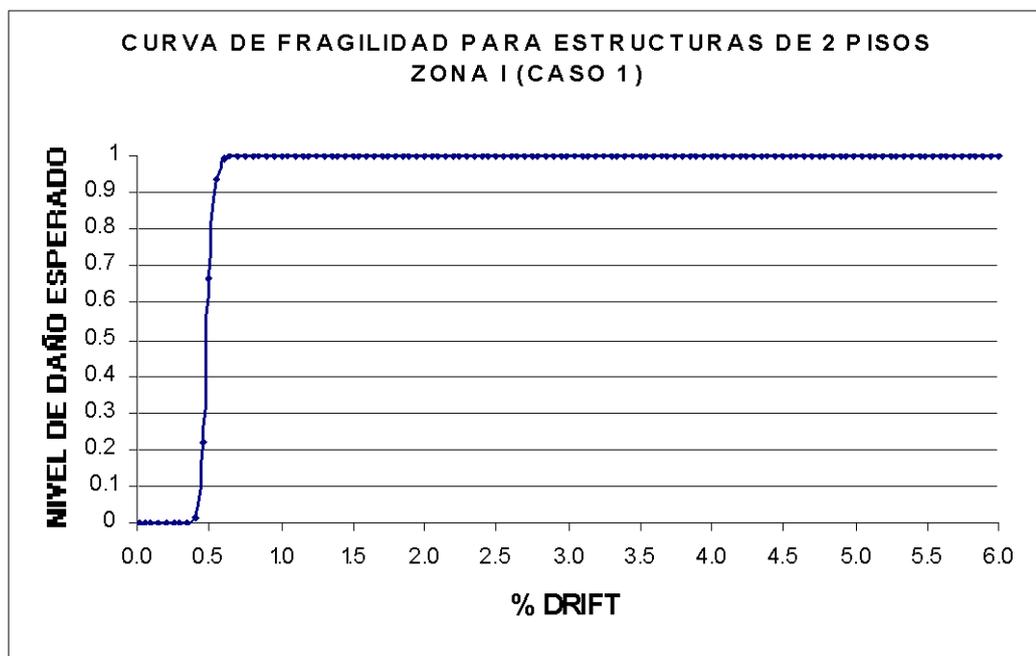


Figura 4.25 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona I

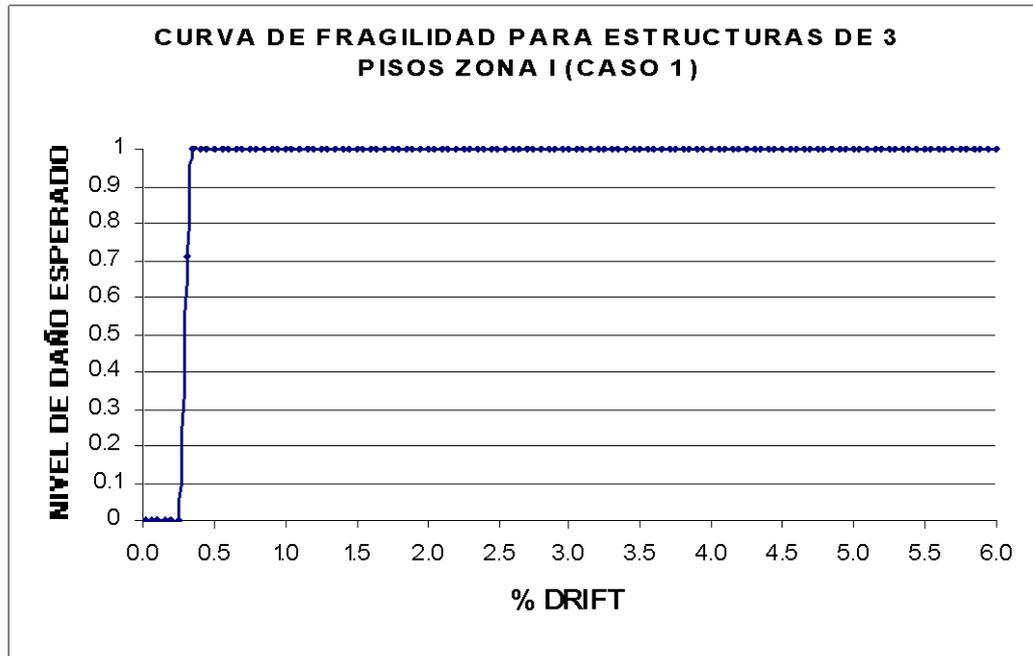


Figura 4.26 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona I

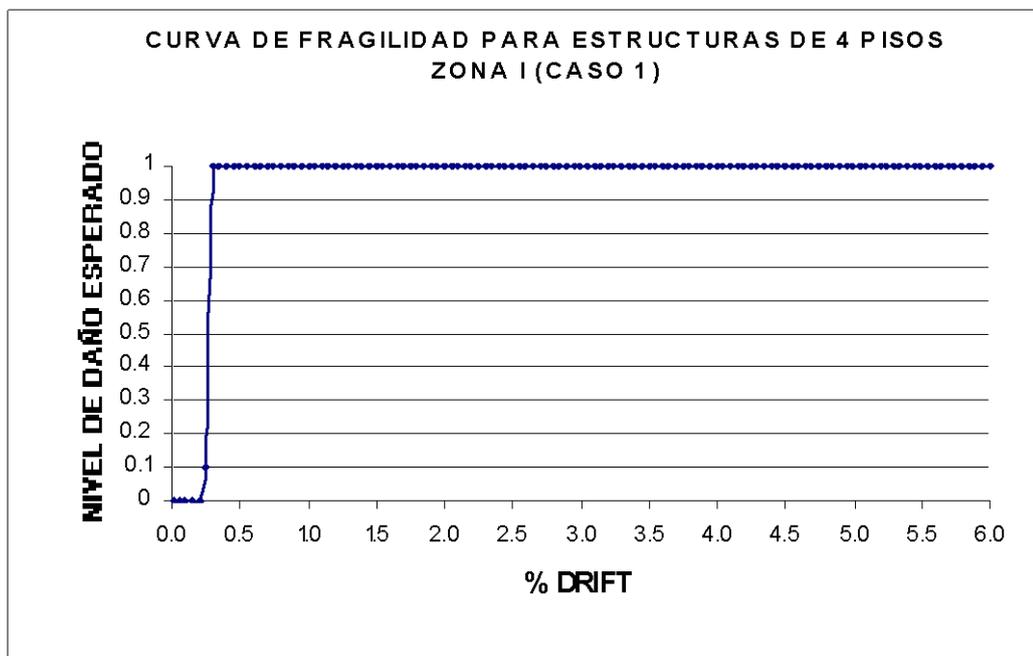


Figura 4.27 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona I

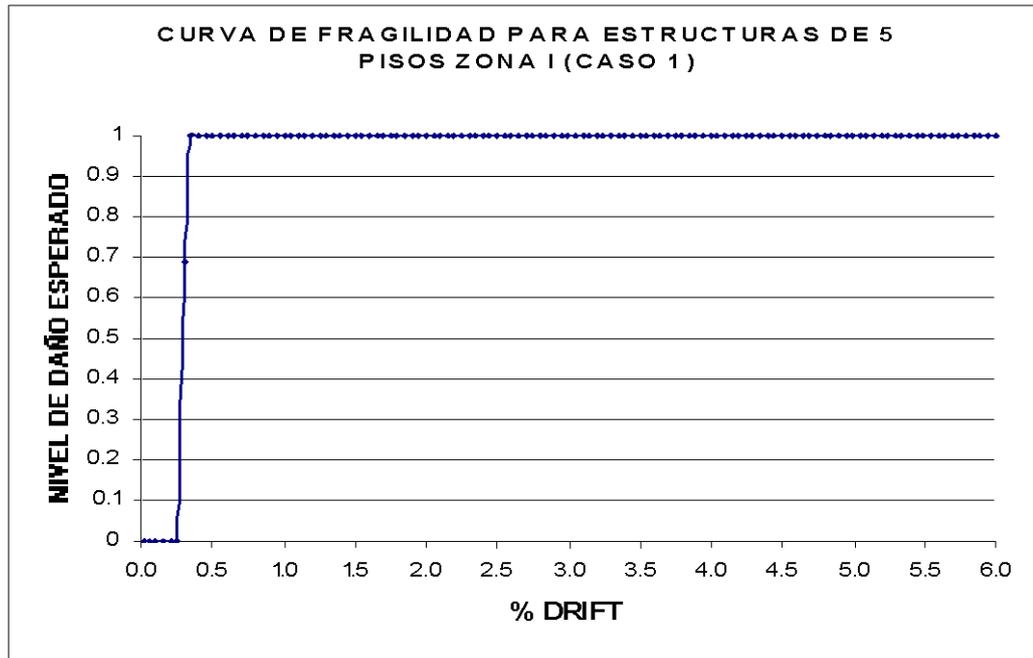


Figura 4.28 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona I

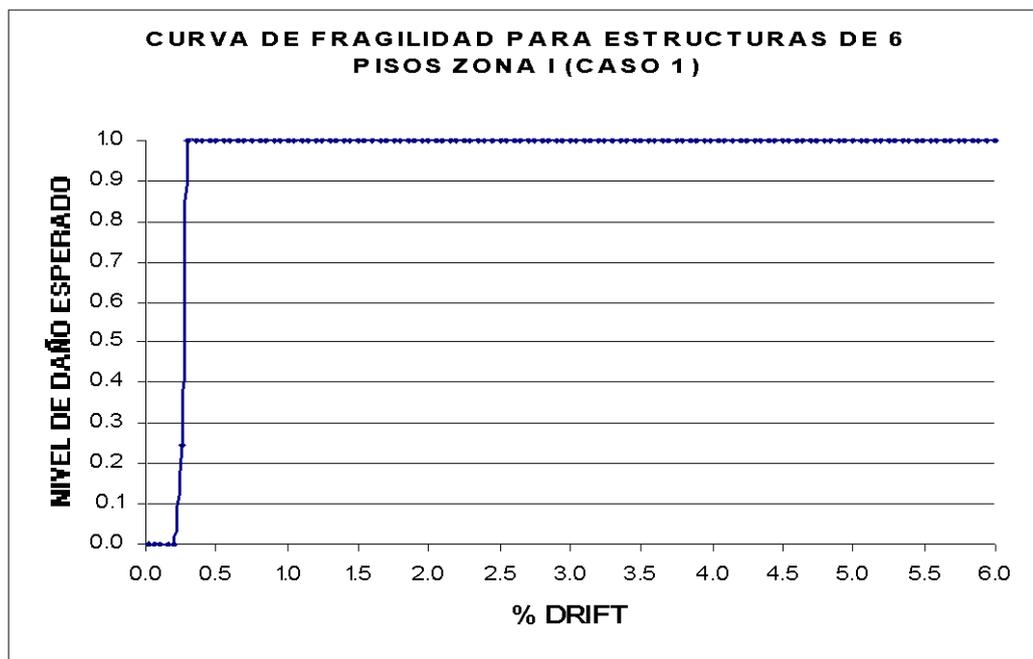


Figura 4.29 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona I

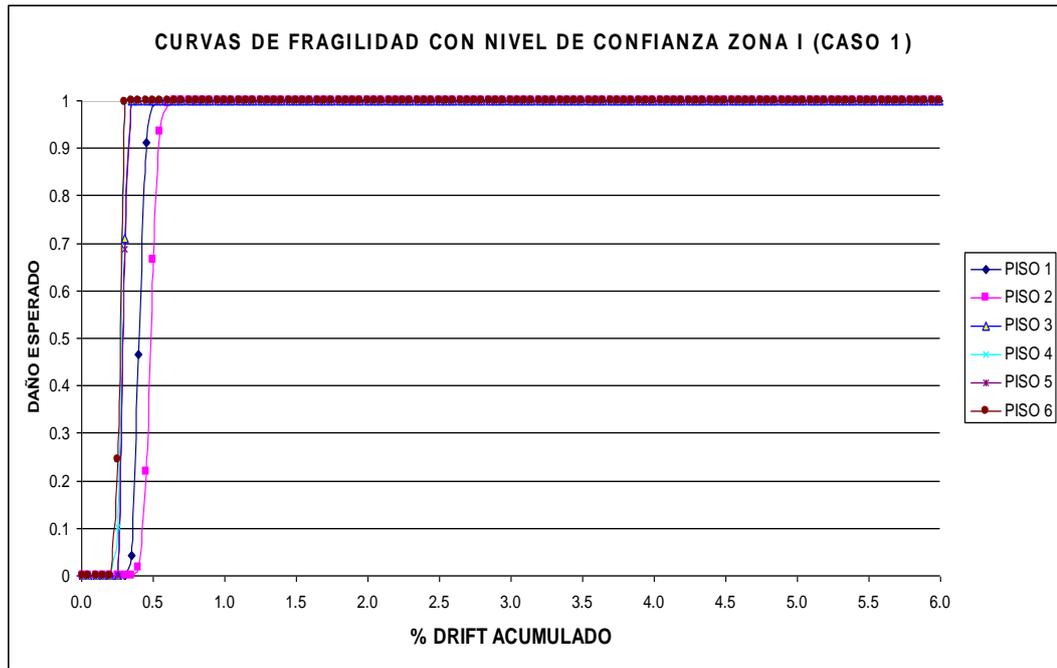


Figura 4.30 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

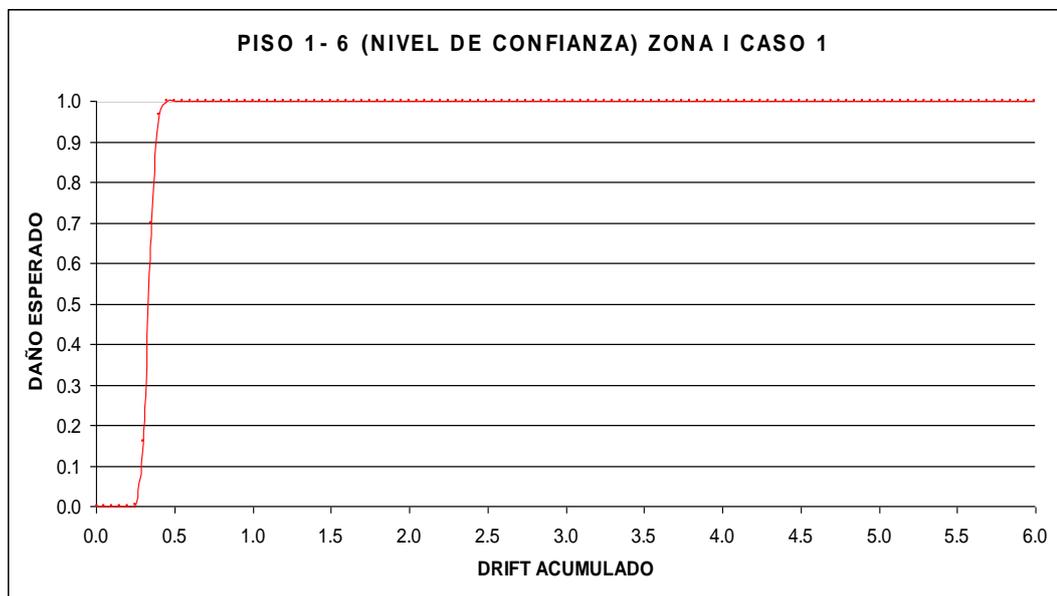


Figura 4.31 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

Una vez que se han presentado las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en las 4 zonas sísmicas del Ecuador para el Caso 1, se indican los porcentajes de disminución del drift máximo obtenido en las zonas I, II y III con respecto al drift máximo obtenido en la zona de mayor peligrosidad sísmica.

