

**ESTIMADO DEL MÁXIMO DESPLAZAMIENTO DE ENTREPISO EN EDIFICIOS DE
HORMIGON ARMADO PARA REGISTROS DE ACELERACION DERIVADOS PARA
PUERTO RICO**

Por

Yvonne González Avellanet

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2006

Aprobado por:

Ricardo R. López Rodríguez, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Luis E. Suárez Colche, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José A. Martínez Cruzado, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Mario Rivera Borrero, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Ismael Pagán Trinidad, M.S.C.E
Director del Departamento de
Ingeniería Civil y Agrimensura

Fecha

Resumen

A través de la historia de Puerto Rico sabemos que nos han afectado al menos 4 terremotos fuertes desde la colonización.

El peligro sísmico para Puerto Rico aumenta de este a oeste. Aunque en general toda la Isla esta expuesta al peligro se espera que las áreas mas afectadas sean las del sur-oeste, debido a la cercanía de fallas sísmicas. Hoy día los daños que produciría un terremoto como los que han ocurrido en el pasado son mayores que nunca. Ya que la población y las estructuras son mucho mayores que antes.

El estudio que se realizó en esta tesis, surge debido la gran preocupación de parte del Comisionado de Seguros de Puerto Rico en poder establecer la Perdida Máxima Probable ante el terremoto esperado. Por lo tanto, se realizó un estudio paramétrico el cual permita estimar con parámetros estructurales simples el máximo desplazamiento de entrepiso que edificios simétricos de hormigón armado puedan experimentar ante los registros de aceleración artificial creados para los principales pueblos de Puerto Rico.

Se seleccionaron una serie de edificios con diferente número de pisos, altura de entrepiso y porcentaje de área de pared por dirección. Se crearon modelos tridimensionales los cuales fueron sometidos a los registros de aceleración y estos fueron analizados con el programa Sap 2000. Posteriormente se relacionaron los resultados para poder estimar el máximo desplazamiento de entrepiso.

Abstract

Through the history of Puerto Rico we know that 4 strong earthquakes have affected us at least from the colonization.

The seismic danger for Puerto Rico increases from west to east. Although in general the entire Island is exposed to the danger is expected that the most affected areas are those of the south-west, due to the proximity of seismic faults. Today the damages that an earthquake would produce like those that have occurred in the past are greater than ever. Since the population and the structures are much greater than before.

The work in this thesis, arises due the concern from the Commissioner of Insurances of Puerto Rico in being able to establish the Maxima Probable Lost because the expected earthquake. Therefore, a parametric study was made which allows estimating with simple structural parameters the maximum drift that symmetrical reinforced concrete buildings can experiment due to the artificial ground motion record for the main cities of Rico Rico.

A series of buildings were selected with different number of floors, height of floor and percentage of wall area. Three-dimensional models were created which were analyzed with the artificial ground motion record and these were analyzed with the program Sap 2000. Later the results were related to be able to estimate the maximum drift.

Dedicado a Efraín González Avellanet por confiar en mí incondicionalmente y ser fuente de inspiración a través de mi vida.

Agradecimientos:

Deseo agradecer al Dr. José A. Martínez Cruzado por confiar en mí y ofrecerme la oportunidad de ser parte del proyecto de investigación auspiciado por la Oficina del Comisionado de Seguros de Puerto Rico. Mis agradecimientos al Dr. Ali Safar por sus sugerencias, orientación y colaboración. Mis agradecimientos al Dr. Ricardo López Rodríguez por su supervisión y orientación. Mis agradecimientos al Dr. Luis E. Suárez Colche por sus sugerencias.

Tabla de Contenido

Capítulo 1.	Introducción.....	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos	5
Capítulo 2.	Publicaciones Previas.....	6
Capítulo 3.	Metodología Para La Determinación Del Máximo Desplazamientos De	
	Entrepiso	15
3.1.	Introducción	15
3.2.	Análisis Dinámico	16
3.3.	Características de los Modelos En SAP2000	17
3.3.1.	Agrietamiento de la Estructura.....	17
3.4.	Procedimiento para la Estimación del Máximo Desplazamiento de Entrepiso	18
Capítulo 4.	Selección y Análisis: Edificios Simétricos de Hormigón Armado	21
4.1.	Introducción	21
4.2.	Selección: Dimensiones de los Edificios, Tamaño de Claros y Número de Pisos.....	21
4.3.	Determinación del Tamaño de los Elementos Estructurales	24
4.3.1.	Determinación del Espesor de la Losa de Piso	24
4.3.2.	Determinación del Tamaño de las Vigas.....	25
4.3.3.	Determinación del Tamaño de las Columnas.....	25
4.3.4.	Determinación de la Cantidad y el Espesor de Paredes	26
4.4.	Aplicación de Cargas Gravitarias.....	29
Capítulo 5.	Resultados	31

5.1.	Periodo de Vibración.....	31
5.1.2.	Desarrollo Fórmula para Estimar el Periodo Fundamental de Vibración.....	32
5.2.	Desplazamiento de Entrepiso	37
5.3.	Estimación del Máximo Desplazamiento de Entrepiso.....	118
5.3.1.	Desplazamiento Espectral	120
5.3.2.	Altura Efectiva de los Edificios	121
5.3.3.	Determinación de los Valores de α y β	125
5.4.	Resultados Finales.....	135
5.4.2.	Desplazamiento Lateral Para Estructuras de Periodos Cortos	142
5.5.	Fórmula del UBC	142
5.6.	Edificio el Castillo.....	152
Capítulo 6.	Conclusiones y Recomendaciones	154
6.1.	Resumen.....	154
6.2.	Conclusiones	155
6.3.	Recomendaciones.....	157
	Referencias.....	159
	Apéndice A Población de Puerto Rico por Municipios: 1930-2000.....	163
	Apéndice B Selección de Tamaño columnas.....	167
	Apéndice C Regresiones.....	169
	Apéndice D Desplazamiento Lateral para Estructuras Dentro de la Región de Periodo Cortos.....	179
	Apéndice E Resultados Análisis Modal: Edificio EL Castillo.....	182

Lista de Figuras

Figura 1.1.	Fallas sísmicas en Puerto Rico	2
Figura 2.1.	Registro de aceleración artificial recomendado para el área de Mayagüez/ Ponce	13
Figura 2.2.	Registro de aceleración artificial recomendado para el área de San Juan.....	14
Figura 4.1.	Planta adecuada para número de pisos igual a 8.	22
Figura 4.2.	Pórtico típico (Dimensiones generales en pies). Número de pisos igual a 8.	23
Figura 4.3.	Edificio de 8 pisos en tres dimensiones.	23
Figura 4.4.	Caso # 1, 0 % de área de pared.	27
Figura 4.5.	Caso # 2, 0.25 % de área de pared. Espesor de pared igual a 8”.....	27
Figura 4.6.	Caso # 3 y 4, 0.5 y 1 % de área de pared. Espesor de pared igual a 8” y 16” respectivamente.....	28
Figura 4.7.	Caso # 5,6 y 7, 1.5, 2 y 3 % área de pared. Espesor de pared igual a 6”, 8” y 12” respectivamente.....	28
Figura 4.8.	Caso # 8, 5 % área de pared. Espesor de pared igual a 16”.	29
Figura 5.1.	Modo 1: Periodo de fundamental de vibración vs. Porcentaje de área de pared ...	33
Figura 5.2.	Modo 1: Periodo fundamental de vibración vs. Altura de los edificios.....	35
Figura 5.3.	Periodo fundamental de Vibración vs. Altura: Polinomio	36
Figura 5.4.	(a)Deformación edificio de pórtico. (b) Deformada edificio con paredes estructurales.....	39
Figura 5.5.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8’	40

Figura 5.6.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8' .	41
Figura 5.7.	Registro de Mayagüez/Ponce .Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8' .	41
Figura 5.8.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10' .	42
Figura 5.9.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10' .	43
Figura 5.10.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10' .	43
Figura 5.11.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12' .	44
Figura 5.12.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12' .	45
Figura 5.13.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12' .	45
Figura 5.14.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8' .	46
Figura 5.15.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8' .	47
Figura 5.16.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8' .	47

Figura 5.17.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'	48
Figura 5.18.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'	49
Figura 5.19.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'	49
Figura 5.20.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'	50
Figura 5.21.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'	51
Figura 5.22.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'	51
Figura 5.23.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'	52
Figura 5.24.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'	53
Figura 5.25.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'	53
Figura 5.26.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'	54
Figura 5.27.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'	55

Figura 5.28.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'	55
Figura 5.29.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'	56
Figura 5.30.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'	57
Figura 5.31.	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 piso., Altura de piso igual a 12'	57
Figura 5.32.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'	58
Figura 5.33.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'	59
Figura 5.34.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'	59
Figura 5.35.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'	60
Figura 5.36.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'	61
Figura 5.37.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 piso. Altura de piso igual a 10'	61
Figura 5.38.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'	62

Figura 5.39.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.	63
Figura 5.40.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.	63
Figura 5.41.	Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	64
Figura 5.42.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.	65
Figura 5.43.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.	65
Figura 5.44.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	66
Figura 5.45.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos, Altura de piso igual a 10'.	67
Figura 5.46.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	67
Figura 5.47.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.	68
Figura 5.48.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.	69
Figura 5.49.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos, altura de piso igual a 12'.	69

Figura 5.50.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	71
Figura 5.51.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos, altura de piso igual a 8'.....	71
Figura 5.52.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	72
Figura 5.53.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	74
Figura 5.54.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	74
Figura 5.55.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	75
Figura 5.56.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	77
Figura 5.57.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	77
Figura 5.58.	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	78
Figura 5.59.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	79
Figura 5.60.	Registro de San Juan Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	80

Figura 5.61.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.	80
Figura 5.62.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.	81
Figura 5.63.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.	82
Figura 5.64.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.	82
Figura 5.65.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.	83
Figura 5.66.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.	84
Figura 5.67.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.	84
Figura 5.68.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.	85
Figura 5.69.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.	86
Figura 5.70.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.	86
Figura 5.71.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.	87