Tabla 4.8 Variación del Drift máximo con respecto a la zona IV (Caso 1)

PORCENTAJES DE DISMINUCION DEL DRIFT MÁXIMO CON RESPECTO A LA ZONA IV						
ZONA	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
ZONA III	25.20 %	29.61 %	34.44 %	29.94 %	28.34 %	32.94 %
ZONA II	36.33 %	46.03 %	45.67 %	43.71 %	40.98 %	44.42 %
ZONA I	60.92 %	69.40 %	67.57 %	66.47 %	65.86 %	68.01 %

4.7 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA TODOS LOS CASOS POR PISOS.

Para finalizar el capítulo en las siguientes páginas se presentan las curvas de fragilidad para todas las zonas sísmicas del Ecuador para el caso 1 por piso.

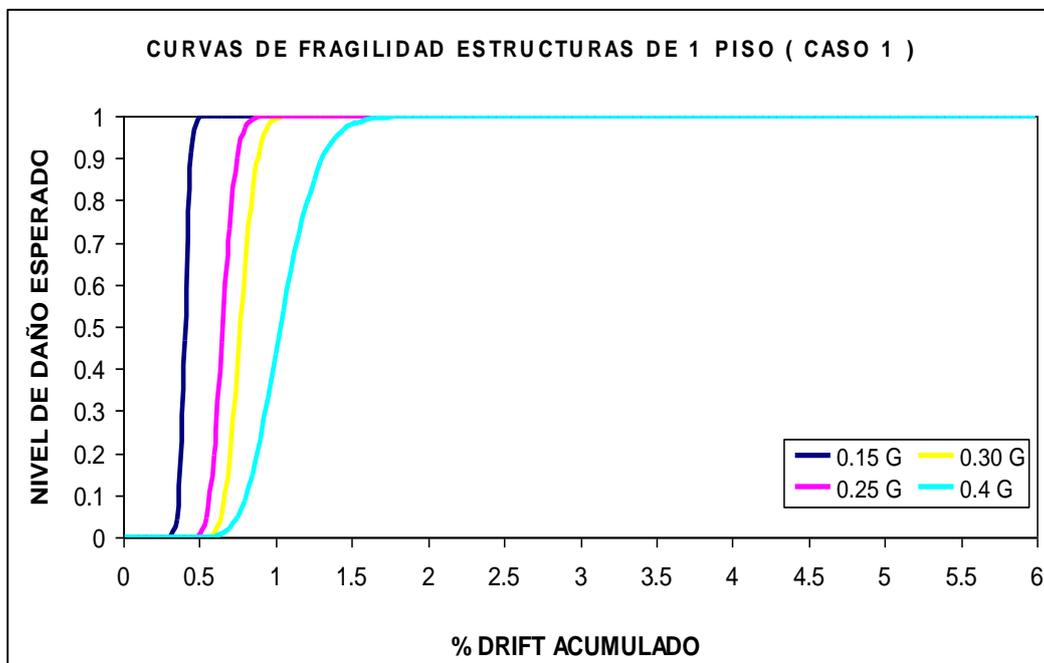


Figura 4.32 Curvas de fragilidad para estructuras de un piso Caso 1

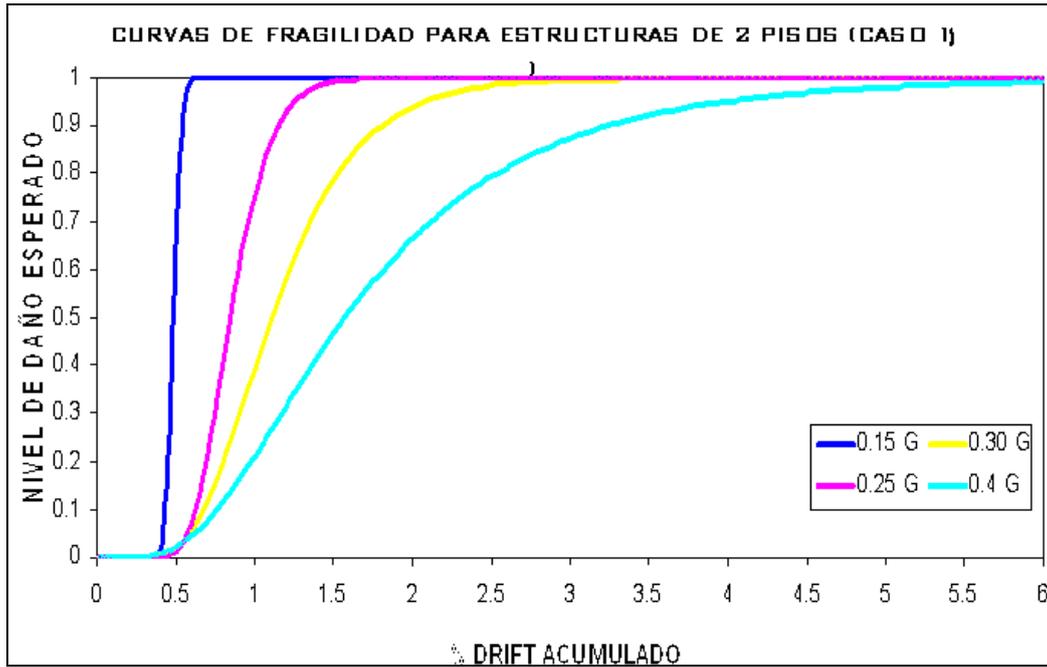


Figura 4.33 Curvas de fragilidad para estructuras de dos pisos Caso 1

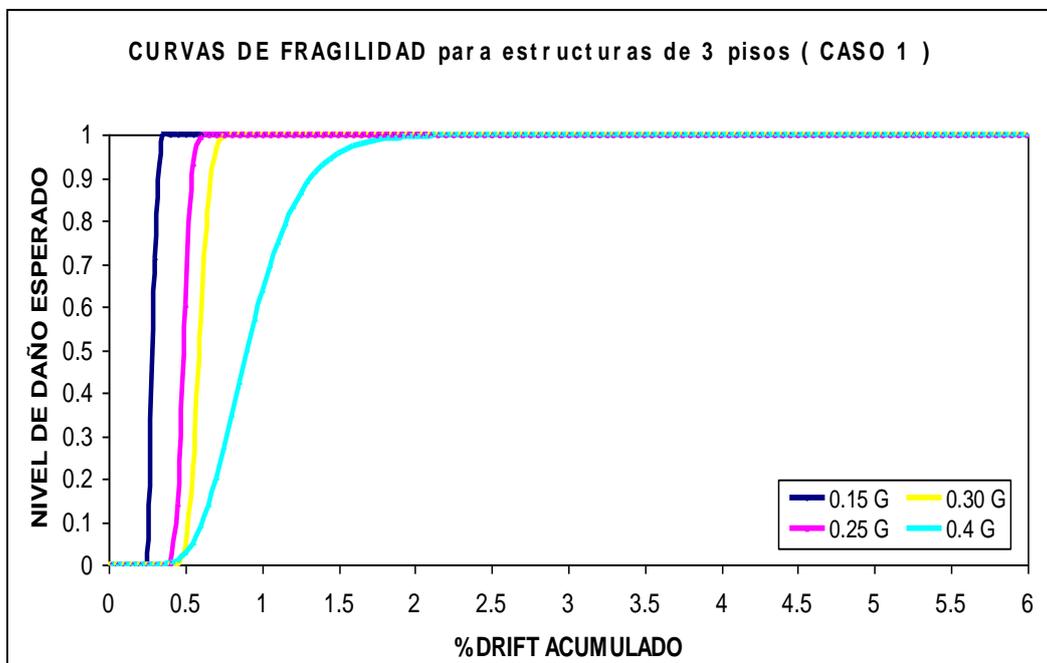


Figura 4.34 Curvas de fragilidad para estructuras de tres pisos Caso 1

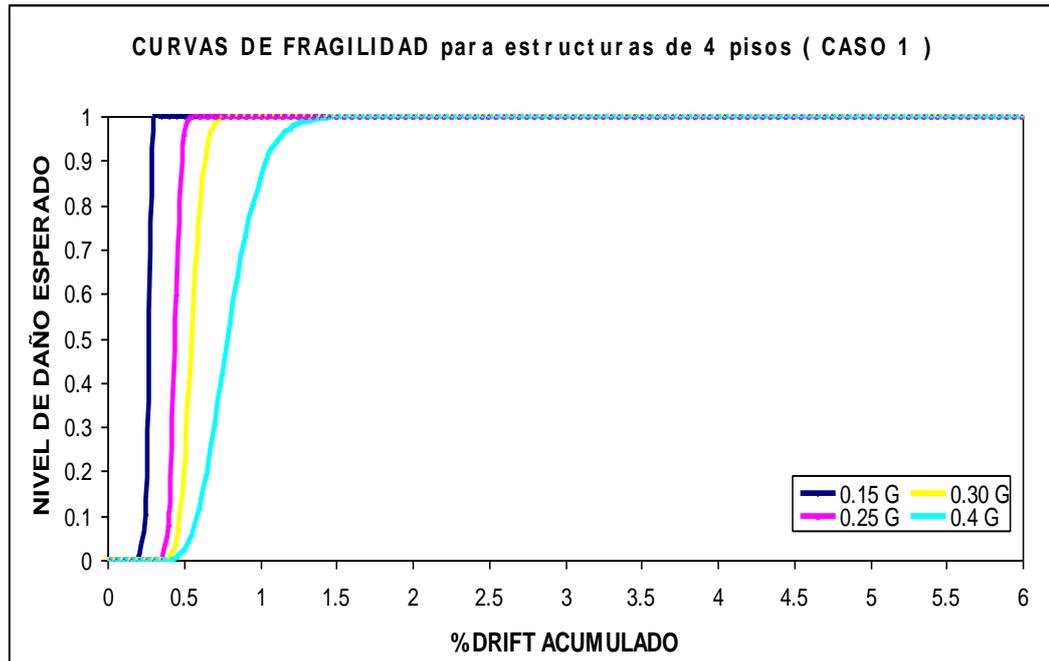


Figura 4.35 Curvas de fragilidad para estructuras de cuatro pisos Caso 1

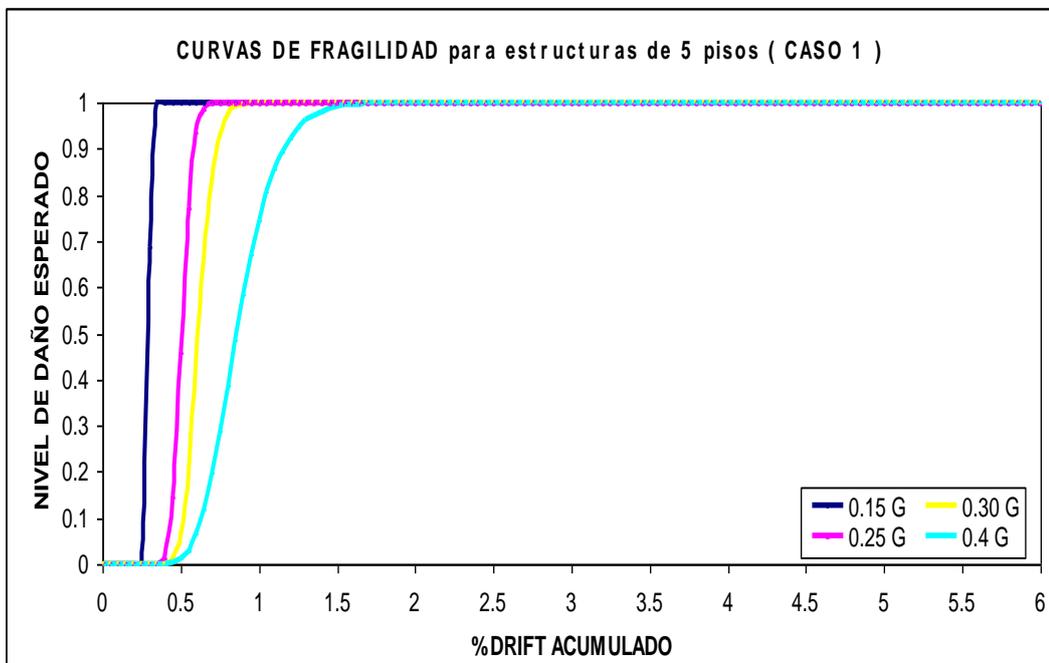


Figura 4.36 Curvas de fragilidad para estructuras de cinco pisos Caso 1

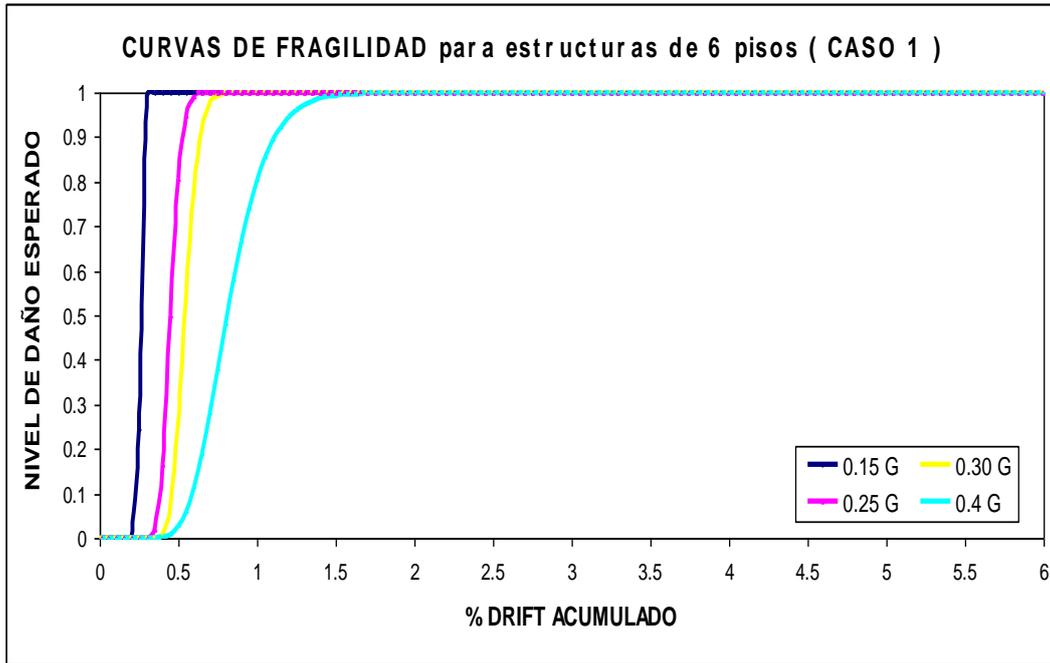


Figura 4.37 Curvas de fragilidad para estructuras de seis pisos Caso 1

4.8 CURVAS DE FRAGILIDAD AGRUPADAS DE 1 A 6 PISOS PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS

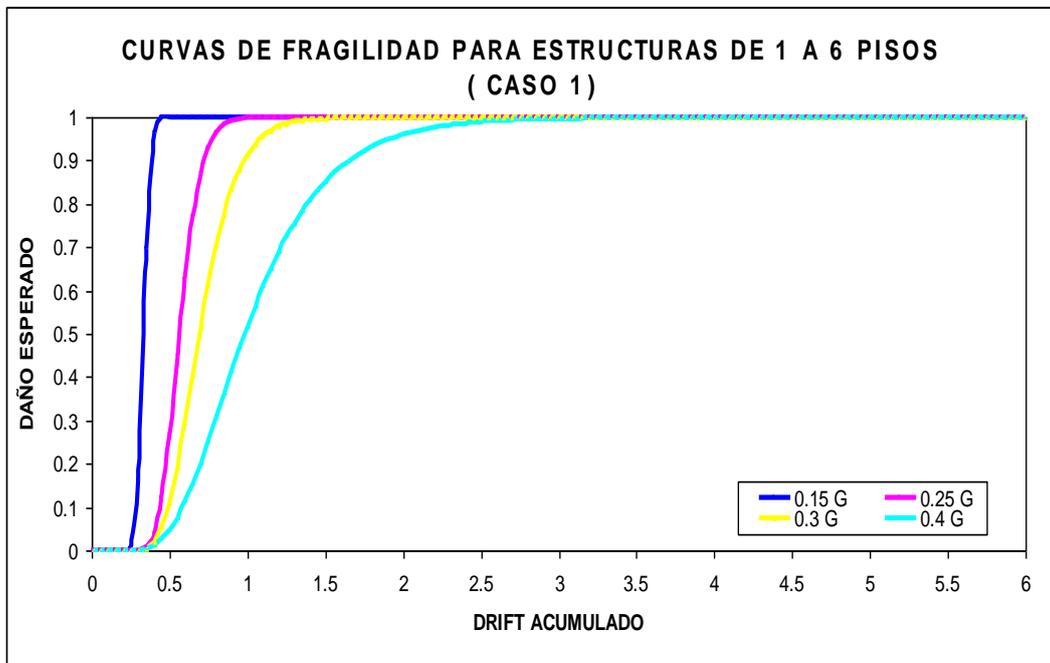


Figura 4.38 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos Caso 1

CAPÍTULO V

CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS DEL ECUADOR CON ESTRIBOS DOBLES DE 10 MM.