Figura 5.72.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.	88
Figura 5.73.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.	88
Figura 5.74.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.	89
Figura 5.75.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.	90
Figura 5.76.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.	90
Figura 5.77.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.	91
Figura 5.78.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.	92
Figura 5.79.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.	92
Figura 5.80.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.	93
Figura 5.81.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.	94
Figura 5.82.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos, altura de piso igual a 10'.	94

Figura 5.83.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.	95
Figura 5.84.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12.	96
Figura 5.85.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.	96
Figura 5.86.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.	97
Figura 5.87.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.	98
Figura 5.88.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.	98
Figura 5.89.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.	99
Figura 5.90.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.	100
Figura 5.91.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.	100
Figura 5.92.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.	101
Figura 5.93.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.	102

Figura 5.94.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	102
Figura 5.95.	Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	103
Figura 5.96.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.	104
Figura 5.97.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	104
Figura 5.98.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	105
Figura 5.99.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	106
Figura 5.100.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.	106
Figura 5.101.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.	107
Figura 5.102.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.	108
Figura 5.103.	Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	108
Figura 5.104.	Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.	110

Figura 5.105. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.	110
Figura 5.106. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.	111
Figura 5.107. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.	113
Figura 5.108. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.	113
Figura 5.109. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de piso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.	114
Figura 5.110. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.	116
Figura 5.111. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.	116
Figura 5.112. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.	117
Figura 5.113. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Deformada real del edificio. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.	118
Figura 5.114. Espectro de desplazamiento para el registro de Mayagüez/Ponce y San Juan....	121
Figura 5.115. (a) Sistema original con j pisos. (b) Sistema de un piso con masa modal efectiva y altura modal efectiva	122
Figura 5.116. Modo 1. Edificio de 8 pisos	123
Figura 5.117. Alpha vs. Altura. Edificio con 0.25 % de área de pared	126

Figura 5.118. Registro de Mayagüez/Ponce. Valores de α	129
Figura 5.119. Registro de Mayagüez/Ponce. Valores de β	131
Figura 5.120. Registro de San Juan. Valores de α	133
Figura 5.121. Registro de San Juan. Valores de β	135
Figura 5.122. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 0 % de área de pared	144
Figura 5.123. Fórmula Periodo UBC vs. Resultados. 0.25 % de área de pared	145
Figura 5.124. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 0.50 % de área de pared	146
Figura 5.125. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1 % de área de pared	147
Figura 5.126. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1.5 % de área de pared.	148
Figura 5.127. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1.5 % de área de pared	149
Figura 5.128. Fórmula de Periodo del UBC vs. Resultados. 3 % de área de pared	150
Figura 5.129. Fórmula Periodo del UBC vs. Resultados. 5 % de área de pared	151

Lista de Tablas

Tabla 4.1	Cantidad de paredes requerida por dirección para cada caso.....	26
Tabla 5.1	Resumen Periodo fundamental de vibración; Modo 1	32
Tabla 5.2	Coeficientes para la fórmula del periodo para la altura de los edificios en pies ...	34
Tabla 5.3	Coeficientes para la fórmula del periodo para la altura de los edificios en metros...	35
Tabla 5.4	Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: fórmula polinomio.....	36
Tabla 5.5	Casos 5 6, 7 y 8. Desviación estándar: fórmula polinomio.....	37
Tabla 5.6	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	40
Tabla 5.7	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	42
Tabla 5.8	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	44
Tabla 5.9	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	46
Tabla 5.10	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	48
Tabla 5.11	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos., Altura de piso igual a 12'.....	50
Tabla 5.12	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	52

Tabla 5.13	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	54
Tabla 5.14	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	56
Tabla 5.15	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	58
Tabla 5.16	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos, altura de piso igual a 10'.....	60
Tabla 5.17	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	62
Tabla 5.18	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	64
Tabla 5.19	Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.....	66
Tabla 5.20	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	68
Tabla 5.21	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.....	70
Tabla 5.22	Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos, altura de piso igual a 10'.....	73
Tabla 5.23	Registro de Mayagüez/Ponce.Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.....	76

Tabla 5.24	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.	79
Tabla 5.25	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.	81
Tabla 5.26	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.	83
Tabla 5.27	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.	85
Tabla 5.28	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.	87
Tabla 5.29	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.	89
Tabla 5.30	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.	91
Tabla 5.31	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.	93
Tabla 5.32	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.	95
Tabla 5.33	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.	97
Tabla 5.34	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.	99

Tabla 5.35	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12' .	101
Tabla 5.36	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8' .	103
Tabla 5.37	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10' .	105
Tabla 5.38	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12' .	107
Tabla 5.39	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8' .	109
Tabla 5.40	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10' .	112
Tabla 5.41	Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12' .	115
Tabla 5.42	Deformada del 1 ^{er} modo para el edificio de 8 pisos.	123
Tabla 5.43	Tabla para calcular altura efectiva.	123
Tabla 5.44	Resumen razón de la altura efectiva a la altura total.	124
Tabla 5.45	Valores de α y β . Edificio de 8 pisos. Registro de Mayagüez/Ponce.	125
Tabla 5.46	Registro de Mayagüez/Ponce. Resumen valores de α .	127
Tabla 5.47	Registro de Mayagüez/Ponce Resumen valores de β .	129
Tabla 5.48	Registro de San Juan. Resumen valores de α .	131
Tabla 5.49	Registro de San Juan. Resumen valores de β .	133
Tabla 5.50	Resultados para el edificio de 3 pisos.	136

Tabla 5.51	Resultados para el edificio de 8 pisos.	137
Tabla 5.52	Resultados para el edificio de 12 pisos.	138
Tabla 5.53	Resultados para edificio de 18 pisos.	139
Tabla 5.54	Resultados para el edificio de 24 pisos.	140
Tabla 5.55	Resultados para el edificio de 30 pisos.	141
Tabla 5.56	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 0 % área de pared....	144
Tabla 5.57	Comparación fórmulas del periodo fundamental de vibración. 0.25 % de área pared.	145
Tabla 5.58	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 0.50 % de área pared.	146
Tabla 5.59	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 1 % de área pared....	147
Tabla 5.60	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 1.5 % de área pared.	148
Tabla 5.61	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 2 % de área pared....	149
Tabla 5.62	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 3 % de área pared....	150
Tabla 5.63	Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 5 % de área pared....	151
Tabla 5.64	Porcentaje de área de pared para el edificio El Castillo.....	152

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción

Desde tiempos históricos se tiene conocimiento de terremotos que han ocasionado destrucciones en ciudades y poblados en diversos continentes de La Tierra. Se estima que aproximadamente un 75 por ciento de las fatalidades ocurridas durante los terremotos son atribuidas al colapso de estructuras.

Puerto Rico se encuentra ubicado en la esquina noreste de la placa Tectónica del Caribe la cual colinda con la placa Tectónica de Norte América. La placa Tectónica del Caribe está sísmicamente activa. Puerto Rico se halla rodeado de fallas sísmicas formando la plaqueta o plataforma de Puerto Rico e Islas Vírgenes. Ver la Figura 1.1. La Trinchera de Puerto Rico forma el borde norte de la plataforma, mientras que la Trinchera de Muertos forma el borde sur. El Cañón de La Mona y el Pasaje de Anegada forman el borde oeste y este, respectivamente, de la plataforma.

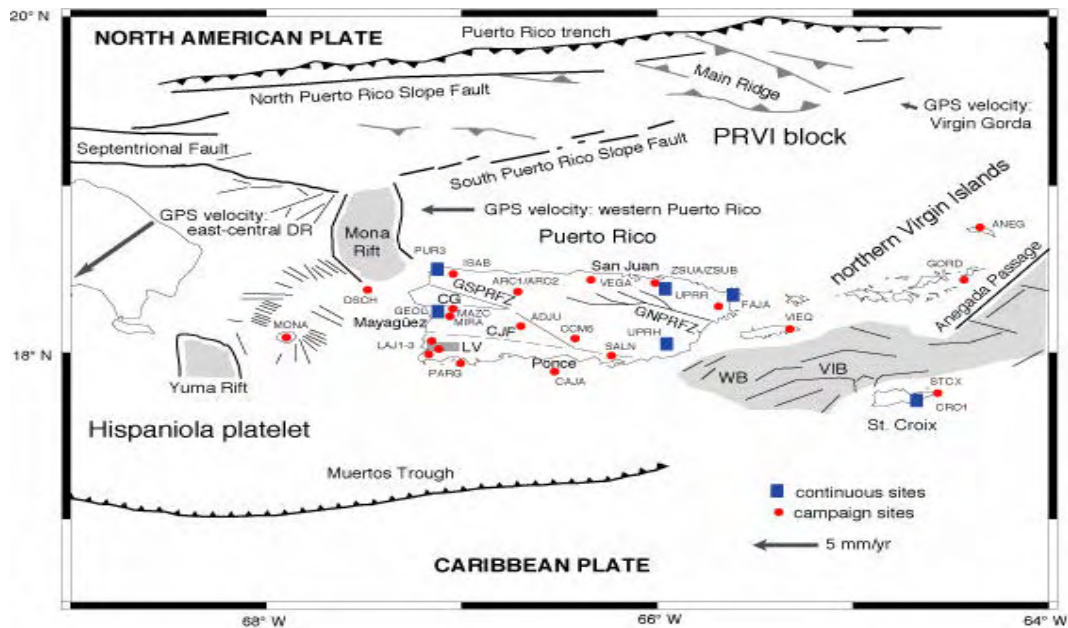


Figura 1.1. Fallas sísmicas en Puerto Rico [22]

Desde el descubrimiento de Puerto Rico por España en 1493 se tiene conocimiento de 4 terremotos fuertes que han causado serios daños a la vida y propiedad. El 15 de agosto de 1670 ocurrió un terremoto cuya magnitud específica no ha podido ser precisada. Los daños se concentraron en el área de San Germán y San Juan por ser las zonas mas pobladas de la Isla. El 2 de mayo de 1787 ocurrió el terremoto más fuerte que ha afectado a Puerto Rico desde comienzos de la colonización. Este se sintió fuerte en toda la Isla y pudo haber alcanzado una magnitud de 8.0 grados. Su epicentro fue posiblemente al norte, en la Trinchera de Puerto Rico [17]. El 18 de noviembre de 1867 ocurrió un terremoto de magnitud de momento aproximada de 7.3 grados. Su epicentro fue localizado en el Pasaje de Anegada entre Puerto Rico y cerca de la isla de Santa Cruz. El terremoto produjo un maremoto que penetró casi 150 metros en las partes bajas de la costa de Yabucoa [17]. El 11 de octubre de 1918 ocurrió un terremoto con una magnitud de momento aproximada de 7.3 grados y fue acompañado por un maremoto que llegó a alcanzar seis metros de altura en la costa de Aguadilla. El terremoto se originó en el pasaje de

Mona, alrededor de 40 kilómetros de la costa noroeste de la Isla. Los daños se concentraron en el área oeste de la Isla por ser esta la zona más cercana al epicentro. Como consecuencia del terremoto murieron 116 personas y hubo más de cuatro millones de dólares en pérdidas. Numerosas casas, fábricas, edificios públicos, chimeneas, puentes y otras edificaciones sufrieron daños severos [17].