RESUMEN

Mediante el uso del IDARC V.4 se determinan los valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas ante 4 eventos sísmicos peruanos con un refuerzo transversal simple de 10 mm en vigas y doble de 10 mm en columnas usando un nivel de confianza $\pm 1\%$ del drift medio, para las cuatro zonas sísmicas establecidas por el Código Ecuatoriano de la Construcción, estableciendo de esta manera las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos para cada una de las zonas sísmicas y posteriormente las curvas de fragilidad para todas las zonas sísmicas en un solo gráfico.

5.1 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.4 G

En el capítulo III se obtuvieron curvas para tres tipos de casos en ellas se indicó la influencia del refuerzo transversal para la zona de mayor peligrosidad sísmica del Ecuador, si bien es cierto la variación fue mínima existió un par de casos en los que se reflejo esta variación como un pequeño porcentaje de la vulnerabilidad.

Por lo anteriormente mencionado es fácil asumir que las curvas que se presenten en este capítulo variarán ligeramente en relación a las presentadas en el capítulo IV, pero es importante dentro de este estudio indicar los resultados que se obtuvieron variando el estribo de 8 mm a 10 mm en vigas y usando un estribo de 10 mm con doble confinamiento en columnas en las demás zonas sísmicas del país.

Las curvas de fragilidad para 0.4 g usando estribos de 10 mm en vigas y columnas ya fueron determinadas en el capítulo III por lo que resultaría inútil colocarlas nuevamente.

Se parte entonces de la elaboración de curvas de fragilidad para las otras 3 zonas sísmicas del Ecuador.

5.2 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.3 G

Se normalizaron los sismos a 0.3 g utilizando los factores de normalización respectivos para esta zona se tuvo los siguientes resultados referentes a valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos del Perú con un refuerzo transversal de 10 mm en vigas y estribos dobles de 10 mm en columnas usando un nivel de confianza. (ZONA III)

Tabla 5.1 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA III

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA III CASO 3							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.7715	1.0896	0.5895	0.5492	0.6118	0.5421	0.6895
DESVIACION	0.1042	0.3665	0.0934	0.1152	0.1322	0.1268	0.2608
LN MEDIA	-0.2595	0.0858	-0.5284	-0.5992	-0.4913	-0.6123	-0.3718

Mediante la distribución logarítmica normal se tuvo los siguientes resultados para elaborar curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III (caso 3)

Tabla 5.2 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona III caso 3

PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA						
DRIFT	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.35	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
0.4	0.0000	0.0031	0.0000	0.0030	0.0007	0.0083
0.45	0.0000	0.0079	0.0019	0.0419	0.0100	0.0710
0.5	0.0000	0.0168	0.0389	0.2076	0.0633	0.2618
0.55	0.0006	0.0311	0.2286	0.5049	0.2101	0.5453
0.6	0.0079	0.0518	0.5746	0.7785	0.4413	0.7881
0.65	0.0501	0.0793	0.8520	0.9281	0.6765	0.9238
0.7	0.1755	0.1137	0.9670	0.9824	0.8458	0.9781
0.75	0.3933	0.1541	0.9950	0.9966	0.9383	0.9948
0.8	0.6363	0.1996	0.9995	0.9995	0.9788	0.9989
0.85	0.8238	0.2490	1.0000	0.9999	0.9936	0.9998
0.9	0.9304	0.3010	1.0000	1.0000	0.9983	1.0000
0.95	0.9771	0.3541	1.0000	1.0000	0.9996	1.0000
1	0.9936	0.4074	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000
1.05	0.9984	0.4597	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	0.9997	0.5103	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	0.9999	0.5585	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	0.6038	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	0.6460	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	0.6850	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	0.7206	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	0.7529	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	0.7822	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	0.8084	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	0.8318	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	0.8527	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	0.8712	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	0.8875	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	0.9019	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	0.9146	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	0.9257	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	0.9354	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	0.9438	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	0.9512	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	0.9577	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	0.9633	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	0.9681	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	0.9724	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	0.9760	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	0.9792	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	0.9820	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	0.9844	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	0.9865	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	0.9883	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	0.9898	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	0.9912	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	0.9923	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	0.9934	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	0.9942	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	0.9950	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	0.9956	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	0.9962	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	0.9971	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

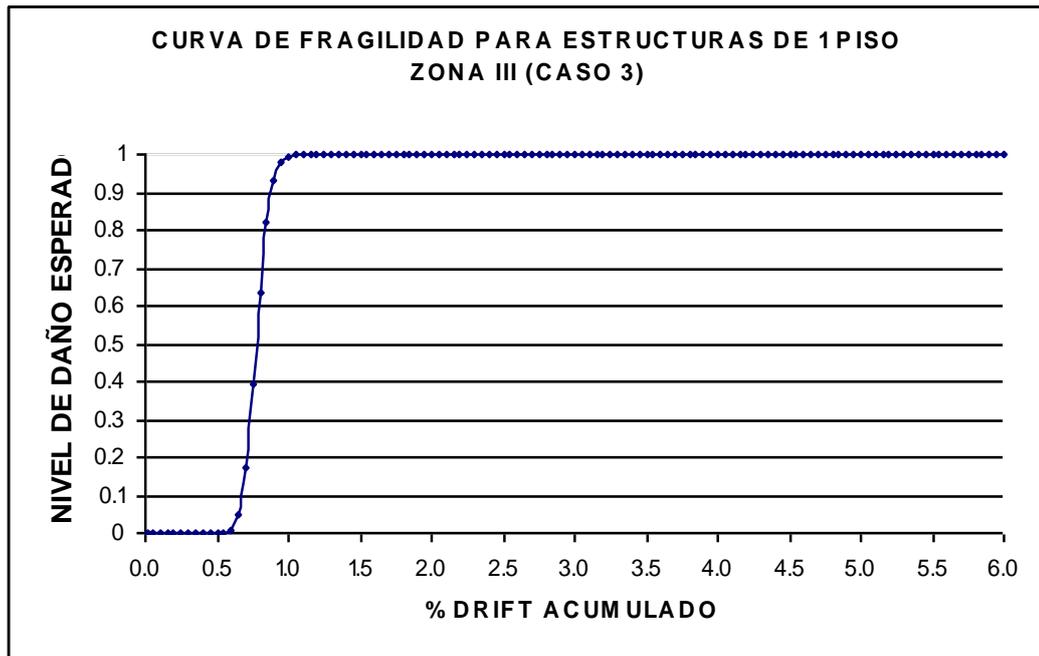


Figura 5.1 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona III

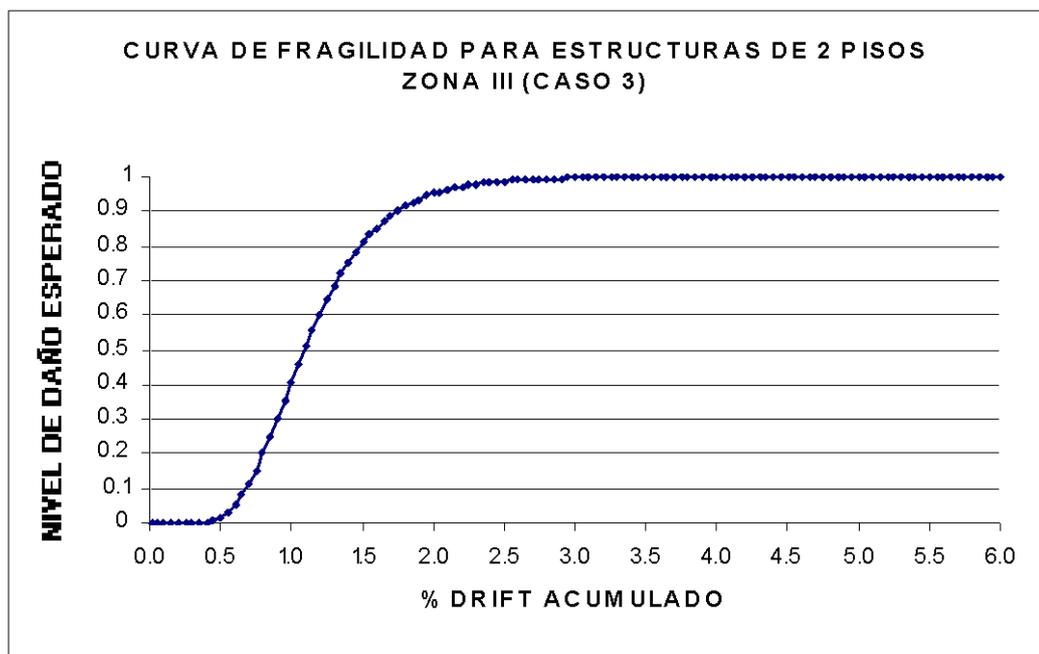


Figura 5.2 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona III

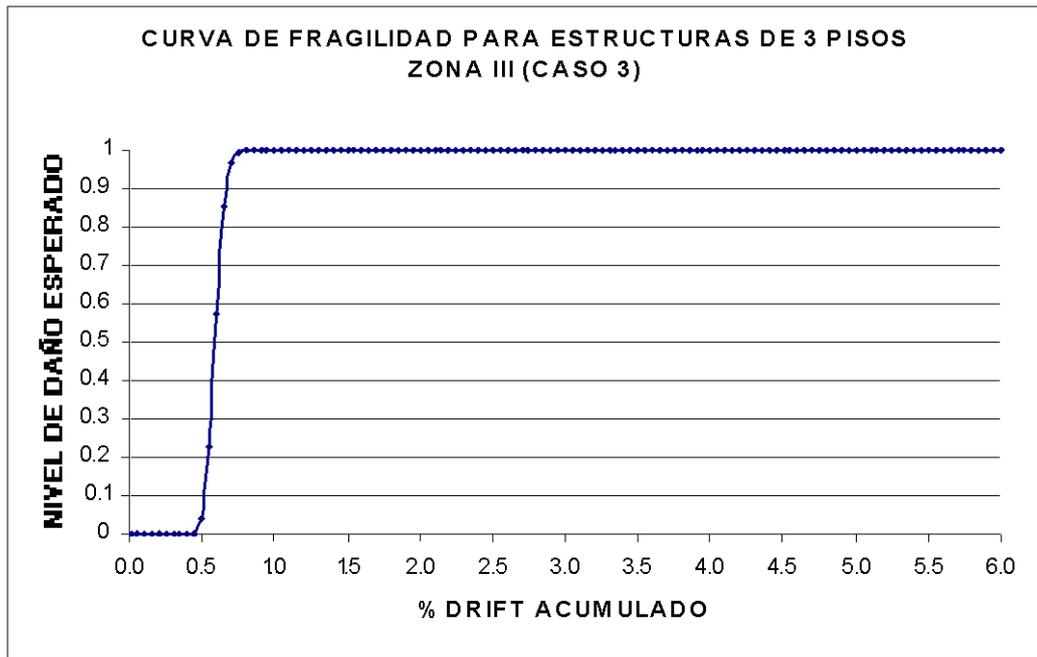


Figura 5.3 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona III

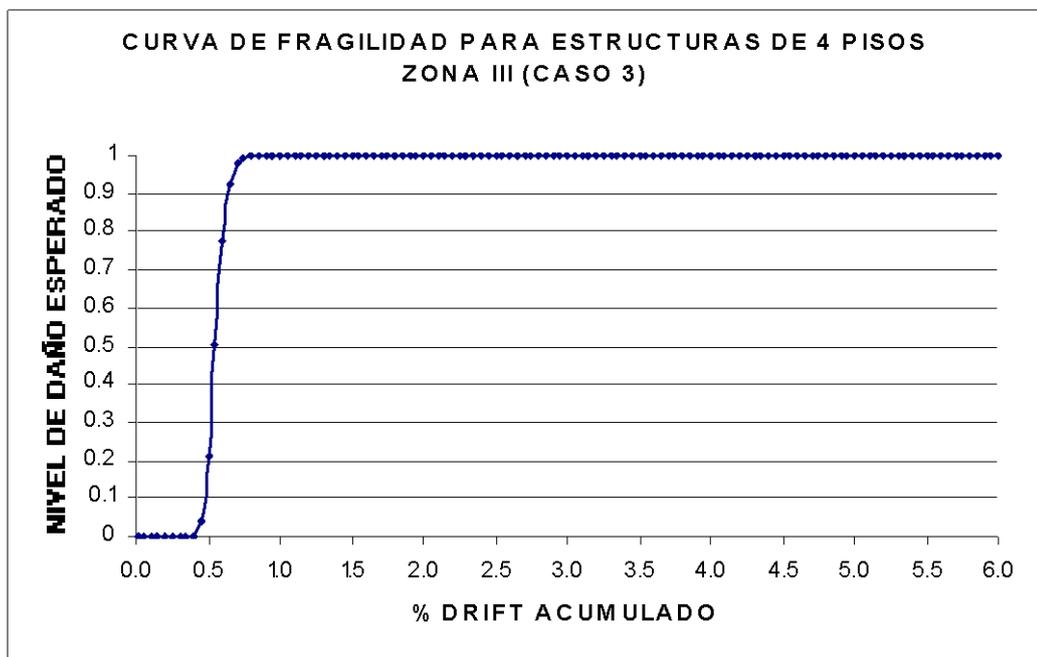


Figura 5.4 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona III

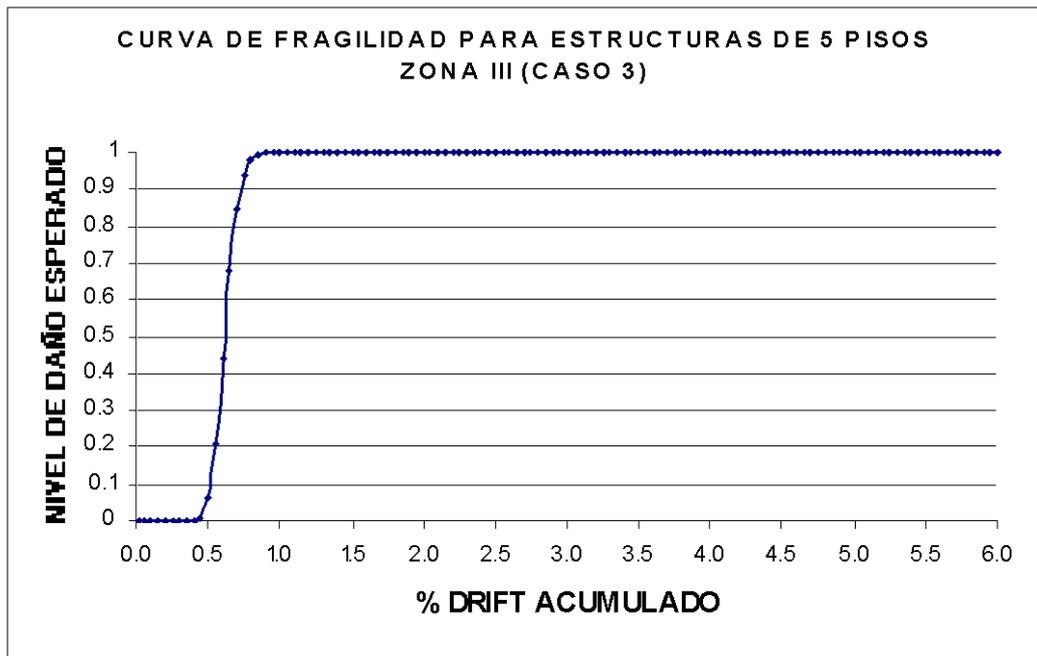


Figura 5.5 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona III

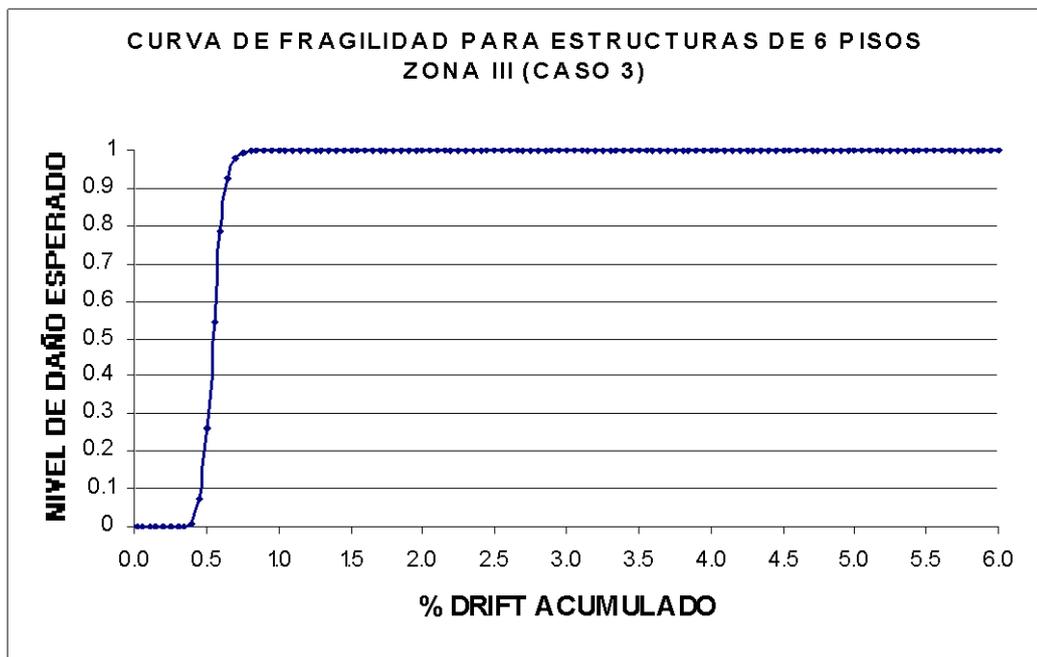


Figura 5.6 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona III

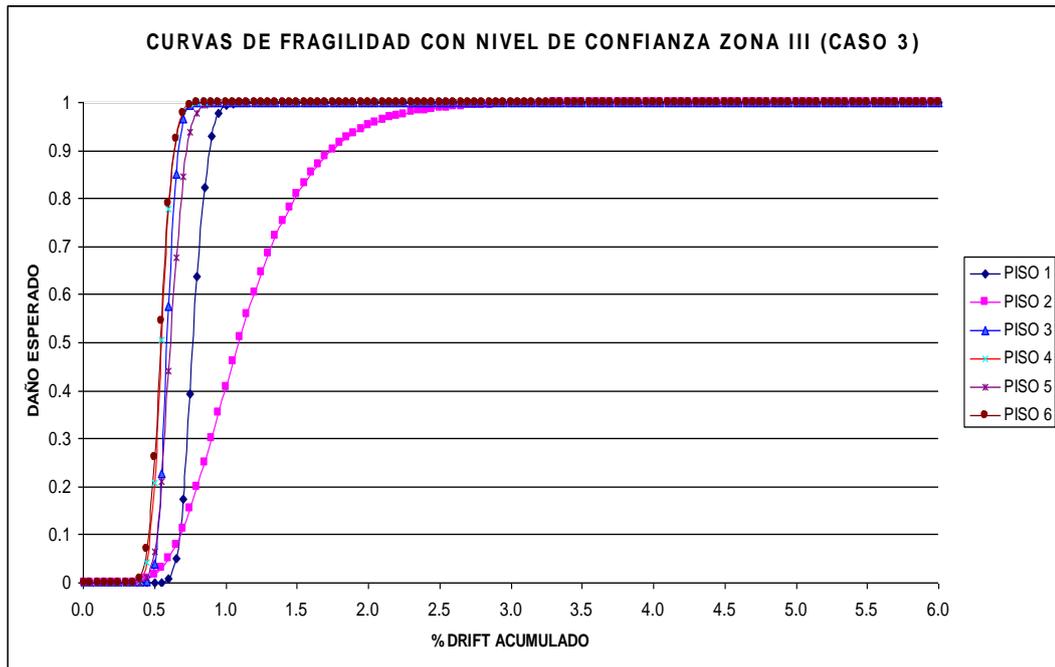


Figura 5.7 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona III

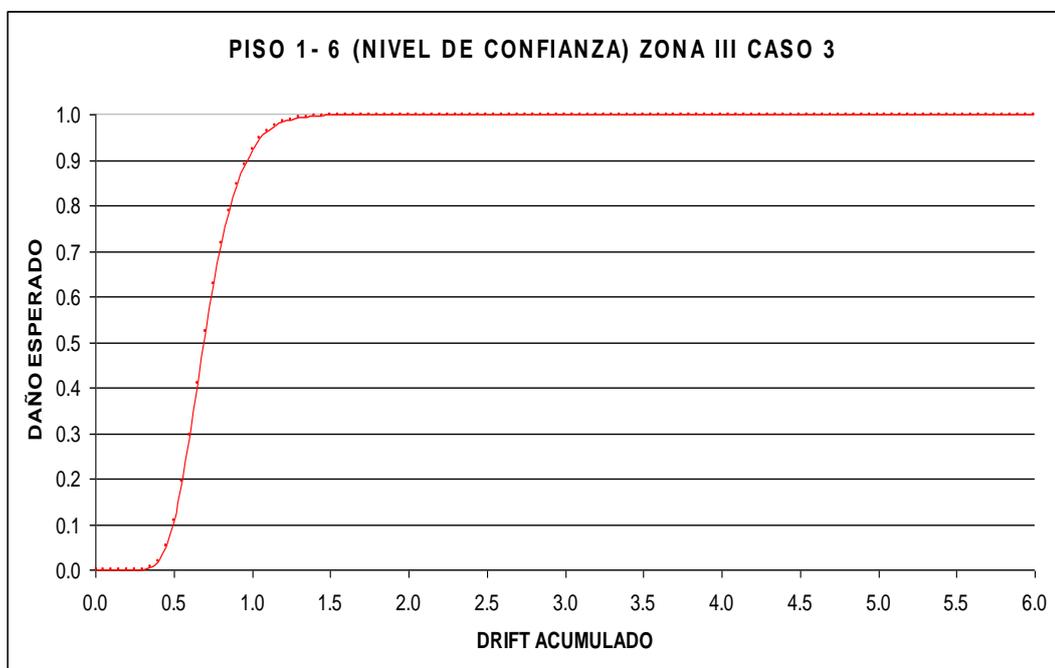


Figura 5.8 Curva de fragilidad promedio para estructuras de 1 a 6 pisos zona III

5.3 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.25 G

Los valores medios y desviación estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos con un refuerzo transversal simple de 10 mm en vigas y doble de 10 mm en columnas usando un nivel de confianza en la zona II se indican en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA II

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA II CASO 3							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.6546	0.8658	0.4892	0.4415	0.5052	0.4506	0.5668
DESVIACION	0.1016	0.2631	0.0780	0.0703	0.1113	0.1224	0.2029
LN MEDIA	-0.4238	-0.1441	-0.7149	-0.8175	-0.6829	-0.7971	-0.5678

Con los valores anteriores mediante el uso de la función de logarítmica normal de EXCEL se obtuvieron las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona II caso 1 las mismas que se presentan a continuación

Tabla 5.4 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona II caso 3

DRIFT	PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA ZONA II CASO 3					
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004
0.35	0.0000	0.0003	0.0000	0.0005	0.0005	0.0195
0.4	0.0000	0.0017	0.0049	0.0799	0.0180	0.1651
0.45	0.0001	0.0064	0.1420	0.6065	0.1494	0.4954
0.5	0.0040	0.0185	0.6099	0.9616	0.4632	0.8021
0.55	0.0433	0.0423	0.9333	0.9991	0.7775	0.9482
0.6	0.1958	0.0817	0.9955	1.0000	0.9389	0.9903
0.65	0.4726	0.1380	0.9999	1.0000	0.9882	0.9986
0.7	0.7456	0.2096	1.0000	1.0000	0.9983	0.9998
0.75	0.9098	0.2926	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000
0.8	0.9759	0.3819	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.85	0.9949	0.4721	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9	0.9991	0.5585	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	0.9999	0.6378	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	1.0000	0.7080	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.05	1.0000	0.7682	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	1.0000	0.8185	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	1.0000	0.8596	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	0.8926	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	0.9186	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	0.9385	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	0.9541	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	0.9659	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	0.9748	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	0.9815	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	0.9864	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	0.9901	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	0.9928	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	0.9948	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	0.9962	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	0.9973	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	0.9980	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	0.9986	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	0.9990	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	0.9993	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	0.9996	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