1.2. Justificación

Hoy en día, los daños que produciría un terremoto tan fuerte como los que han ocurrido en el pasado son potencialmente mayores que nunca. Esto es debido a que la población y edificaciones expuestas al peligro de terremoto son mucho mayores que antes. Para el censo del 1930 en Puerto Rico habían 1,543,913 habitantes y para el censo del 2000 la población era de 3,808,610 habitantes. Para las ciudades principales el censo indica que la población del 1930 al 2000 aproximadamente se duplicó. En Mayagüez para el año 1930 había 58,270 habitantes y para el año 2000 esta población aumentó a 98,4343. En Ponce la población en el año 1930 era de 87,604 habitantes y para el 2000 la misma era ya de 186,575 habitantes. En San Juan solamente, la población básicamente se triplicó, para el 1930 habían 114,715 habitantes y para el 2000 la ciudad ya contaba con 434,734 habitantes [8]. En el Apéndice A se encuentra una tabla con los datos del censo de todos los pueblos del 1930 al 2000. Por otra parte, un estudio reciente halló más de 800 edificios de 6 pisos o más en la zona metropolitana [7]. Si hoy ocurriera un terremoto fuerte, de magnitud similar a los que han ocurrido en el pasado, podría haber miles de muertos y heridos así como billones de dólares en pérdidas. Existe una gran preocupación de parte del Comisionado de Seguros de Puerto Rico en poder establecer cuán vulnerable al colapso son las estructuras ante el terremoto esperado. Por tal razón, surge la motivación del Comisionado de

Seguros de Puerto Rico, en conjunto con el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez en trabajar en un proyecto el cual permita, con información mínima, poder estimar con baja incertidumbre los daños estructurales que ocurrirán en estructuras de edificios debido a los terremotos esperados.

Al Comisionado de Seguros de Puerto Rico le interesa saber cual será la máxima pérdida probable, para diversos tipos de estructuras. Para propósito de ingeniería el daño mayor que experimenta una estructura se puede relacionar directamente al desplazamiento de entrepiso máximo. Es por ello que este estudio se enfoca en la estimación del desplazamiento de entrepiso máximo que edificios con diferentes características puedan exhibir. Los terremotos pueden inducir desplazamientos laterales significativos en las estructuras lo cual es la mayor causa del daño. Por lo tanto es necesario poder relacionar el daño de la estructura al máximo desplazamiento de entrepiso, también conocido como deriva.

Para encontrar una forma simple de estimar el máximo desplazamiento de entrepiso, en esta tesis se realizará un estudio paramétrico, empleando métodos analíticos. El desplazamiento lateral en estructuras de hormigón armado es computado típicamente considerando la aplicación de carga lateral estática y secciones de elementos estructurales no agrietadas. La respuesta de una estructura durante un terremoto puede entrar en el rango inelástico. Si ocurre una respuesta en el rango inelástico, el uso de secciones no agrietadas no es realista y por lo tanto los desplazamientos laterales no son compatibles con los desplazamientos laterales actuales. Por lo tanto, el estudio se realizará en el rango elástico, pero se tomará en cuenta el agrietamiento de los elementos estructurales. No se tomó en cuenta la cedencia del acero de refuerzo.

Se utilizarán dos registros de aceleración artificial, uno para el área de Mayagüez y Ponce y otro para el área de San Juan [14]. Estos registros de aceleración artificial fueron creados para el terremoto máximo creíble. Debido a la severidad de estos registros se espera que la estructura entre en el rango inelástico. Veletsos y Newmark [23] y Veletsos et al. [24] encontraron que el desplazamiento elástico es muy similar al desplazamiento inelástico cuando la estructura tiene un periodo fundamental de vibración mayor de 0.5 segundos. Del estudio también se concluyó que estructuras dentro de la región de periodos cortos de menos de 0.5 segundos, los desplazamientos inelásticos son significativamente mayores que los desplazamientos elásticos.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es estimar con parámetros estructurales simples el máximo desplazamiento de entrepiso que edificios de hormigón armado puedan experimentar ante los registros de aceleración artificial creados para las principales ciudades de Puerto Rico.

Capítulo 2. Publicaciones Previas

El máximo desplazamiento de entrepiso se puede considerar como una representación del daño que experimenta una estructura cuando está sujeta a un movimiento del suelo. [3]

Veletsos y Newmark [23] y Veletsos et al. [24] estudiaron sistemas de un grado de libertad con un comportamiento elasto-plástico sujeto a un pulso y tres registros de aceleración. Ellos observaron que para periodos de vibración iguales y mayores de 0.5 segundos la máxima deformación para un sistema inelástico es muy similar a la de un sistema elástico. De su estudio también concluyeron que los desplazamientos de un sistema que entra en el rango inelásticos son significativamente más altos que los desplazamientos de un sistema que se mantiene en el rango elástico para periodos bajos.

Lepage [15] observaron que se puede realizar un estimado razonable de los desplazamientos inelásticos basado en la rigidez y masa de la estructura. Un método simple de estimar el desplazamiento de entrepiso está basado en el área de los elementos que resisten carga lateral, método que se conoce como “Floor – Area”. Para un sistema lineal la relación entre la aceleración espectral y el desplazamiento espectral está dada por:

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} \approx S_a \frac{M}{K} \quad (1.1)$$

donde ω es la frecuencia, M es la masa, y K es la rigidez lateral de la estructura. Se presume que: la masa (M) es proporcional al área de piso en todos los pisos (A_{ft}) y que la rigidez (K) es

proporcional a la suma del área efectiva de las columnas (A_{ce}) y las paredes (A_{wt}). Estas presunciones se resumen en la siguiente ecuación:

$$\frac{M}{K} \approx \alpha \frac{A_{fi}}{100(A_{ce} + A_{wt})} = \frac{\alpha}{SI} \quad (1.2)$$

$$\text{donde } SI = 100 \frac{(A_{ce} + A_{wt})}{A_{fi}} \quad (1.3)$$

donde la variable α es una constante de proporcionalidad y SI se define como el índice estructural, el cual representa un porcentaje del área total de piso de la estructura que es ocupado por los elementos estructurales. Hassan y Sozen [12] propusieron la siguiente expresión para A_{ce} y A_{wt} como la base para un método simple para vulnerabilidad sísmica de estructuras de hormigón armado.

$$A_{ce} = \frac{\sum A_{col}}{2} \quad (1.4)$$

$$A_{wt} = \sum A_{cw} + \frac{\sum A_{mw}}{10} \quad (1.5)$$

donde,

A_{ce} = área seccional efectiva de las columnas en la base del edificio

A_{wt} = área seccional efectiva de las paredes en la base del edificio

A_{cw} = área total de paredes de hormigón armado en la base del edificio

A_{mw} = área total de paredes de mampostería en la base del edificio, presumiendo que son

continua sobre la base

A_{col} = área seccional total de las columnas en la base.

Combinando la ecuación 1.1 y 1.2 se obtiene que:

$$S_d = S_a \frac{\alpha}{SI} \quad (1.6)$$

Matamorros et. al [1] utilizó un método propuesto por Shimazaki y Sozen en donde se propone la siguiente expresión para definir un espectro de respuesta lineal idealizado para un oscilador de un grado de libertad.

$$S_a = PGA \cdot g \cdot A_a \text{ para } T < T_g \quad (1.7)$$

$$S_a = PGA \cdot g \cdot A_a \frac{T_g}{T} \text{ para } T > T_g \quad (1.8)$$

donde T_g es el periodo característico del movimiento del suelo, PGA es la máxima aceleración del suelo, la aceleración de la gravedad es g , y A_a es el factor de amplificación del movimiento del suelo. Reemplazando la ecuación 1.7 y 1.8 en la ecuación 1.6 se obtiene:

$$S_d = PGA \cdot g \cdot A_a \frac{\alpha}{SI} \text{ para } T < T_g \quad (1.9)$$

$$S_d = PGA \cdot g \cdot A_a \frac{\alpha}{SI} \frac{T_g}{T} \text{ para } T > T_g \quad (1.10)$$

La ecuación 1.9 provee un estimado del desplazamiento espectral de estructuras de baja altura en término del índice estructural (SI) y la máxima aceleración del suelo (PGA). Una estimación del desplazamiento en el techo se puede obtener multiplicando el desplazamiento espectral por un factor de participación modal para el modo fundamental.

El método “ target displacement coefficient” se describe en el documento FEMA 273 [5] y se usa para estimar el desplazamiento de entrepiso. La ecuación para estimar el desplazamiento de entrepiso es la siguiente:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e}{4\pi^2} g \quad (1.11)$$

donde T_e es el periodo efectivo y los coeficientes deben ser determinados basados en el número de pisos (C_0), el periodo efectivo (C_1), respuesta histerética (C_2), efecto P- Δ (C_3) y el espectro de respuesta (S_a con 5 % de amortiguamiento).