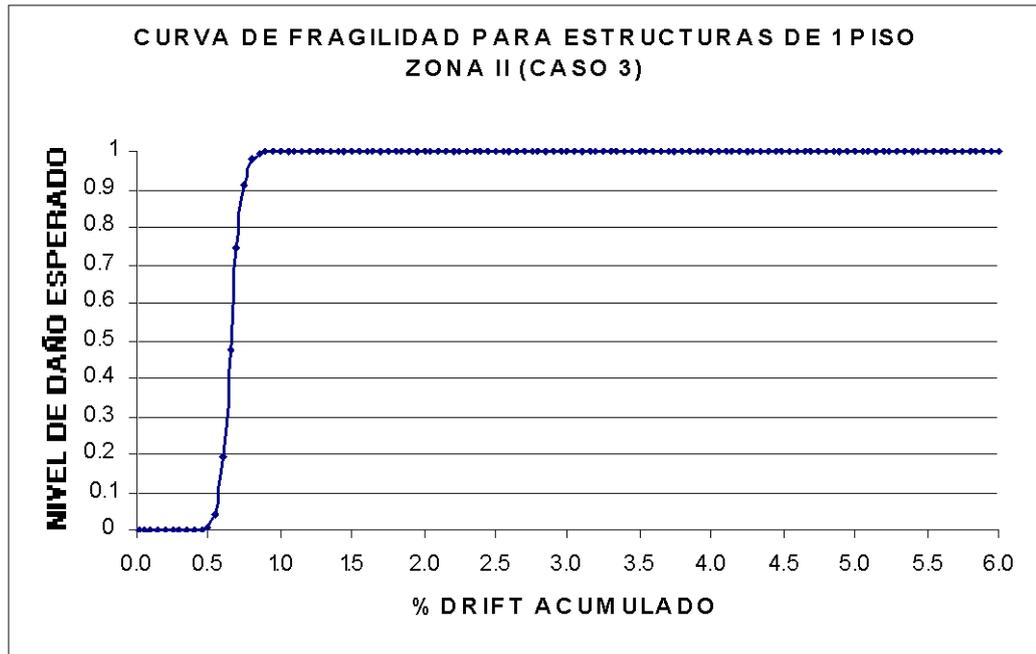


Figura 5.9 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona II

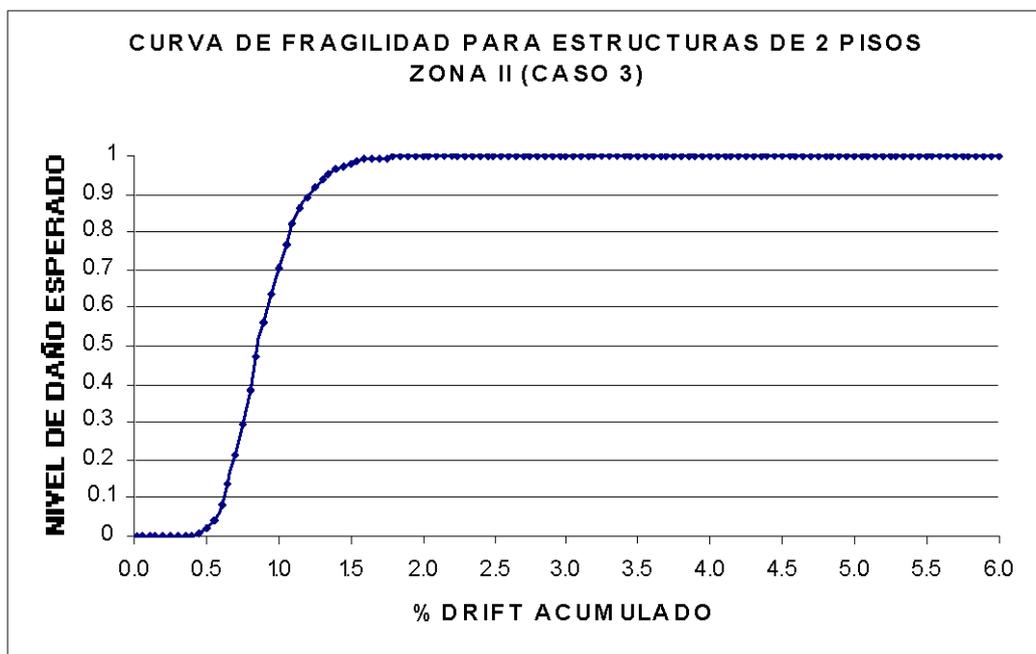


Figura 5.10 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona II

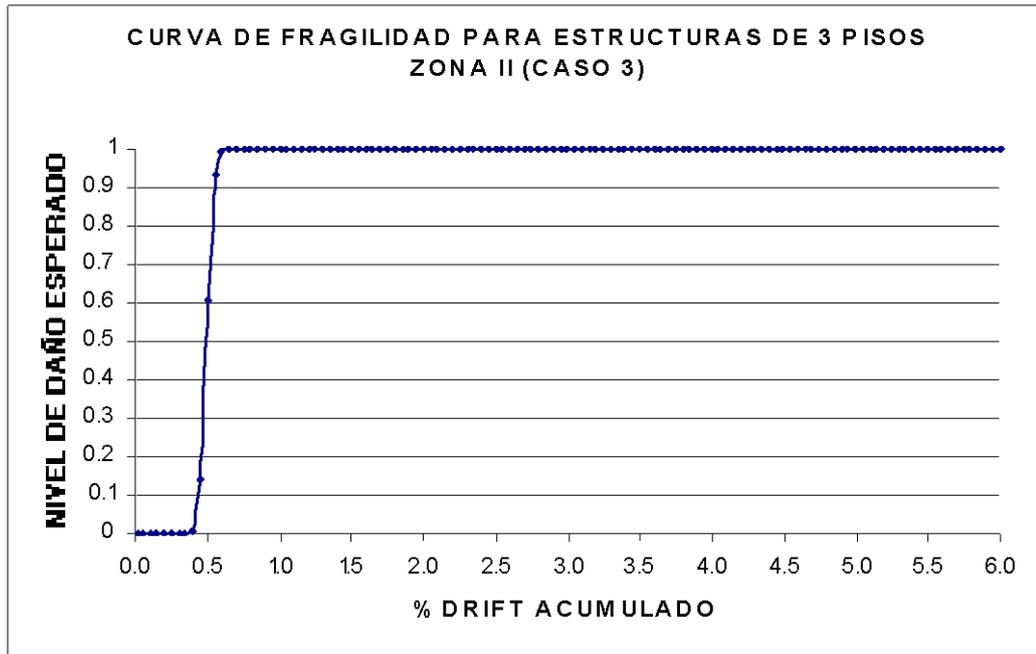


Figura 5.11 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona II

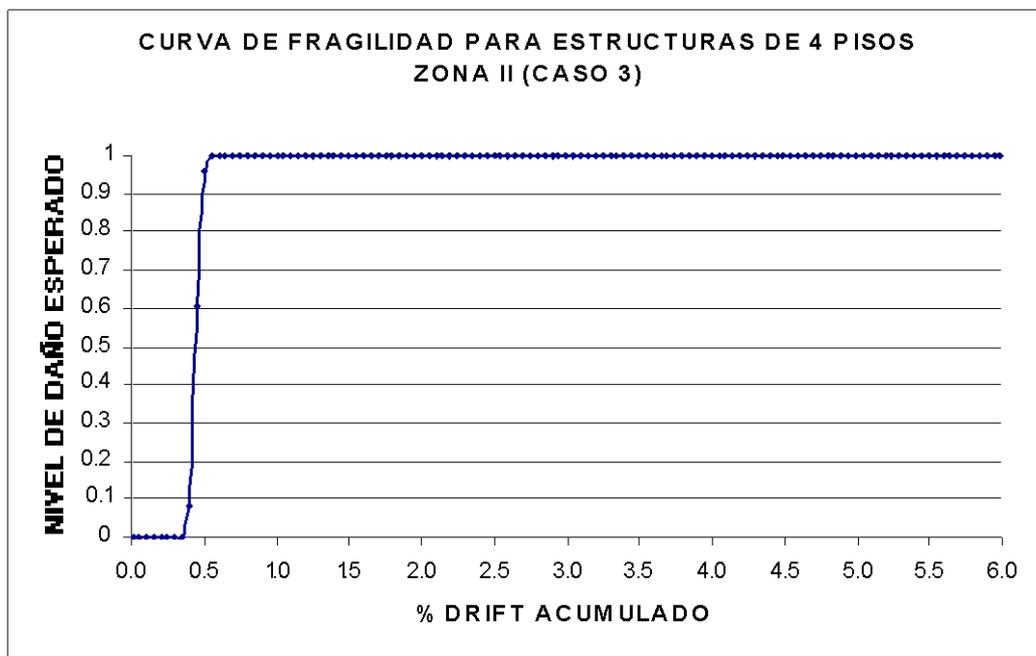


Figura 5.12 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona II

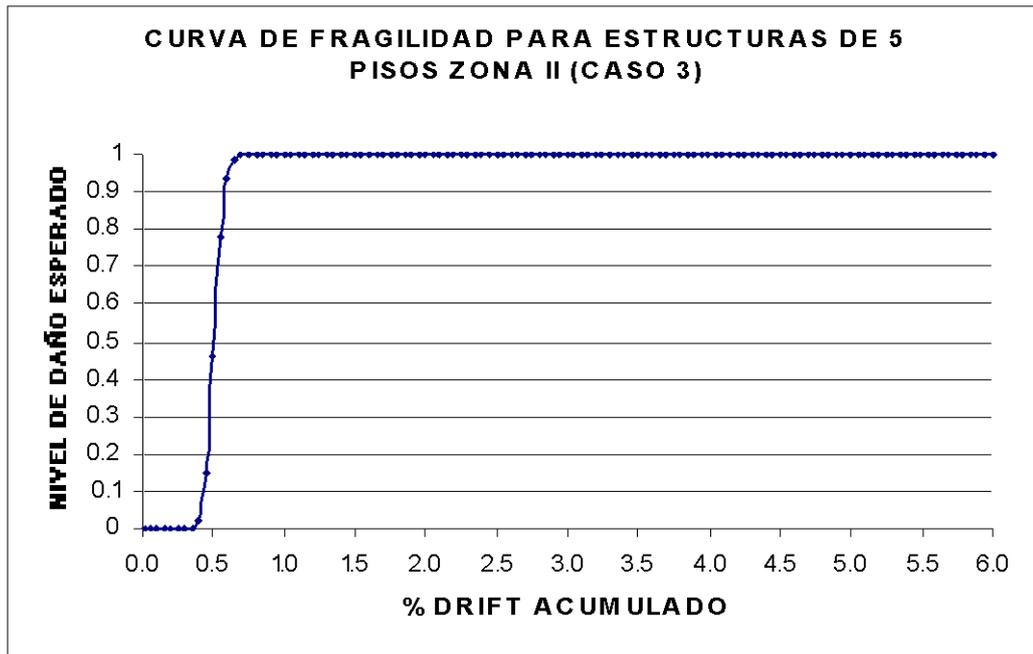


Figura 5.13 Curva de fragilidad para estructuras de cinco meses en la zona II

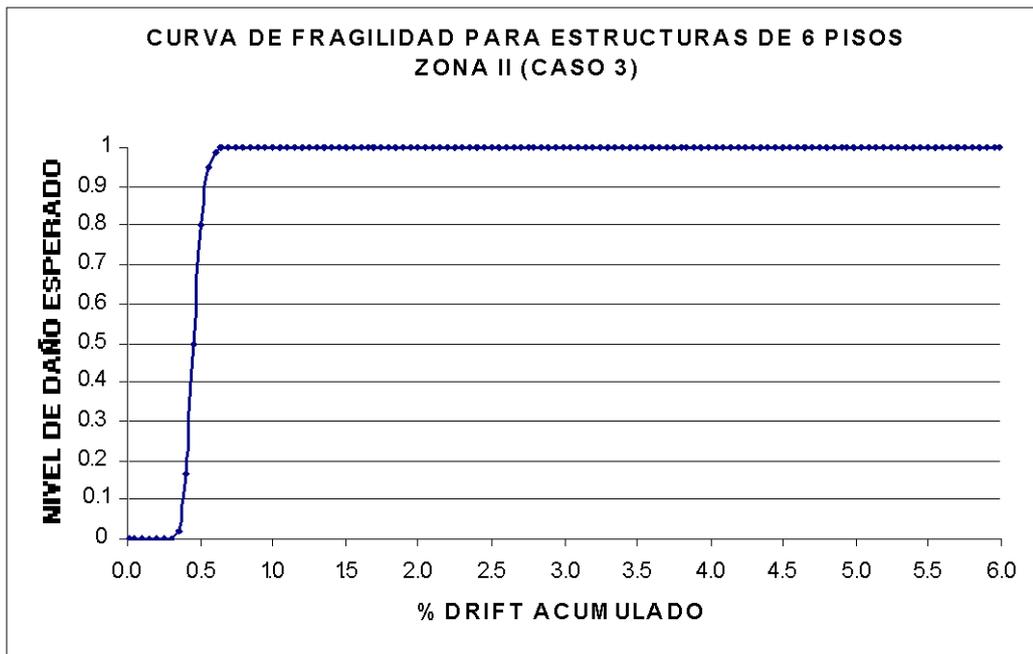


Figura 5.14 Curva de fragilidad para estructuras de seis pisos en la zona II

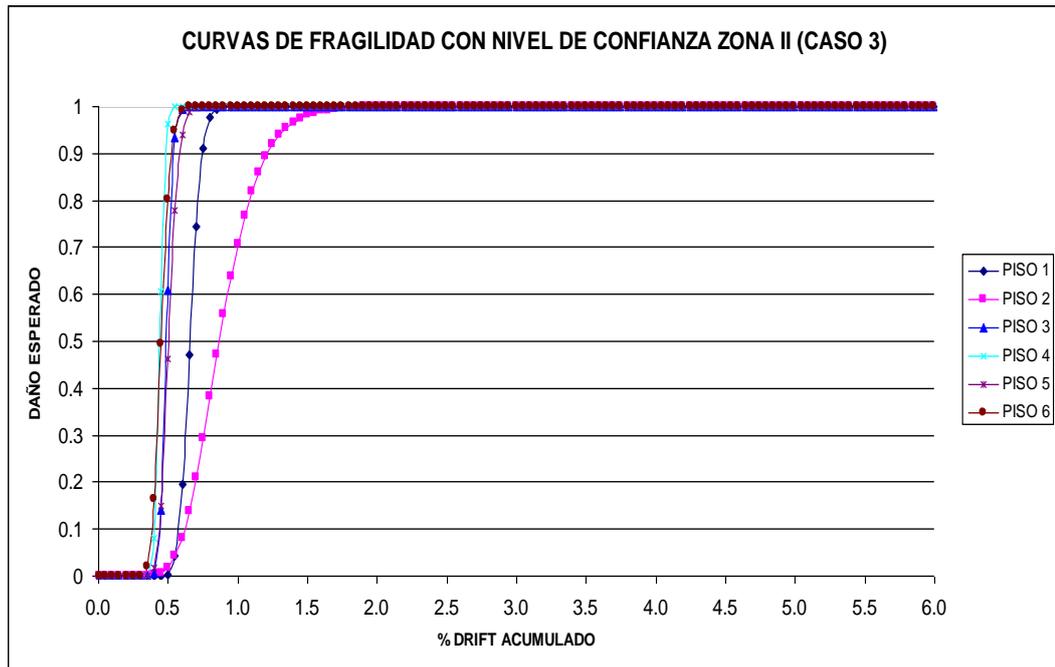


Figura 5.15 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona II



Figura 5.16 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona II

5.4 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA 0.15 G

Mediante el uso del programa IDARC se obtuvieron los valores medios y desviaciones estándar de los drifts de 72 estructuras sometidas a 4 sismos normalizados a 0.15 g (ZONA I) con un refuerzo transversal de 10 mm en vigas y columnas usando un nivel de confianza los que se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5.5 Valores medios y desviación estándar de los drifts ZONA I

VALORES OBTENIDOS PARA ESTRUCTURAS DE 1 A 6 PISOS ZONA I CASO 3							
PISOS	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 1 - 6
NUEVO PROMEDIO	0.4026	0.4816	0.2922	0.2632	0.2927	0.2591	0.3319
DESVIACION	0.0814	0.0874	0.0469	0.0407	0.0509	0.0519	0.1021
LN MEDIA	-0.9098	-0.7307	-1.2302	-1.3348	-1.2287	-1.3504	-1.1029

Finalmente se presentan a continuación las curvas de fragilidad correspondientes a la zona sísmica I usando un refuerzo transversal simple de 10 mm en vigas y doble de 10 mm en columnas (Caso 3)

Tabla 5.6 Valores de las curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I caso 3

DRIFT	PROBABILIDAD DE DAÑO CON VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA					
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6

0.05	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.25	0.0000	0.0000	0.0004	0.1030	0.0010	0.2448
0.3	0.0002	0.0000	0.7119	0.9993	0.6865	0.9976
0.35	0.0427	0.0001	0.9999	1.0000	0.9998	1.0000
0.4	0.4683	0.0168	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.45	0.9142	0.2189	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	0.9961	0.6663	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.55	0.9999	0.9358	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.6	1.0000	0.9941	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.65	1.0000	0.9997	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.25	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.35	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.15	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.25	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.35	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.55	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.65	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.75	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.85	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2.95	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

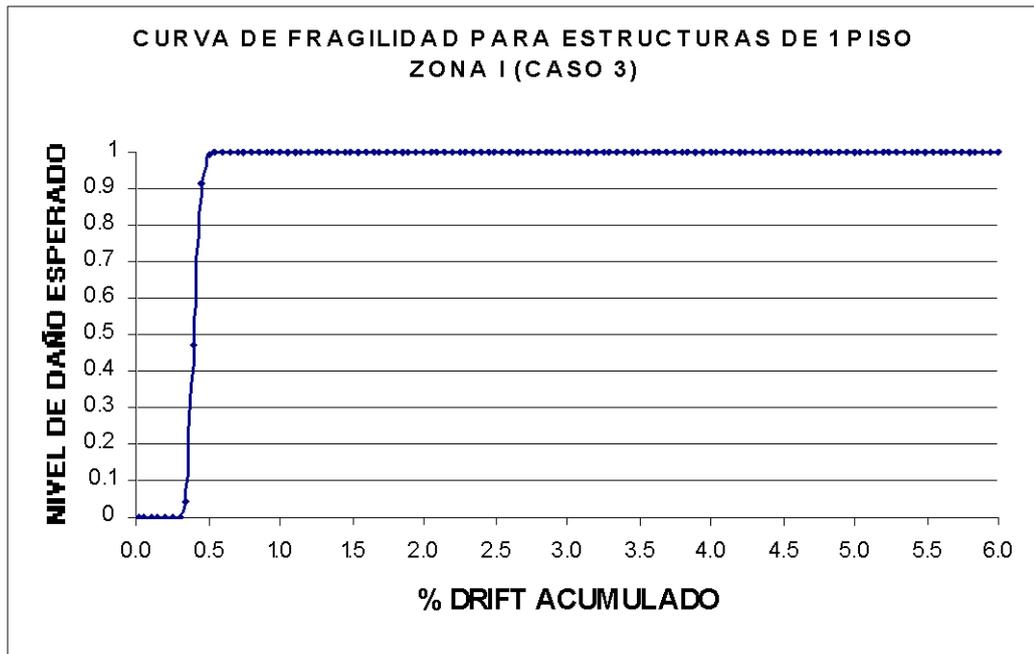


Figura 5.17 Curva de fragilidad para estructuras de un piso en la zona I

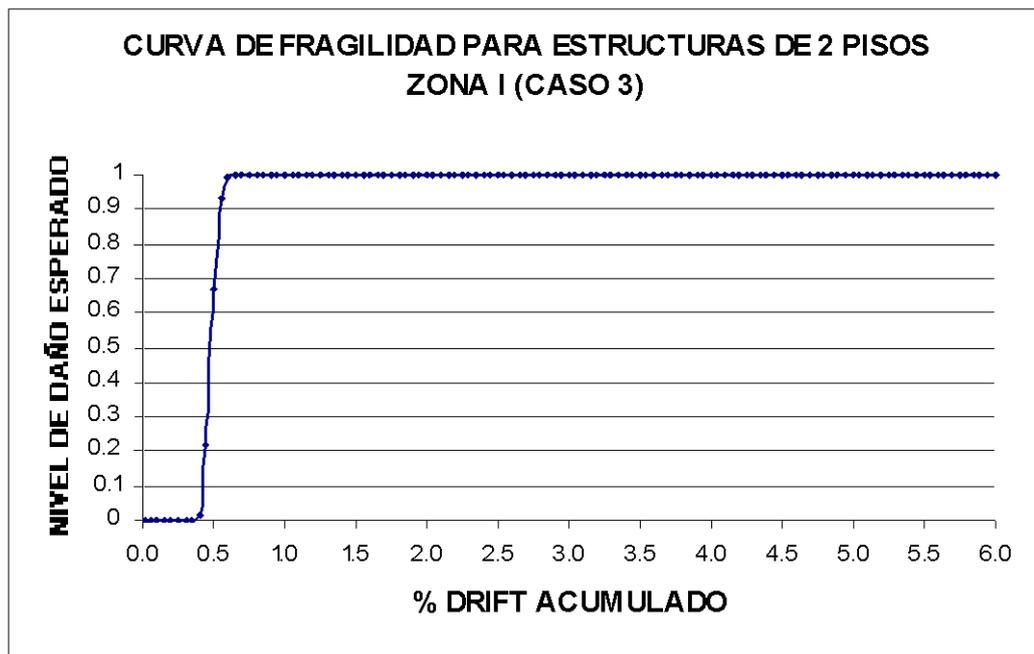


Figura 5.18 Curva de fragilidad para estructuras de dos pisos en la zona I

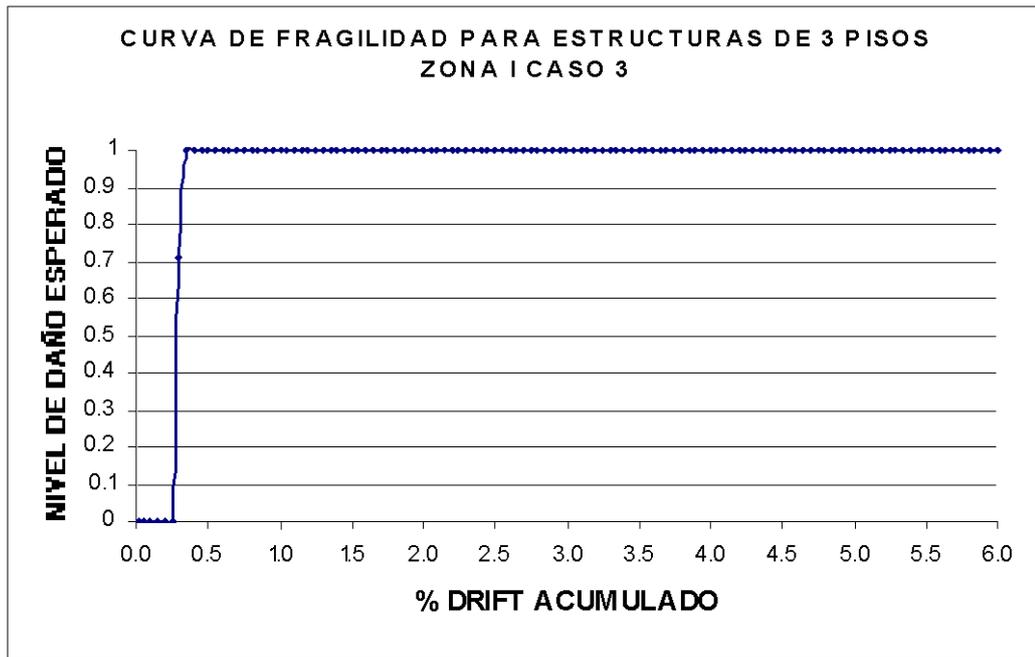


Figura 5.19 Curva de fragilidad para estructuras de tres pisos en la zona I

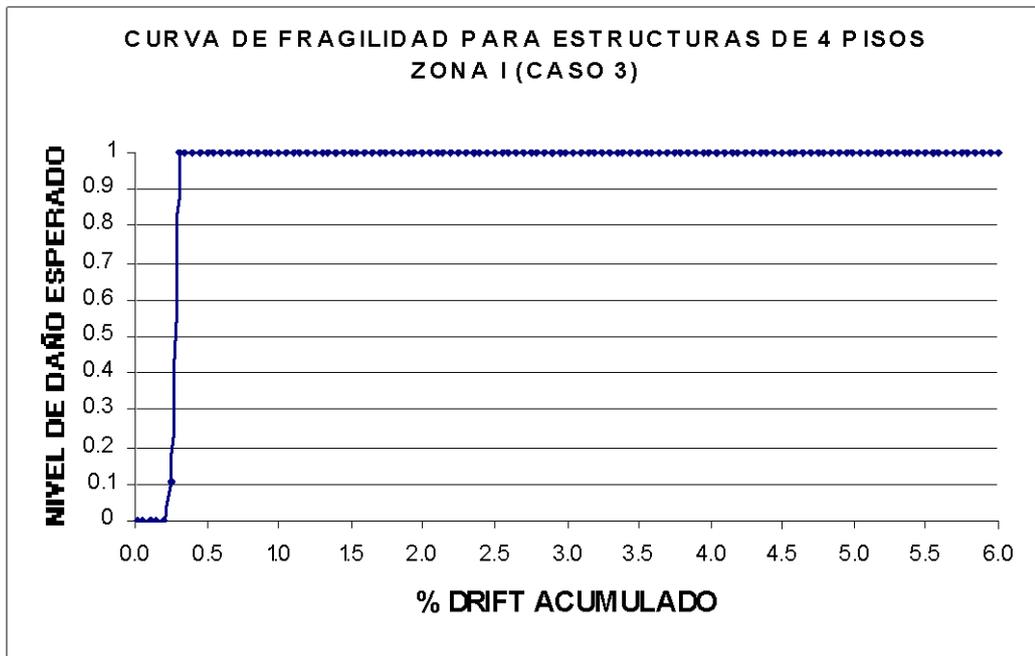


Figura 5.20 Curva de fragilidad para estructuras de cuatro pisos en la zona I

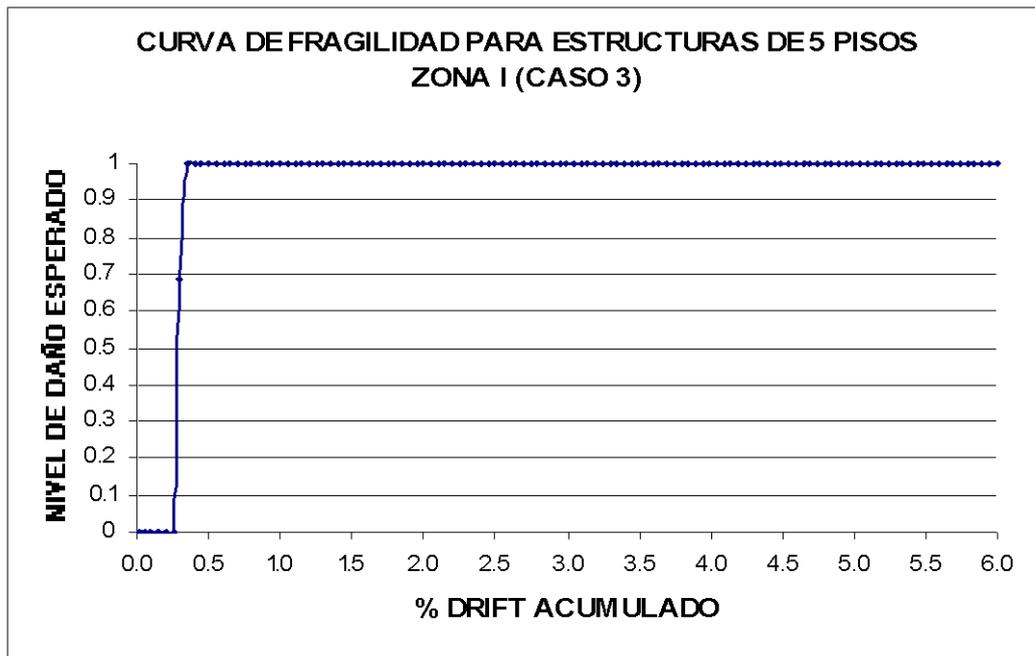


Figura 5.21 Curva de fragilidad para estructuras de cinco pisos en la zona I

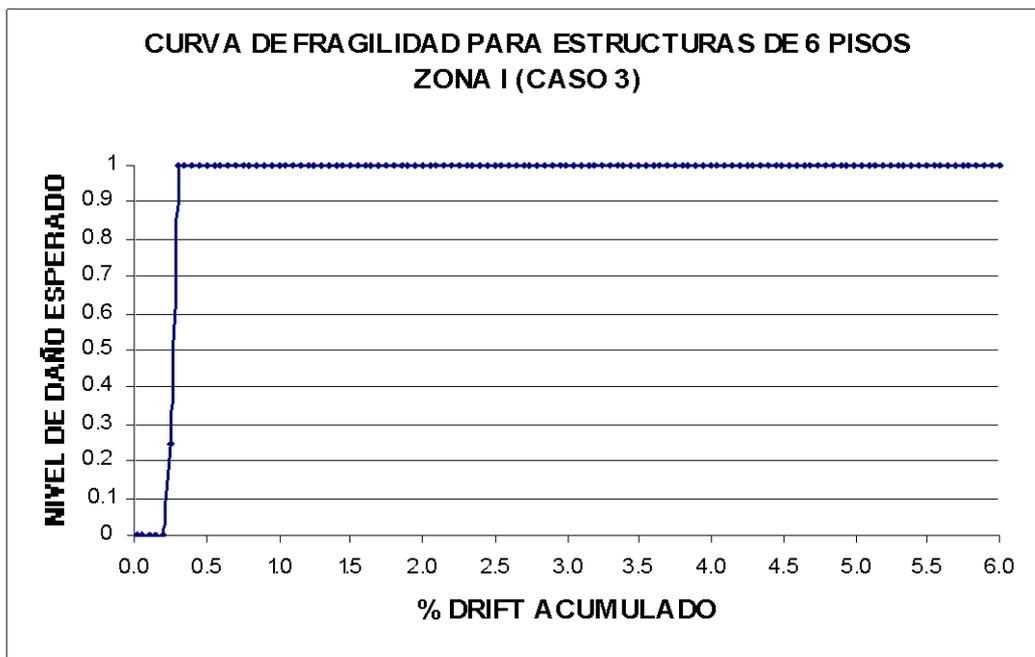


Figura 5.22 Curvas de fragilidad para estructuras de 1 a 6 pisos en la zona I

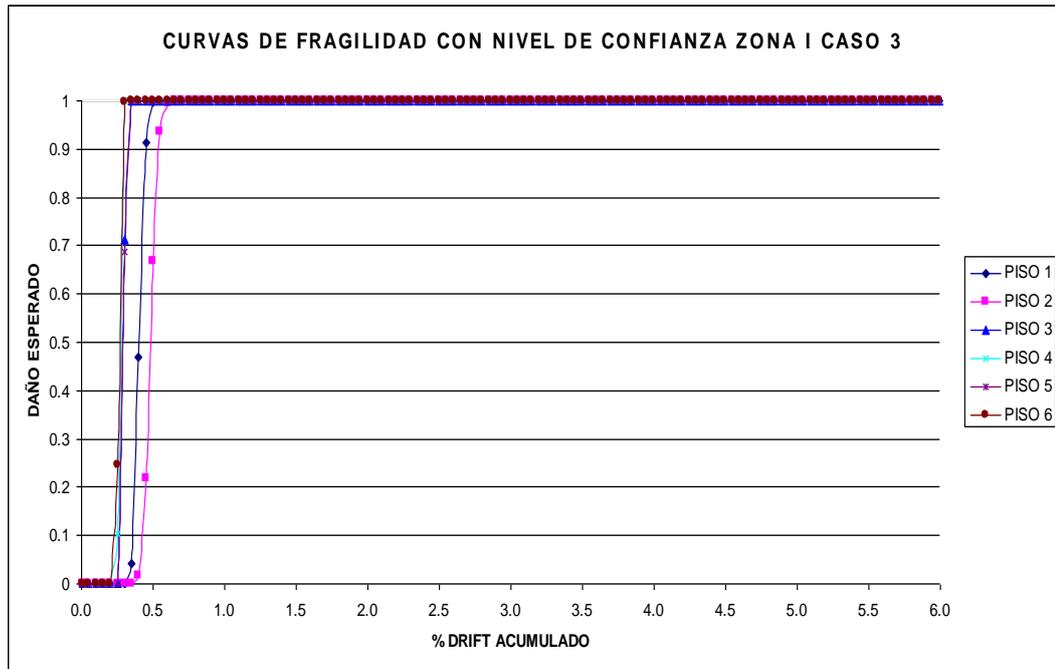


Figura 5.23 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

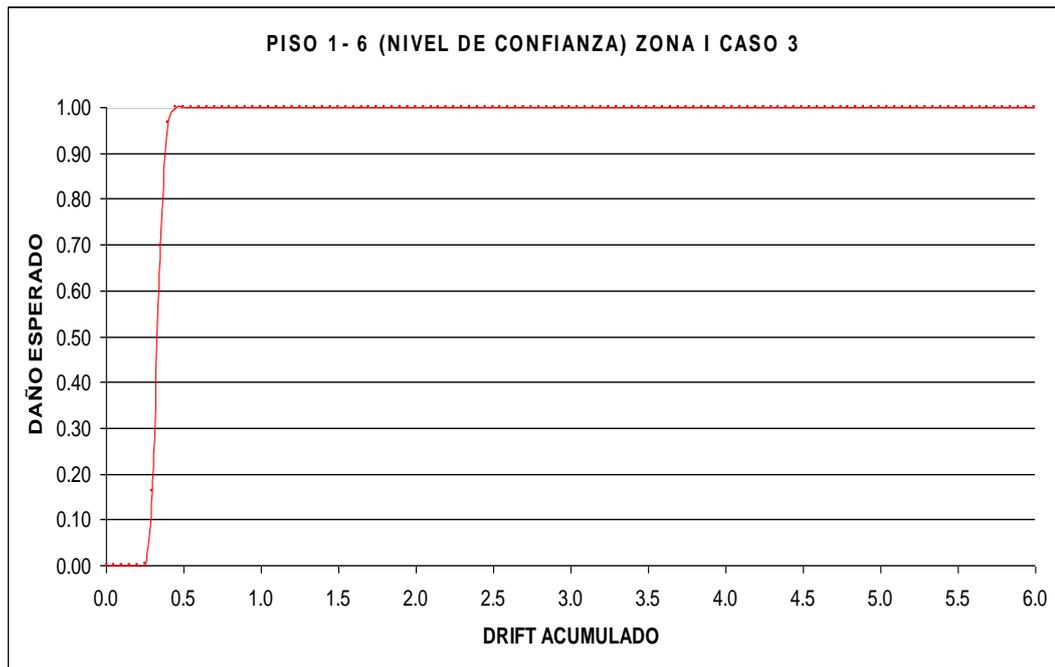


Figura 5.24 Curva de fragilidad promedio para estructuras de uno a seis pisos en la zona I