Matamoras et. al [1] utilizó el método provisto en FEMA 273 y el método de “ Floor Area” para estimar el desplazamiento de entrepiso. La precisión de la metodología propuesta por estos métodos fue evaluada utilizando modelos reducidos a escala sometidos a diversos registros de aceleración. Se encontró que el método “Floor- Area” fue el más conservador. El método de los coeficientes, implementado con algunas presunciones, resultó en unos estimados de desplazamiento de entrepiso mucho más cerca de los valores medidos en los modelos reducidos a escala.

Se han desarrollado fórmulas empíricas que relacionan la altura del edificio a su periodo fundamental y están disponibles en muchos códigos de diseño. El código UBC en su edición de 1997 utiliza una fórmula semi-empírica. La fórmula es la siguiente:

$$T = C_t h_n^{3/4} \quad (1.12)$$

donde C_t es un coeficiente que depende del material de la estructura y del sistema usado para resistir cargas laterales y h_n es la altura de la estructura en pies. Esta fórmula fue derivada

usando el método de Rayleigh. Se presumió que la fuerza estática equivalente estaba distribuida linealmente sobre la altura del edificio y que la distribución de la rigidez con la altura produce una deformación uniforme bajo la distribución lineal de la fuerza. Goel y Chopra [10] coleccionaron datos de 8 terremotos en California, demostraron que la ecuación (1.12) tiende a estimar el periodo de vibración muy por debajo, especialmente para edificios con más de 16 pisos o 160 pies de altura. Estos investigadores entonces propusieron una alternativa para la fórmula de periodo – altura. Esta fórmula predice mejor el periodo de vibración para pórticos resistentes a momento de hormigón armado. La fórmula tiene la siguiente forma:

$$T_L = 0.016H^{0.9} \quad (1.13)$$

$$T_U = 0.023H^{0.9} \quad (1.14)$$

Donde T_L y T_U son el periodo para la mejor regresión menos y mas una desviación estándar respectivamente y H es la altura del edificio en pies.

Hong and Hwang [13] derivaron una fórmula empírica para predecir el periodo fundamental de vibración para pórticos resistentes a momento de hormigón armado en Taiwan, utilizando acelogramas de 21 estructuras. Utilizaron los siguientes parámetros para predecir el periodo fundamental de vibración; altura, ancho, largo y tiempo transcurrido desde la construcción de los edificios. Estos investigadores encontraron que sus edificios eran más rígidos que los de California, de manera que desarrollaron una ecuación diferente la cual produce estimados más bajos para el periodo de vibración. También, hallaron que la altura del edificio juega un rol mas importante a la hora de estimar el periodo fundamental de vibración, comparado con el ancho, largo y tiempo transcurrido desde la construcción.

$$T = 0.0294H^{0.804} \quad (1.14)$$

Donde H es la altura del edificio en pies.

Los desplazamientos proveen una buena indicación de los daños que le ocurren a una estructura sujeta a un terremoto. El desplazamiento espectral aumenta a medida que aumenta el periodo fundamental de vibración y por lo tanto si se realiza un estimado muy por debajo del periodo de vibración de la estructura esto producirá predicciones por de bajo en los desplazamientos. Chopra y Goel [9] propusieron que cuando los desplazamientos necesitan ser estimados del espectro de desplazamiento, el periodo de vibración de estructuras de hormigón armado debe ser estimado con la siguiente ecuación:

$$T_u = 0.023H^{0.9} \quad (1.15)$$

Chopra y Goel [9] se basaron en una fórmula teórica derivada usando el método de Dunkerley y regresiones de los datos para determinar el periodo para edificios con paredes de corte. La fórmula para obtener un estimado conservador para el periodo para edificios con paredes de corte es:

$$T_u = 0.0026 \frac{H}{\sqrt{A_e}} \quad (1.16)$$

Donde $\overline{A_e}$ es el área de paredes de corte equivalente, expresado en términos de porciento en relación al área de piso, A_B y esta dado por:

$$A_e = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{N_w} \left(\frac{H}{H_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0.83 \left(\frac{H_i}{D_i} \right)^2 \right]} \quad (1.17)$$

Donde A_i , H_i y D_i son el área, altura y dimensión en la dirección bajo consideración de la i pared de corte y N_w es el número de paredes de corte.

Puerto Rico está localizado dentro de una zona sísmica activa la cual presenta una variedad de fallas sísmicas. Lamentablemente, los registros recientes tienen magnitudes bajas y no son adecuados para registros de movimiento fuerte. Teniendo en cuenta la evidente amenaza sísmica que posee la Isla, se utiliza el código del código UBC []. Este código provee una serie de regulaciones para minimizar el daño sísmico y asegurar la seguridad del público. Sin embargo el espectro de diseño sugerido en el UBC 1997 está basado en el registro de aceleración de El Centro. No obstante este registro no está basado en las características de terremotos en la Isla [14].

Irizarry [14] determinó las características de los máximos terremotos creíbles que pudieran afectar la Isla de acuerdo a las características de las fallas activas en la región. Debido a la ausencia de registros de movimiento fuerte locales de terremotos grandes, registros de terremotos de todo el mundo, similares a los que se esperan en la región de Puerto Rico, fueron usados para desarrollar un espectro de respuesta para aceleración y velocidad para tres ciudades principales (San Juan, Mayagüez y Ponce). Se utilizó “The National Geophysical Data Center’s Earthquake Strong Motion Data CD-ROM”. Finalmente se obtuvo un espectro de diseño suavizado y registros de aceleración artificial fueron creados para el área de Mayagüez/ Ponce y San Juan.

En las Figuras 2.1 y 2.2 se muestran los registros de aceleración artificiales. El tiempo de intervalo es de 0.02 segundos. La aceleración esta en términos de la constante de gravedad, g . El registro artificial considera el máximo de todas las frecuencias. El registro de aceleración para

Mayagüez/Ponce tiene una máxima aceleración del suelo de 0.46 por ciento de g y el registro de aceleración para San Juan tiene una máxima aceleración del suelo de 0.18 por ciento de g.

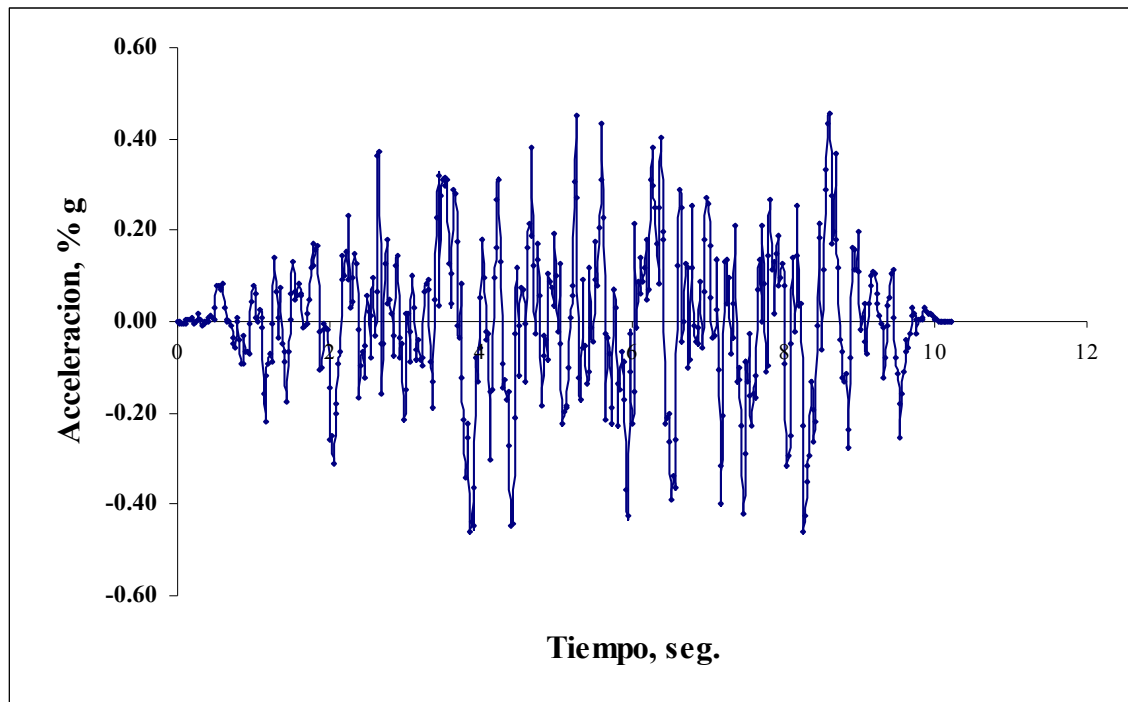


Figura 2.1. Registro de aceleración artificial recomendado para el área de Mayagüez/Ponce

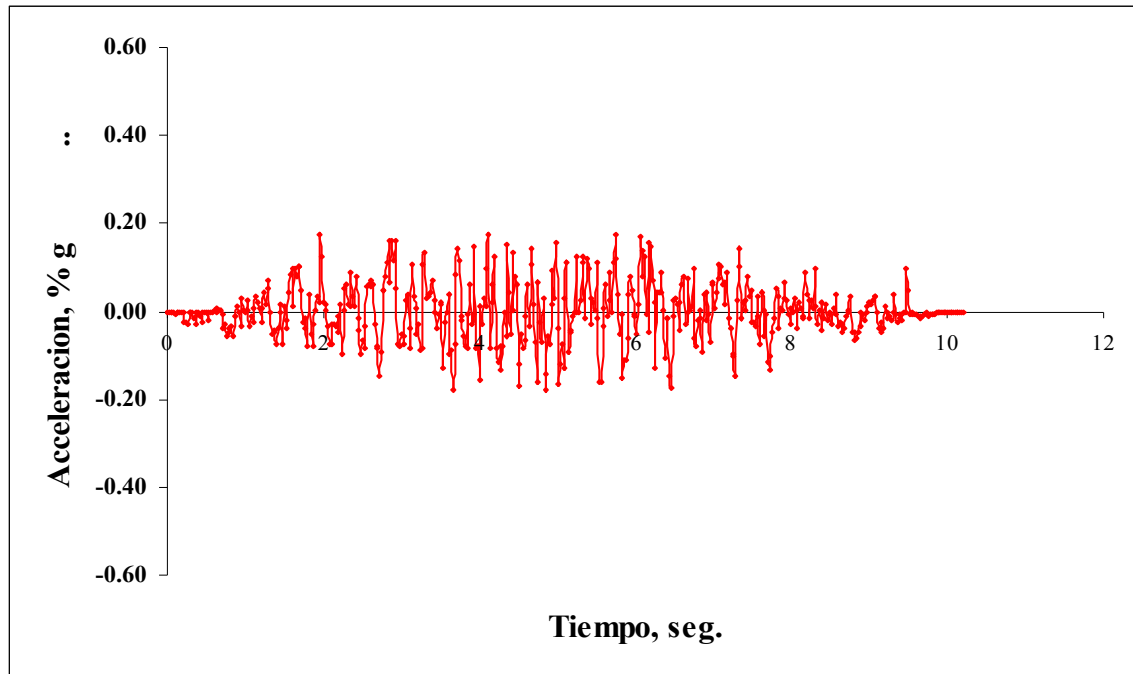


Figura 2.2. Registro de aceleración artificial recomendado para el área de San Juan