5.5 CURVAS DE FRAGILIDAD PARA TODOS LOS CASOS POR PISOS.

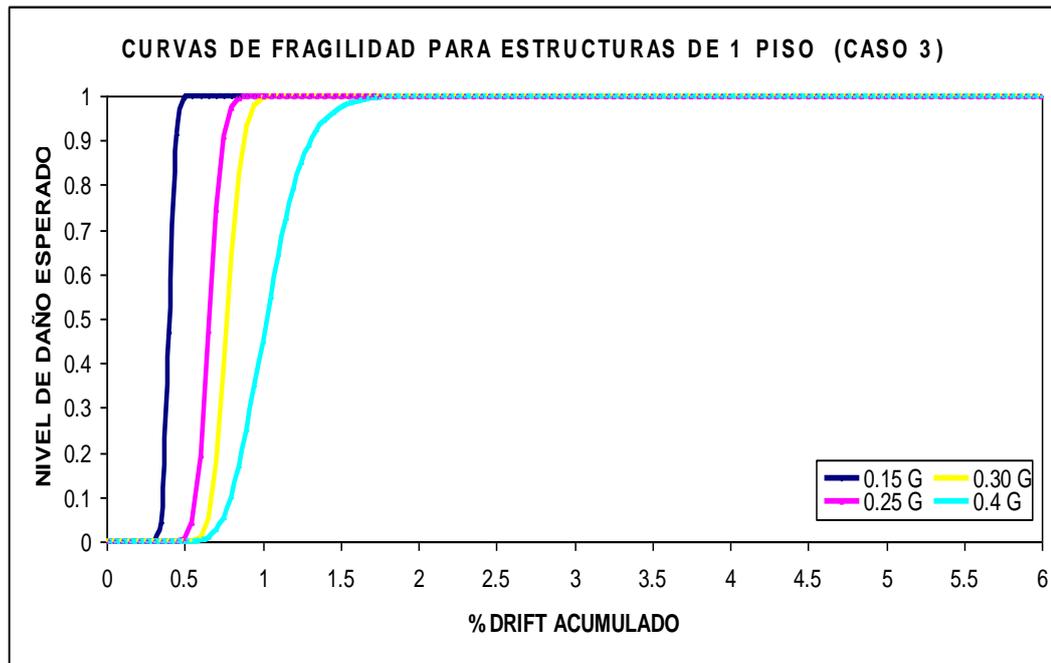


Figura 5.25 Curvas de fragilidad para estructuras de un piso Caso 3

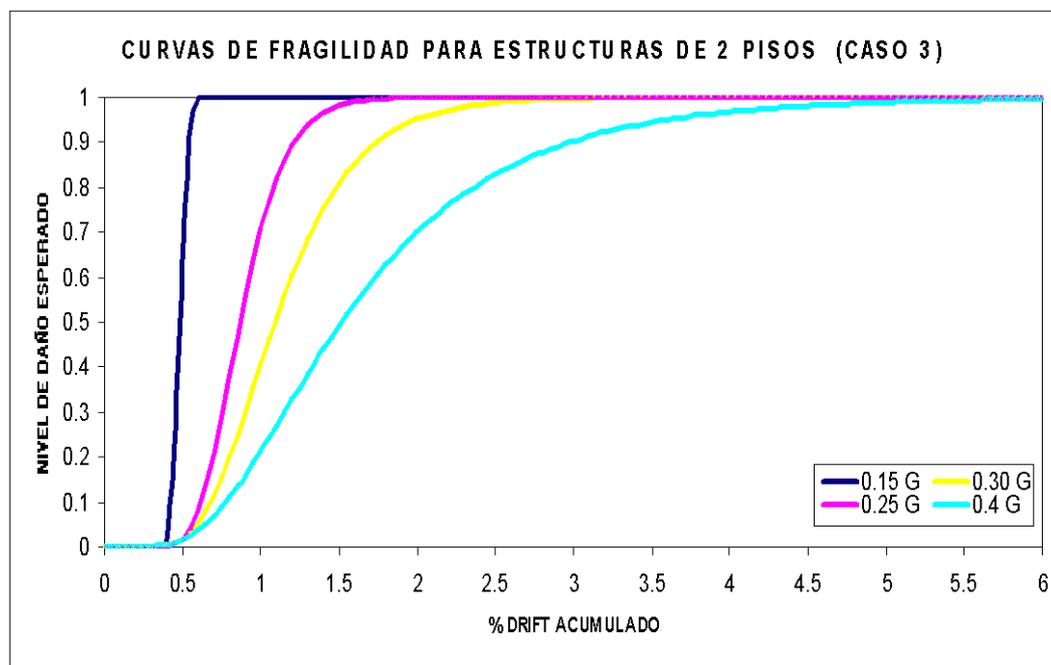


Figura 5.26 Curvas de fragilidad para estructuras de dos pisos Caso 3

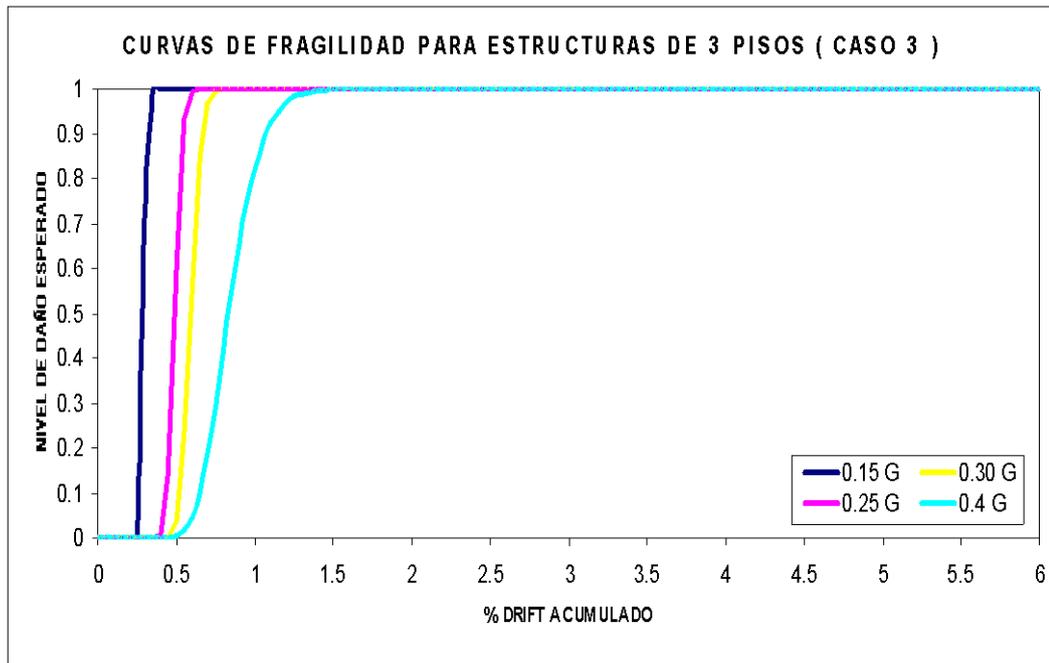


Figura 5.27 Curvas de fragilidad para estructuras de tres pisos Caso 3

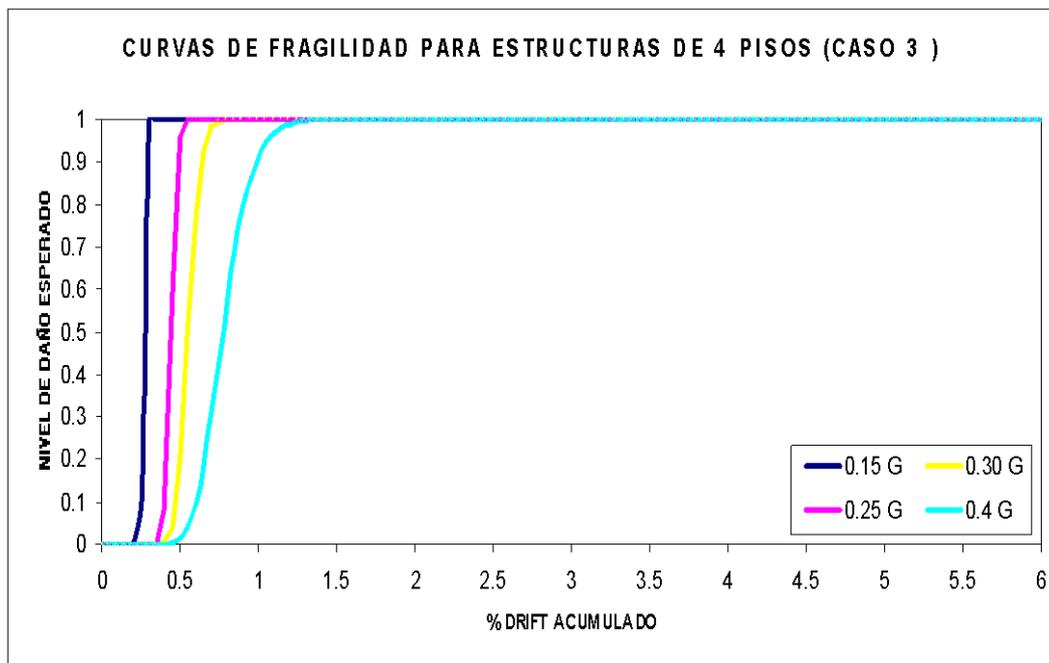


Figura 5.28 Curvas de fragilidad para estructuras de cuatro pisos Caso 3

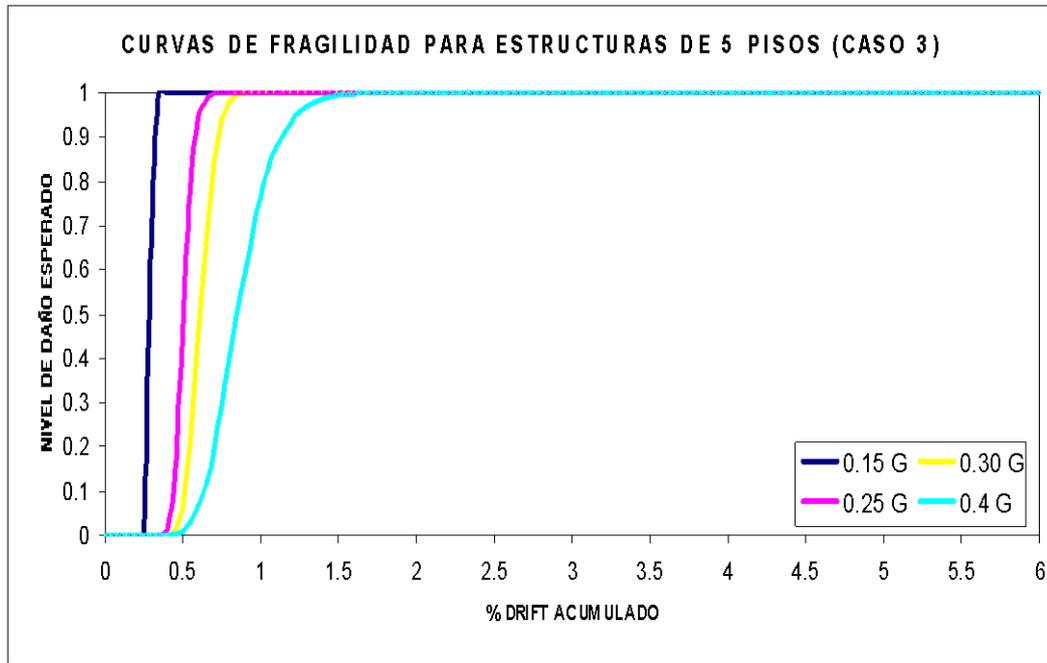


Figura 5.29 Curvas de fragilidad para estructuras de cinco pisos Caso 3

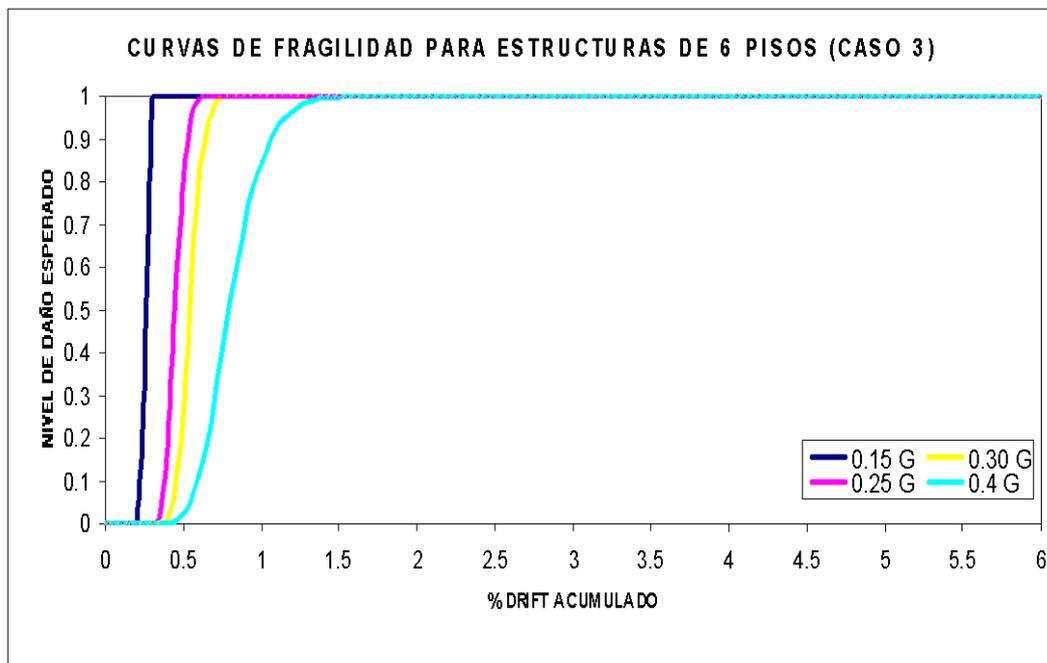


Figura 5.30 Curvas de fragilidad para estructuras de seis pisos Caso 3

5.6 CURVAS DE FRAGILIDAD AGRUPADAS DE 1 A 6 PISOS PARA LAS DIFERENTES ZONAS SÍSMICAS

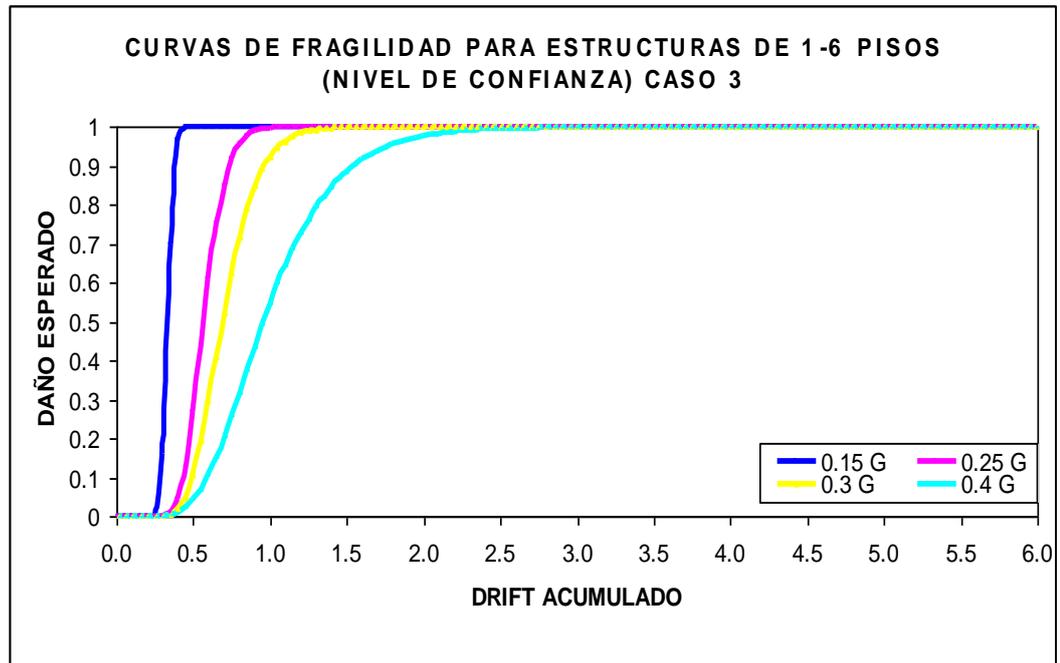


Figura 5.31 Curvas de fragilidad para estructuras de uno a seis pisos Caso 3

CAPÍTULO VI

COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN

Se justifican los resultados obtenidos en este estudio, se incluye una serie de comentarios referentes a las dificultades que se presentaron en la elaboración de este trabajo, se indica la forma correcta de interpretar las curvas de fragilidad presentadas en el presente estudio, mediante el uso de un ejemplo práctico. Por último se hacen observaciones relevantes y recomendaciones generales que permitan que futuras investigaciones sobre vulnerabilidad se realicen.

6.1 COMENTARIOS

Varios son los problemas que se presentaron en la realización de este trabajo, uno de ellos fue la dificultad en generar 3456 archivos de entrada para IDARC, para sortear esta dificultad se creo una hoja electrónica en Excel programada para las características de los edificios de análisis, de esta manera se creo los archivos de entrada en muy poco tiempo

Al sortear este primer problema, se generó el inconveniente de tener una gran cantidad de archivos de salida, pues manejar 3456 archivos .txt y de ellos copiar en una hoja electrónica los datos necesarios para elaborar las curvas de fragilidad hubiese sido un trabajo largo, tedioso, y demorado. Por ello gracias a la creación del IDARC ANALYZER 1 se minimizó este trabajo a únicamente ordenar las carpetas con los archivos de salida, de la manera que requiere este programa en visual C

Considerando que el LINEAL necesita un archivo de entrada en el que se le de el valor de beta, es importante indicar que se uso un valor de 0.166 pues cuando se usaba el valor de 0.25 el programa no corría, sin embargo se puede señalar que el LINEAL es un programa muy amigable ya que es fácil manejarlo, por la poca cantidad de datos que necesitan sus archivos de entrada.