Capítulo 3. Metodología Para La Determinación Del Máximo Desplazamientos De Entrepiso

3.1. Introducción

El análisis de los edificios estudiados en este proyecto incluye un modelo tridimensional elaborado con el programa *SAP2000 Versión 7.21* [19]. El programa emplea el procedimiento de análisis modal el cual es apropiado para calcular la respuesta de estructuras complejas de varios grados de libertad a movimientos sísmicos en el rango lineal. La respuesta estructural es modelada como la máxima respuesta de un número de oscilaciones de un simple grado de libertad, cada uno representando un modo específico de vibración de la estructura real.

Las fases necesarias en el procedimiento del análisis modal se basan aplicando una técnica de análisis dinámico para un modelo matemático de la estructura, combinando la respuesta de un número suficiente de modos para asegurar de que por lo menos el 90 porciento de la masa participante de la estructura esté incluido en el cálculo de respuesta para cada dirección horizontal principal. El análisis dinámico utilizado en esta investigación incluye:

- Análisis modal utilizando autovectores
- Análisis lineal de registro en el tiempo

Los casos que se estudiarán son edificios de hormigón armado simétricos en geometría y planta. Los edificios serán para uso general de oficinas, hotel o apartamentos. Se seleccionó un

modelo el cual es de 90 pies de ancho por 90 pies de largo, con 6 claros de 15 pies en cada dirección. El sistema estructural básico del edificio estará compuesto por pórticos de hormigón armado. En cuanto a la selección del número de pisos a ser analizados, se considerará evaluar edificios de 1, 3, 8, 12, 18, 24 y 30 pisos. Se analizará cada edificio con alturas de 8', 10' y 12' por piso. Se determinó utilizar 0, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 y 5 por ciento de área de paredes por dirección en relación al área total del piso. El porcentaje de área de pared a área de piso será uniforme por toda la altura del edificio. En el capítulo 4 se explica detalladamente la base para la selección de los edificios así como su pre-diseño.

3.2. Análisis Dinámico

Para obtener los periodos de vibración de la estructura se emplea un análisis modal. Se realiza un análisis dinámico elástico para obtener los desplazamientos máximos de la estructura y se utilizaron secciones agrietadas. Los edificios fueron analizados aplicándoles carga sísmica. La carga sísmica está representada por dos registros de aceleración artificial, uno creado para el área de Mayagüez y Ponce y el otro para el área San Juan [14]. Los registros de aceleración artificial fueron modificados para que al integrarse 2 veces terminen con cero desplazamiento [16]. Se esperaba que bajo condiciones normales los edificios sometidos a los registros de aceleración utilizados hagan incursión en el rango inelástico. Para los edificios que tengan un periodo de vibración de 0.5 segundos o más, el desplazamiento que se obtenga del análisis elástico será muy similar al desplazamiento inelástico. Se espera que para los edificios con periodos de vibración de 0.5 segundos o menos, los desplazamientos inelásticos serán significativamente mayores que los desplazamientos elásticos.

3.3. Características de los Modelos En SAP2000

Cada modelo utilizado en este estudio tiene las siguientes características generales:

- Geometría: Las vigas y las columnas se modelan con elementos de pórtico. El piso es modelado como un diafragma rígido. Las paredes fueron idealizadas mediante elementos finitos.
- Apoyos: De acuerdo con las condiciones de la fundación los modelos elaborados fueron empotrados en su base.
- Carga: La carga muerta y la carga viva reactiva fue distribuida sobre las vigas.
- Masa: La masa muerta debido a la losa de la estructura fue concentrada en las juntas de la estructura. La masa correspondiente de los elementos de vigas, columnas y elementos finitos fue concentrada automáticamente en la junta de los elementos por el programa Sap 2000.

3.3.1. Agrietamiento de la Estructura

Los edificios se modelaron utilizando el momento de inercia efectivo. En la realidad la estructura sufre fisuras, de manera que se debe utilizar un momento de inercia efectivo para lograr obtener desplazamientos laterales más reales, lo cual pueda compensar el comportamiento de la estructura bajo esas condiciones. Se consideró que la viga se funde con la losa de piso formando una viga en forma de T. Las vigas en forma de T poseen una rigidez que aproximadamente duplica la de la viga rectangular. Por lo tanto, para el momento de inercia efectivo se utilizó 0.7 de I_{gross} para todas las vigas. Esto compara favorablemente con la sugerencia del ACI 318-05 [4] de usar $I_{efectivo}$ igual a 0.35 I_{gross} cuando se está considerando vigas rectangulares en lugar de vigas en forma de T. Para las columnas y paredes se considero

que para la primera tercera parte de la altura total de cada edificio $I_{efectivo}$ es igual a 0.5 de I_{gross} . Para el resto de la altura $I_{efectivo}$, para columnas y paredes, es igual a 0.7 de I_{gross} .

3.4. Procedimiento para la Estimación del Máximo Desplazamiento de Entrepiso

Para poder establecer una relación entre el periodo de vibración, el máximo desplazamiento de entrepiso y el porcentaje de área de pared de la estructura, se realizó un estudio paramétrico. La primera parte del estudio consistió en observar cómo varía el periodo fundamental de vibración de los edificios a medida que aumenta la altura del edificio y el porcentaje de área de pared. Se realizan gráficos de altura vs. periodo. Partiendo de este gráfico se consideraron una serie de regresiones para determinar cual regresión representa mejor la correlación. Se consideraron regresiones potencial, polinómica, lineal, exponencial y logarítmica. De la regresión se encontrará una ecuación para cada porcentaje de área de pared seleccionado la cual quedará en términos de la altura del edificio. Se evaluaron todos los casos y se calculó la desviación estándar. La ecuación con una desviación estándar menor, fue la utilizada para producir la fórmula final.

El próximo paso fue determinar cuál es el máximo desplazamiento de entrepiso esperado para las estructuras. Del paso anterior se pudo calcular el periodo fundamental de vibración de la estructura y por lo tanto se puede obtener el desplazamiento espectral utilizando el espectro de desplazamiento de los registros de aceleración utilizados. Se puede establecer una correlación entre el desplazamiento espectral y el desplazamiento en el techo. El desplazamiento espectral ocurre a una altura efectiva la cual se puede determinar mediante un método simple. La razón de

la altura total y la altura efectiva del edificio multiplicado por el desplazamiento espectral serán igual al desplazamiento en el techo obtenido por una relación lineal (δ_{RL}).

$$\delta_{RL} = \frac{H}{H_{efe}} * S_D \quad (3.1)$$

Sin embargo esto representa una relación lineal, lo cual no necesariamente es plausible. El desplazamiento lateral real en el techo se obtiene de la corrida con el programa Sap 2000 [19] para cada edificio sometido al registro correspondiente. El desplazamiento del techo obtenido por medio de la proporción lineal del desplazamiento espectral se puede relacionar con el desplazamiento real en el techo a través de un factor denominado α según la ecuación 3.2.

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\delta_R}{\delta_{RL}} \\ \delta_R &= \alpha \delta_{RL} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Con el desplazamiento en el techo se obtiene el desplazamiento promedio de entrepiso.

$$Drift_{ave} = \frac{\delta_R}{H} * 100 \quad (3.3)$$

El próximo paso sería relacionar el máximo desplazamiento de entrepiso con el desplazamiento de entrepiso total o promedio. El máximo desplazamiento real se obtiene de la corrida del programa. De modo que la razón entre el máximo desplazamiento de entrepiso y el desplazamiento de entrepiso promedio se establece un factor (β) según se expresa en la ecuación 3.4.

$$\beta = \frac{Drift_{max}}{Drift_{ave}} \quad (3.4)$$

En síntesis tenemos que el máximo desplazamiento de entrepiso es igual a

$$Drift_{\max} = \beta\alpha\left(\frac{S_D}{H_{efe}}\right)*100 \quad (3.5)$$

Por otra parte en todos los análisis se utilizó una razón de amortiguamiento igual al 5 por ciento del amortiguamiento crítico.

Capítulo 4. Selección y Análisis: Edificios Simétricos de Hormigón Armado

4.1. Introducción

En este capítulo se presenta la base utilizada en la selección y pre-diseño de los edificios que se estudiarán con el objetivo de estimar, con parámetros estructurales simples, el máximo desplazamiento de entrepiso que edificios de hormigón armado puedan experimentar ante los registros de aceleración artificial creados para las principales ciudades de Puerto Rico.