Por otra parte existían problemas en el uso del programa IDARC, principalmente cuando se utilizaba comas y espacios, pues si faltaba una coma o un espacio el programa no se ejecutaba, además para usar el programa IDARC se necesita hacer una serie de cálculos previos a la generación del archivo de entrada como lo son: calcular pesos nodales, cuantías en vigas y columnas, ensamblaje correcto de elementos etc.

Al momento de generar las curvas de fragilidad para estructuras de dos pisos sometidos al sismo 0.4 A, los valores del drift se alejaban mucho del drift medio esto implicaba que la desviación estándar varíe de forma considerable, por lo que surgió la necesidad de seleccionar los datos en función de un nivel de confianza, esto permitió que valores muy alejados del drift medio se descartarán, y que para la elaboración de las curvas se tome únicamente los valores más representativos.

Existen programas de computadora que permiten determinar los comportamientos de los elementos estructurales tanto por flexión como por corte, este

es el caso del programa CEINCI 1, sin embargo la versión 4.0 del IDARC 2D no considera el acoplamiento del efecto de corte a la flexión por ello es que las curvas obtenidas en el capítulo 3 no variaron considerablemente.

6.2 CONCLUSIONES

El objetivo principal de este estudio era determinar las curvas de fragilidad para las 4 zonas sísmicas del Ecuador en edificios de 1 a 6 pisos estas curvas fueron presentadas en los capítulos anteriores y de cada curva se puede obtener una determinada conclusión.

Por ejemplo se va indicar las conclusiones que se obtienen usando los niveles de daño propuestos por Ghobarah (Tabla 2.4) en la curva de fragilidad de una estructura de 2 pisos en el caso 1, para de esta manera también indicar como interpretar correctamente las curvas de fragilidad presentadas en este estudio

Se indico anteriormente que según Ghobarah un estado de **Daño Moderado** se lo tiene cuando el drift varia entre: $0.005 \leq DRIFT < 0.011$ por lo que el promedio para a este tipo de daño es igual 0,008; que multiplicado por 100 es igual a 0.8 % valor que ya puede ser ingresado en esta curva.

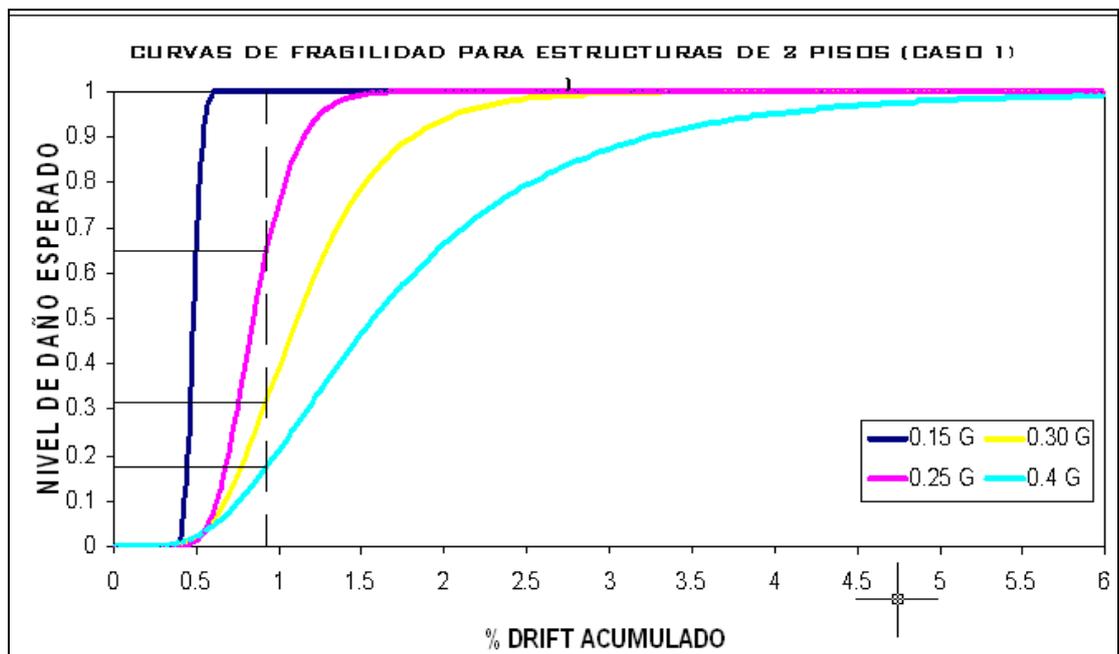


Figura 6.1 Representación del daño severo en la curva de edificios de 2 pisos

Como se puede observar, se debe cortar a las curvas mediante un línea vertical paralela al eje de las ordenadas, partiendo del valor de drift requerido (0.8 % en este caso).

De los puntos producto del corte de esta línea se debe trazar otra perpendicular que corte al eje de las ordenadas, indicando el nivel de daño esperado (fdp), sabiendo que la probabilidad de excedencia P es igual a (1- fdp) se tienen los siguientes resultados:

Tabla 6.1. Resultados de las curvas para el ejemplo Daño moderado

ZONA SIMICA	FDP (DE LA GRAFICA)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
ZONA I	1	0
ZONA II	0.65	0.35
ZONA III	0.32	0.68
ZONA IV	0.18	0.82

Se concluye entonces que una estructura de 2 pisos en el caso 1 tiene:

- Una probabilidad del 82 % de **alcanzar el Daño Moderado** en la zona IV
- Una probabilidad del 68 % de **alcanzar el Daño Moderado** en la zona III
- Una probabilidad del 35 % de **alcanzar el Daño Moderado** en la zona II
- No hay probabilidad de alcanzar el daño moderado en la zona I

Así mismo Ghobarah indicó que un estado de **Daño Extensivo** se lo tiene cuando el drift varia entre: $0.011 \leq DRIFT < 0.023$ por lo que el promedio para a este tipo de daño es igual 0,017; que multiplicado por 100 es igual a 1,7 % valor que ya puede ser ingresado en esta curva.

Repitiendo el proceso indicado anteriormente se tiene los resultados de las curvas para el ejemplo daño extensivo para un edificio de 2 pisos en el caso 1 en la tabla 6.4

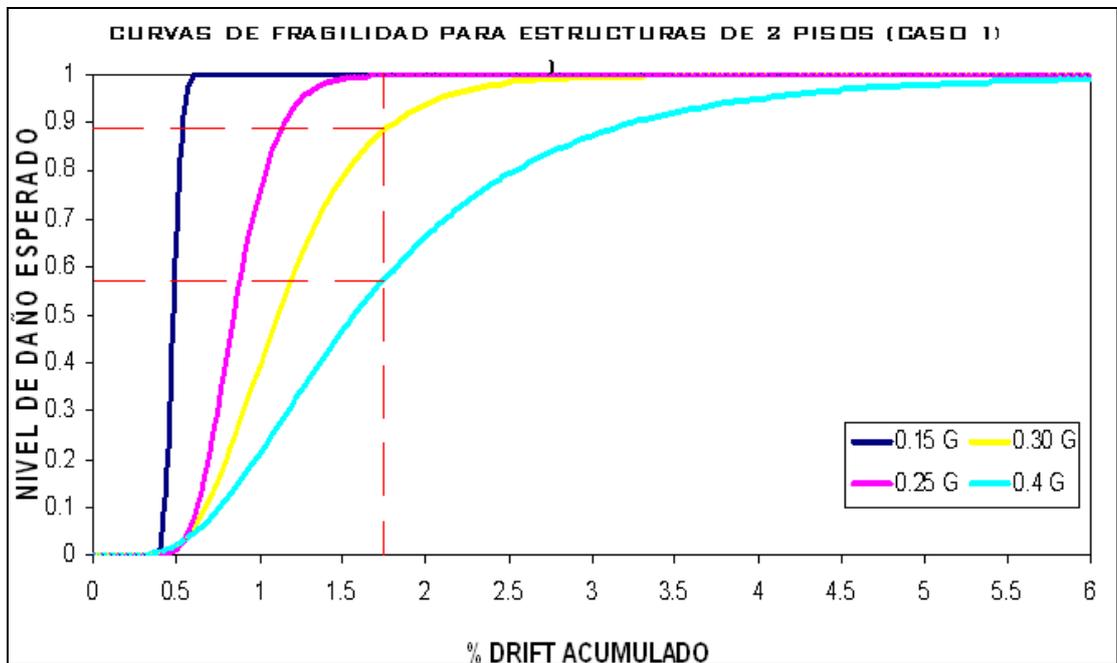


Figura 6.2 Representación del daño extensivo en la curva de edificios de 2 pisos

Tabla 6.2. Resultados de las curvas para el ejemplo Daño Extensivo

ZONA SISMICA	FDP (DE LA GRAFICA)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
ZONA I	1	0
ZONA II	1	0
ZONA III	0.86	0.14
ZONA IV	0.55	0.45

Se concluye entonces que una estructura de 2 pisos en el caso 1 tiene:

- Una probabilidad del 45 % de **alcanzar el Daño Extensivo** en la zona IV.
- Una probabilidad del 14 % de **alcanzar el Daño Extensivo** en la zona III.
- No hay probabilidad de **alcanzar el Daño Extensivo** en las zona I y II

Se puede decir entonces que de cada curva se obtendrán conclusiones como las del ejemplo anterior en los que se tiene menor probabilidad de excedencia cuando se tiene niveles de daños mas críticos y que como es lógico los edificios en las zonas I y II son menos vulnerables que en las zonas III y IV

6.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda que al aplicar estas curvas debe tomarse en cuenta si son aplicables o no a la edificación que se desea evaluar. Esto dependerá básicamente de los materiales, de la geometría y de las características constructivas de una determinada estructura debido a que estas curvas serán valederas para estructuras similares a las que se usaron para su generación.

Es recomendable también difundir metodologías para hallar el drift en forma rápida como la de Aguiar (2006) pues como se vio en el capítulo 1 de este trabajo, esta metodología es bastante buena pues únicamente se necesita un programa de análisis LINEAL y una simple ecuación, para hallar la máxima distorsión de piso inelástica.

El programa IDARC ANALYZER 1 y 2 así como el macro Normalizador están a disposición del CEINCI para futura investigaciones.

Finalmente espero que este trabajo sea un aporte para quienes estudian e investigan la vulnerabilidad en edificaciones pues la ciencia es únicamente válida cuando se la usa para el beneficio de todos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar R. (2003), Análisis sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 342 p. Quito, Ecuador.
2. Aguiar R., (2005) “Evaluación rápida del drift de un edificio de H.A.” Revista SIGMA. Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, 6 (2), 5-16, Quito.
3. Aguiar R., (2005) Programa LINEAL para hallar la respuesta en el tiempo de estructuras. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
4. Aguiar R., y Bobadilla C., (2006), “Evaluación rápida de la deriva máxima de piso en edificios de hormigón armado”, XXXII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Universidad Estatal de Campinas, Brasil.
5. American Society of Civil Engineers, (2000), Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA 356, Federal Emergency Management Agency Washington, D.C.
6. Goel R., and Chopra A., (1997), “Period formulas for moment-resisting frame buildings”, Journal of Structural Engineering, 123 (11), 1454-1461.
7. Ghobarah A. (2004), “On drift limits associated with different damage levels”, International workshop on performance based seismic design. Department of Civil Engineering, Mc. Master University, June 28- July 1, 2004.
8. Gupta A., and Krawinkler H., (2000), “Estimation of seismic drift demands for frame structures”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 1287-1305.
9. Miranda E., (1997), “Estimation of maximum interstory drift demands in displacement-based design” Seismic design methodologies for the next generation of codes, Krawinkler H., and Fajfar P., editor, Balkema.
10. Miranda E., (1999), “Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings”, Journal of Structural Engineering, 125 (4), 417-425.
11. UBC (1997), Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, ICBO, 3 Vol, Whittier, CA, USA.

12. Caiza P., (1997), Diseño de vigas de hormigón Armado, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 76 p. Quito, Ecuador.
13. Kuroiwa J., (2002), Reducción de Desastres, viviendo en armonía con la naturaleza, Cecosami, 429 p. Lima, Perú.
14. Aguiar R., Torres M., Romo M., y Caiza P., (1998), El Sismo de Bahía, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 125 p. Quito, Ecuador.
15. Hidalgo W., (2002), “Uso del programa IDARC para análisis no lineal de Estructuras”, Centro de investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 16p.
16. Bonett D, León R., (2003), “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”, Tesis Doctoral, 708 INGENYERIA DEL TERRENY CARTOGRÁFICA I GEOFÍSICA, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). España
17. Bobadilla C., (2006) “Curvas de fragilidad y evaluación rápida de la vulnerabilidad de estructuras”, Tesis de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército.
18. Guerrero P., (2005), “Determinación rápida de la deriva de piso (drift).- Análisis de la relación entre el desplazamiento inelástico máximo esperado con el desplazamiento calculado para la respuesta elástica lineal en sistemas 1gdl.” Tesis Ingeniería Civil, Escuela politécnica del Ejército.
19. Vallejo X., (2002) “Generación de sismogramas sintéticos”, Tesis de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército.

BIOGRAFÍA

1. DATOS PERSONALES:

NOMBRES Y APELLIDOS:	DIEGO MARCELO QUIZANGA MARTÍNEZ
LUGAR DE NACIMIENTO:	QUITO
FECHA DE NACIMIENTO:	ABRIL 30, 1982
NACIONALIDAD:	ECUATORIANA
ESTADO CIVIL:	SOLTERO
CEDULA DE IDENTIDAD:	171546829-2
DIRECCIÓN DOMICILIARIA:	AV DE LA PRENSA N71-114
TELÉFONO CELULAR:	098918962
TELÉFONO DOMICILIO:	022492591

2. ESTUDIOS:

ESCUELA ALFONSO DEL HIERRO "LA SALLE"
COLEGIO MUNICIPAL EXPERIMENTAL SEBASTIAN DE BENALCAZAR
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO: FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

3. CURSOS:

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ASFALTO	PAVIMENTOS ECONÓMICOS
--	-----------------------

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO	DISEÑO DE REDES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DE ALCANTARILLADO PLUVIAL Y SANITARIO MEDIANTE EL USO DE LOS PROGRAMAS WATER-CAD, STORE- CAD Y SEVER-CAD
-------------------------------------	---

4. EXPERIENCIA PROFESIONALES:

ING. JOSE TAYO (2002-2003)	Digitalización planos estructurales de varios proyectos H.A.
ING. ROBERTO PAVON (2003)	Digitalización planos eléctricos nuevo edificio administrativo del concejo provincial de Pichincha (Santo Domingo de los Colorados).
ING HUGO BONIFAZ (2004)	Asistente de laboratorio de Suelos (Becario Facultad de Ingeniería Civil), Paúl Guerrero

- ING. NORMA VELOZ
(2004) Digitalización planos eléctricos unidad Educativa
Kasama Concejo Provincial de Pichincha (Santo
Domingo de los Colorados).
Análisis de Precios Unitarios
- METALCONSTRUCCIONES
ING LUIS CLAVIJO
(2005) Residente de obra en el proyecto “ Diseño de
estructura metálica para nuevos talleres del
CROE”

5. PUBLICACIONES

- REVISTA CIENCIA Nueva metodología para calcular la deriva máxima
de piso en forma rápida
Dr. Roberto Aguiar F

6. RECONOCIMIENTOS:

ESCUELA ALFONSO DEL HIERRO: Abanderado del Pabellón de la Ciudad
COLEGIO “SEBASTIAN DE BENALCAZAR”: Escolta

7. IDIOMAS:

ESPE FACULTAD DE IDIOMAS: Suficiencia en el Idioma Inglés

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Diego Quizanga Martínez

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Sr. Mayor. José Ramos

SECRETARIO ACADÉMICO

Dr. Roberto Saa

Sangolquí, 1 Agosto del 2006