4.2. Selección: Dimensiones de los Edificios, Tamaño de Claros y Número de Pisos

Los edificios que se estudiaron son para uso de oficinas, hotel o apartamentos. Se seleccionó un edificio cuadrado de 90 pies en ambas direcciones con el propósito de poder variar el número y localización de paredes. El sistema estructural del edificio está compuesto de pórticos de hormigón armado. El diseño de cada pórtico no fue alterado por la inclusión de paredes. La estructura está dividida en 6 claros de 15 pies cada uno. De igual manera 15 pies de claros son comunes en la práctica. Otro factor importante que se tomó en consideración para la selección del tamaño de la estructura era que está fuera simétrica ya que durante la fase inicial se quería evitar el efecto de torsión en la estructura. En la Figura 4.1 se aprecia una vista en planta general del edificio.

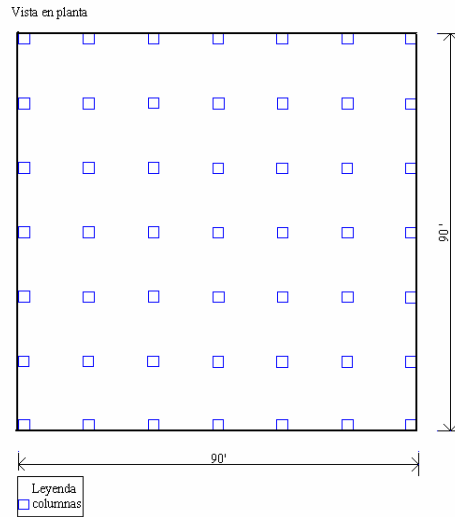


Figura 4.1. Planta adecuada para número de pisos igual a 8.

En cuanto a la selección del número de pisos a ser analizados, se consideró evaluar edificios de 1, 3, 8, 12, 18, 24 y 30 pisos. Se consideró que en Puerto Rico el edificio más alto es aproximadamente de 30 pisos por lo que se decidió escoger 30 pisos como el límite superior. En cuanto a la altura de cada piso se analizará cada edificio con alturas de 8', 10' y 12' por piso. En la Figura 4.2 se puede observar un ejemplo de un pórtico típico. El edificio tiene 8 pisos en donde la altura de cada piso es de 10 pies. La Figura 4.3 muestra el modelo tridimensional elaborado con el programa Sap 2000 [19].

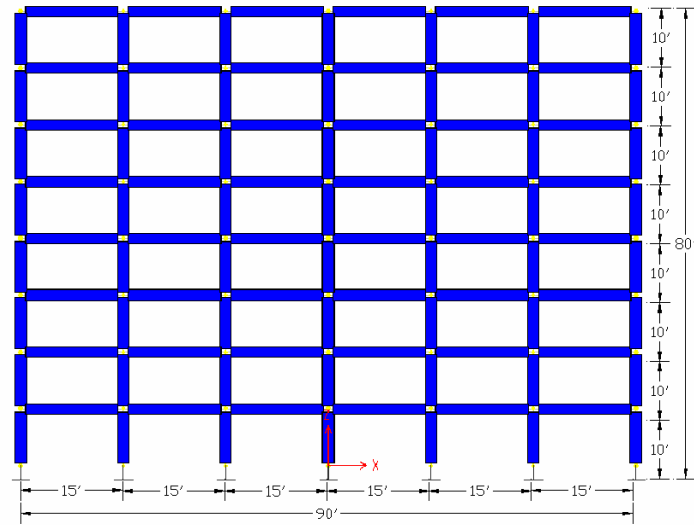


Figura 4.2. Pórtico típico (Dimensiones generales en pies). Número de pisos igual a 8.

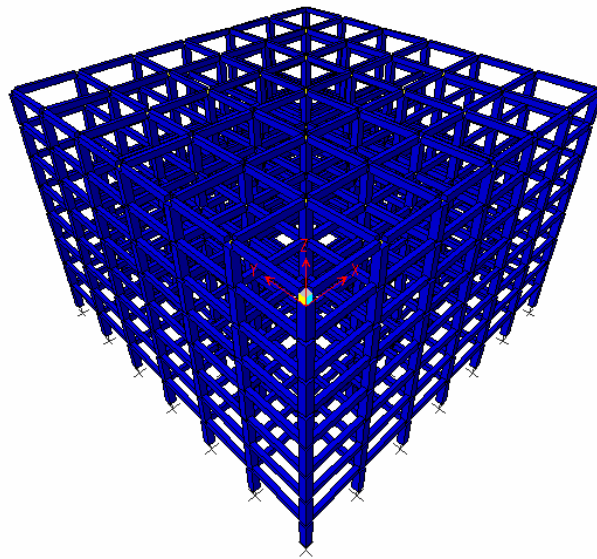


Figura 4.3. Edificio de 8 pisos en tres dimensiones.

4.3. Determinación del Tamaño de los Elementos Estructurales

En esta sección se describen los procedimientos empleados para asignar tamaños a los elementos estructurales: losas, vigas, columnas y paredes. En general se consideraron las siguientes propiedades constitutivas del acero y el hormigón. Para el hormigón se utilizó una capacidad a compresión de 4 ksi y la capacidad de cedencia de acero es de 60 ksi. Cabe señalar que para la selección de los tamaños de los elementos estructurales no se realizó un diseño detallado de la secciones ya esto esta fuera del alcance del estudio. Por lo general los tamaños fueron asignados en base a cálculos simples. También se tomaron en cuenta tamaños comunes en la práctica.

4.3.1. Determinación del Espesor de la Losa de Piso

Para el diseño de la losa de piso se tomó en cuenta el cotejo de flexión y cortante. No se tomó en cuenta la deflexión ya que se utilizó la Tabla 9.5(a) del ACI 318-05[4], de la cual se obtiene que el espesor de la losa que controla es:

$$h \geq \frac{l}{24}$$

donde h es el espesor mínimo requerido de losa, l es la distancia clara desde la cara de los soportes. Esta ecuación es conservadora y por ello no se calcula deflexiones. Presumiendo un ancho de soporte de 20 pulgadas se requiere un espesor de 6.67 pulgadas. Partiendo de esta ecuación se obtuvo un espesor de 6.67". Sin embargo, se determinó utilizar 7.5 pulgadas ya que el espesor va aumentar un poco con el acabado y losa del piso.

4.3.2. Determinación del Tamaño de las Vigas

Para determinar el peralte de la viga se utilizó una guía. El peralte total debe ser aproximadamente igual al largo entre soportes en pulgadas más 2 ó 3 pulgadas. Cabe señalar que el largo entre soportes es igual a 15 pies, por lo tanto se escogió un peralte total de 18 pulgadas. Para determinar el ancho de la viga se utilizó una relación que recomienda que el ancho de la viga multiplicado por 1.5 debe ser aproximadamente igual al peralte. Por lo tanto, se obtuvo que el ancho de la viga fuera de 12 pulgadas.

4.3.3. Determinación del Tamaño de las Columnas

El tamaño de las columnas varía dependiendo del número de pisos de cada edificio. Para cada caso se calculó la carga axial de diseño o factorizada, P_u . Se determinó la carga que se le imparte a cada columna por área tributaria, considerando el peso aproximado por piso. La carga axial se dividió entre el factor de reducción de capacidad, Φ para obtener la carga axial nominal, P_n . El código ACI 318-05[4] establece que el valor de Φ debe ser igual a 0.65 (ACI 318-05 9.3.2.2). La cuantía de acero longitudinal se mantuvo entre 1.5 y 3 por ciento, aunque el código permite un mínimo de 1% y un máximo de 6%. En cuanto a la carga máxima, P_o , se estableció que esta iba a ser igual a la carga axial nominal, P_n dividido entre 0.2, 0.3 o hasta 0.4. Para estar debajo del punto balanceado en el diagrama de interacción. Esto se hace para posteriormente hallar un valor del área *gross* dado un P . En el Apéndice B se muestra una tabla con sus respectivos cálculos. En la Tabla B.1 se presentan varias alternativas para la selección del tamaño de la columna ya que se varió la cuantía de acero longitudinal con el propósito de seleccionar el tamaño más apropiado y conveniente. Básicamente, se seleccionaron tamaños típicos y comunes utilizados en la práctica.

4.3.4. Determinación de la Cantidad y el Espesor de Paredes

Se determinó utilizar 0, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 y 5 por ciento de área de paredes por dirección en relación al área de piso. En cuanto al espesor de la pared se determinó utilizar paredes de 6, 8, 10, 12, 14 y 16 pulgadas. Una vez se determinaron los porcentos de área de pared y espesores que se iban a analizar se procedió a determinar la cantidad de paredes necesaria por dirección de la siguiente forma:

$$\# \text{paredes por direccion} = \frac{(\text{area total en planta}) * (\% \text{ area de pared por direccion requerido})}{(\text{espesor pared}) * (\text{largo pared}) * 100} \quad (4.1)$$

Cabe señalar que el porcentaje de área de pared es por dirección por lo tanto el número de paredes que se determina de la fórmula 4.1 es la cantidad en cada dirección Norte-Sur y Este-Oeste. En la Tabla 4.1 se muestra la cantidad de paredes requeridas por dirección por cada caso y su espesor correspondiente. En las Figura 4.4 a la 4.8 se muestra una vista en planta y el modelo tridimensional del programa Sap 2000 [19] para todos los casos. El modelo tridimensional corresponde al edificio de 8 pisos como ejemplo.

Tabla 4.1 Cantidad de paredes requerida por dirección para cada caso.

Caso	% de área de pared	Espesor pared (pulg.)	Paredes		Paredes USAR:	
			E-O	N-S	E-O	N-S
1	0	-	-	-	-	-
2	0.25	8	2.025	2.025	2	2
3	0.5	8	4.050	4.050	4	4
4	1	16	4.050	4.050	4	4
5	1.5	6	16.200	16.200	16	16
6	2	8	16.200	16.200	16	16
7	3	12	16.200	16.200	16	16
8	5	16	20.250	20.250	20	20

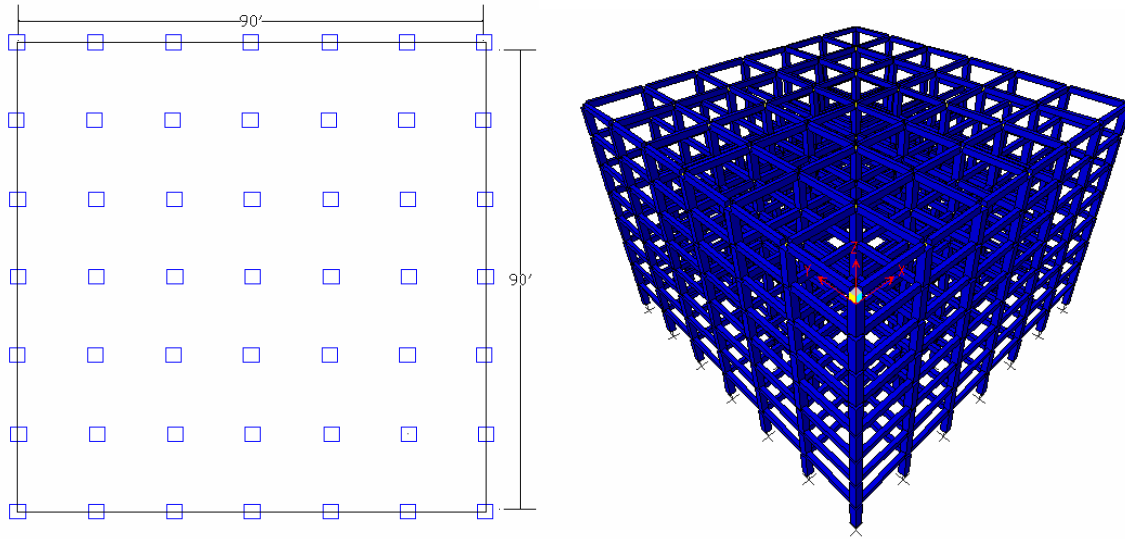


Figura 4.4. Caso # 1, 0 % de área de pared.

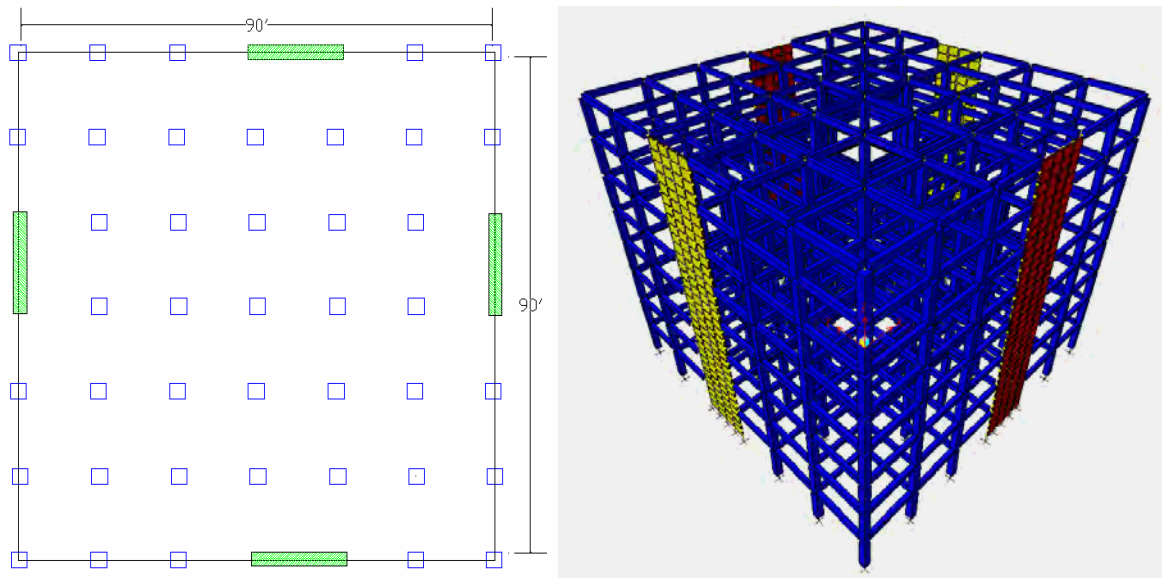


Figura 4.5. Caso # 2, 0.25 % de área de pared. Espesor de pared igual a 8".

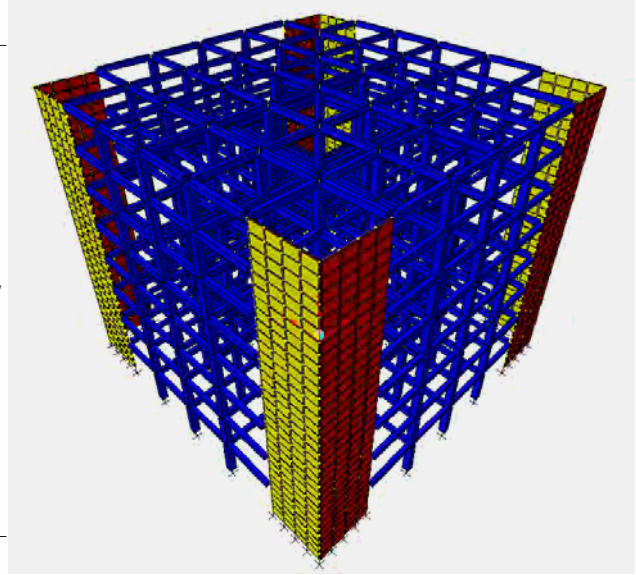
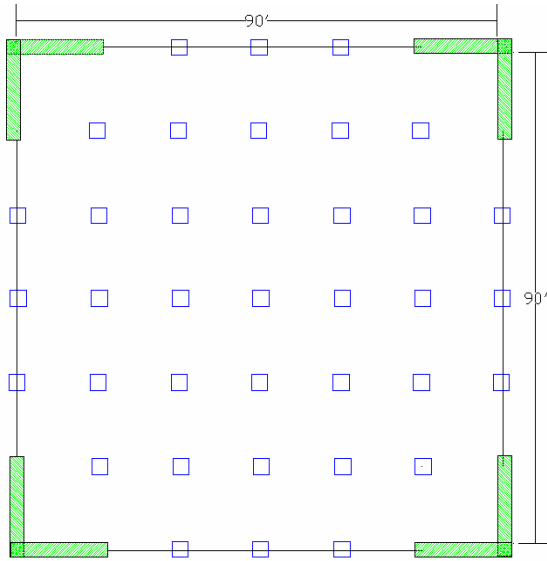


Figura 4.6. Caso # 3 y 4, 0.5 y 1 % de área de pared. Espesor de pared igual a 8" y 16" respectivamente.

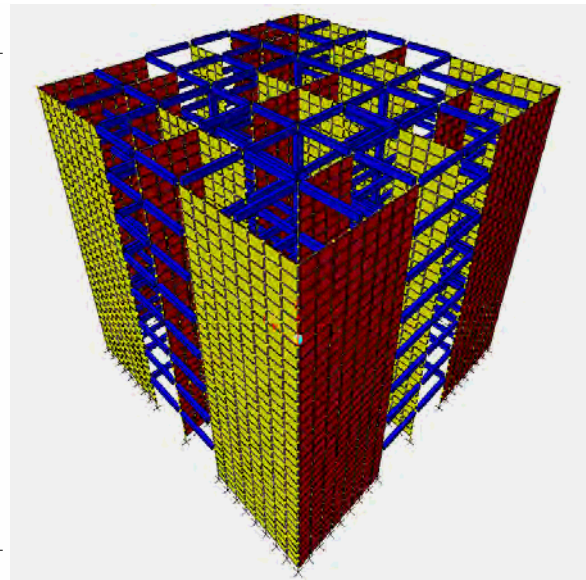
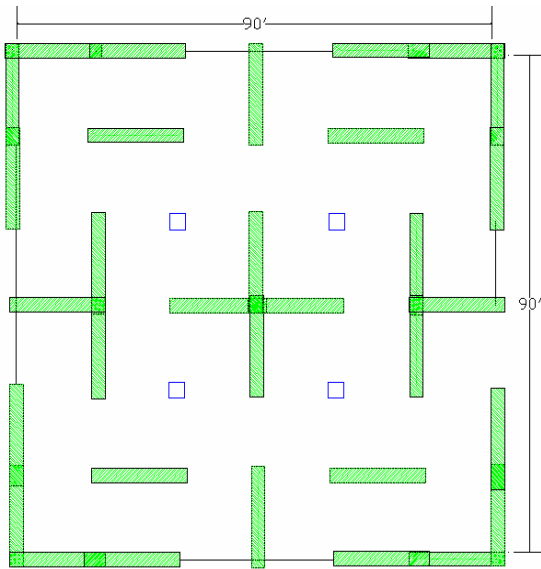


Figura 4.7. Caso # 5,6 y 7, 1.5, 2 y 3 % área de pared. Espesor de pared igual a 6", 8" y 12" respectivamente.

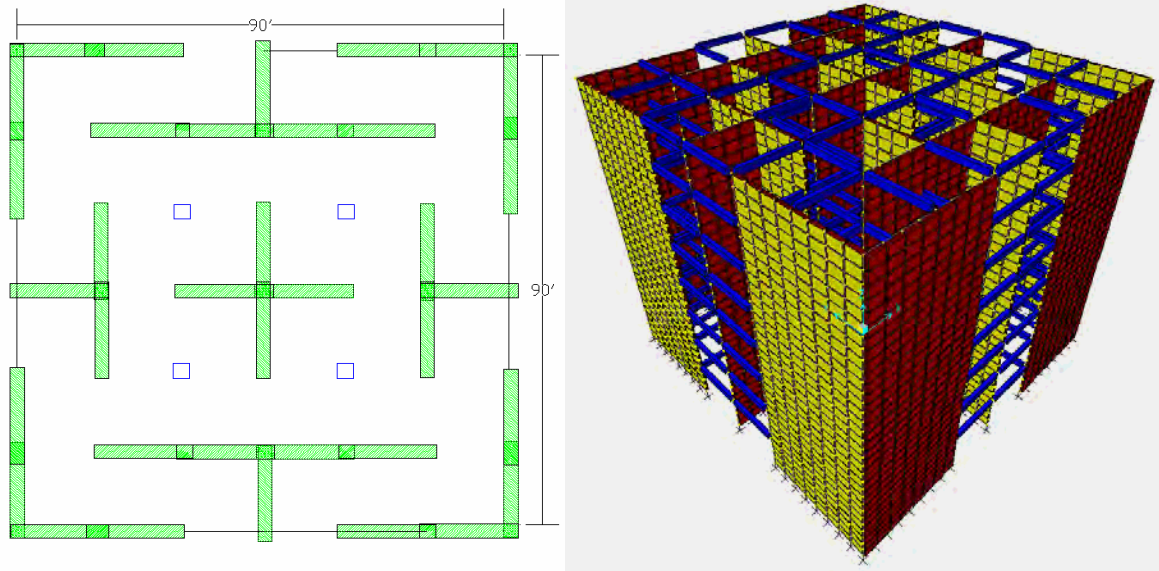


Figura 4.8. Caso # 8, 5 % área de pared. Espesor de pared igual a 16".

Para los casos 3 y 4 y 5, 6 y 7 se seleccionó la misma cantidad de paredes pero con distinto espesor según fuera el caso, esto con el propósito de disminuir la cantidad de arreglos o distribuciones de paredes. La distribución de paredes se basó en que éstas deberían estar distribuidas simétricamente e uniformemente sobre toda la planta del edificio en lugar de concentrarlas en diversas regiones. Si se acumulaban más paredes en un lado del edificio que en el otro no iba a existir simetría en los elementos que proveen rigidez y por lo tanto no coincide el centro de masa con el centro de rigidez. También para proveer una buena resistencia a la torsión siempre las paredes se colocaron en la periferia del edificio.

4.4. Aplicación de Cargas Gravitarias

Las estructuras se diseñaron para uso de oficinas, hotel o apartamentos. En el caso de uso de apartamentos u hotel, el UBC 97 recomienda utilizar una carga viva de 40 psf para cada piso y para uso de oficinas se recomienda utilizar una carga viva de 50 psf. Para el techo se utilizó

una carga viva de 20 psf. Para los cálculos del diseño de la losa y columnas se utilizó 40 psf y 20 psf para el piso y techo, respectivamente. Para el cálculo en la modelación de la estructura con el programa de computadora se utilizó solamente un 25 por ciento de la carga viva aplicada a cada piso, y que en adición a la carga muerta se espera que solamente un 25 por ciento de la carga viva se convierta en carga reactiva [11].

Capítulo 5. Resultados

5.1. Periodo de Vibración

De cada análisis dinámico realizado con el programa Sap 2000 [19], se obtuvieron 9 modos. Esto con el propósito, que con los modos considerados, por lo menos el 90 porciento de la masa participante de la estructura estuviera incluida en el cálculo de la respuesta para cada dirección horizontal principal (X y Y). Para efectos de este proyecto sólo interesa el modo 1, el cual corresponde al periodo fundamental de vibración. En la Tabla 5.1 se puede observar los resultados resumidos para el Modo 1. En la tabla la altura total del edificio se obtuvo de multiplicar el número de pisos por la altura de cada piso. El porciento de área de pared (W) se presenta en la primera fila para cada caso.

Tabla 5.1 Resumen Periodo fundamental de vibración; Modo 1

W (%)	0%	0.25%	0.50%	1%	1.50%	2%	3%	5%
H (pies)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)	T (seg.)
8	0.1787	0.0596	0.0402	0.0287	0.0319	0.0243	0.0171	0.0133
10	0.2482	0.0730	0.0480	0.0344	0.0488	0.0371	0.0249	0.0246
12	0.3258	0.0878	0.0565	0.0403	0.0694	0.0526	0.0351	0.0265
24	0.4227	0.1964	0.1186	0.0881	0.0613	0.0552	0.0480	0.0394
30	0.5820	0.2622	0.1536	0.1149	0.0770	0.0697	0.0612	0.0546
36	0.7613	0.3368	0.1929	0.1452	0.0947	0.0862	0.0762	0.0682
64	0.7173	0.5936	0.4299	0.3530	0.2395	0.2181	0.1922	0.1572
80	0.9543	0.7914	0.6033	0.4597	0.3241	0.2974	0.2648	0.2209
96	1.2144	1.0107	0.7460	0.6320	0.4207	0.4182	0.3491	0.2940
96	1.0979	0.9637	0.7712	0.6672	0.4572	0.3886	0.3706	0.3000
120	1.4610	1.2869	1.0875	0.9116	0.6283	0.5790	0.5182	0.4477
144	1.8617	1.5372	1.3305	1.1844	0.8259	0.7667	0.7111	0.5760
144	1.6306	1.6423	1.3018	1.1730	0.8467	0.7864	0.6928	0.5742
180	2.1807	2.0535	1.7467	1.5735	1.2186	1.1269	1.0110	0.8167
192	2.2474	2.1082	1.8996	1.7430	1.4003	1.2846	1.1405	0.8983
216	2.7805	2.6215	2.2392	2.0584	1.5977	1.4905	1.3513	1.0961
240	3.0151	2.9186	2.5615	2.3697	1.9340	1.7927	1.6192	1.2570
240	2.9099	2.8523	2.5427	2.3570	1.9848	1.8225	1.6106	1.2743
288	3.8682	3.7430	3.2984	3.0708	2.5267	2.4108	2.1470	1.7049
300	3.9263	3.8470	3.4435	3.2129	2.7329	2.5365	2.2804	1.7789
360	5.0712	4.9604	4.3820	4.1113	3.5599	3.3357	3.0319	2.3758

Con los datos obtenidos en la Tabla 5.1 se desarrollaron fórmulas para calcular el periodo de vibración. Las fórmulas se prepararon para los diferentes porcentos de área de pared (W) y dependen de la altura del edificio (H).

5.1.2. Desarrollo Fórmula para estimar el Periodo Fundamental de Vibración.

En la Figura 5.1 se observa cómo varia el periodo fundamental de vibración (T) de los edificios a medida que aumenta el por ciento de área de pared por dirección (W). Básicamente en cada caso la tendencia es prácticamente la misma. Según aumenta el porcentaje de área de pared, disminuye el periodo fundamental de vibración de los edificios.

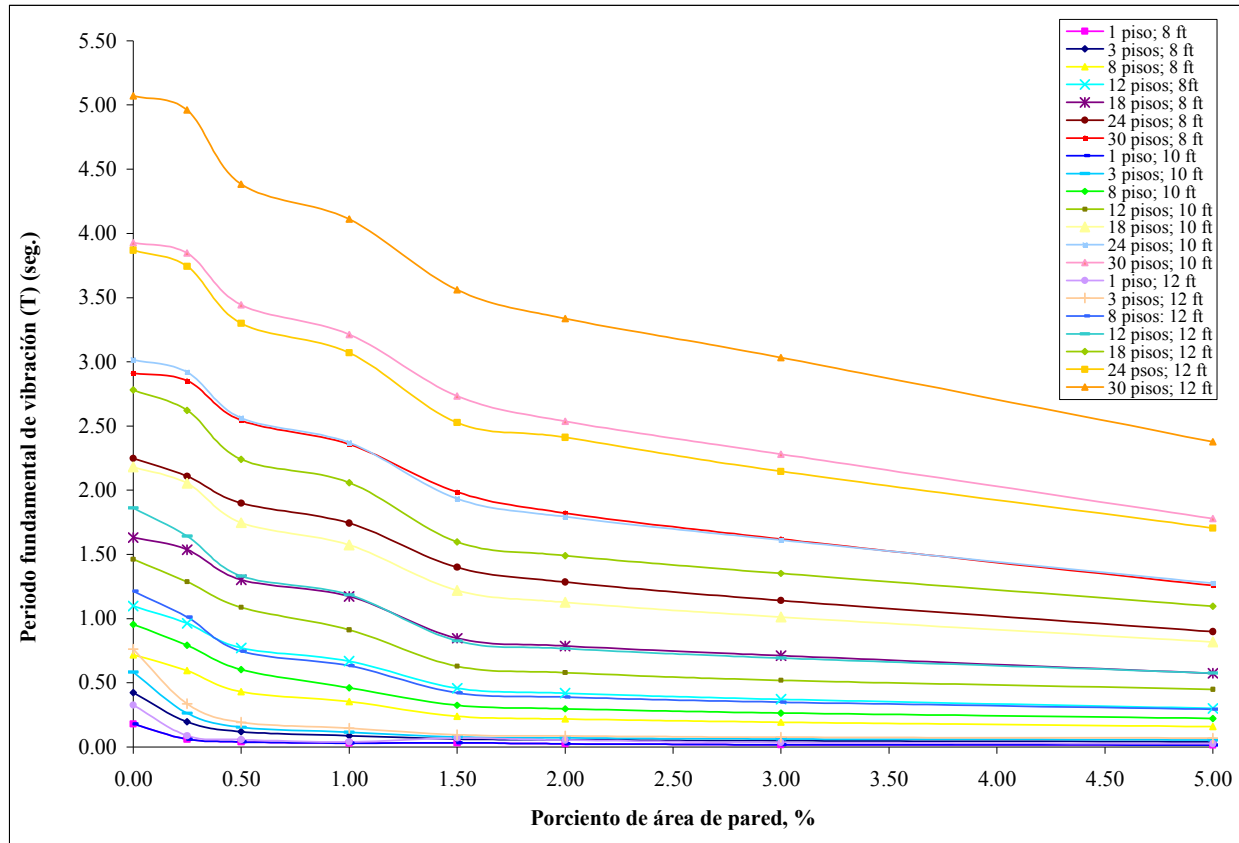


Figura 5.1. Modo 1: Periodo de fundamental de vibración vs. Porcentaje de área de pared

En la Figura 5.2 observamos el periodo fundamental de vibración (T) vs. Altura (H) de la estructura para diversos valores de porcentaje de área de pared. Todos los casos analizados presentan una tendencia similar, de la cual se puede desarrollar una fórmula la cual calcula el periodo fundamental de vibración de los edificios. Esta fórmula estará en términos de la altura (H) y dependerá del porcentaje de área de pared por dirección (W). Partiendo de este gráfico se intentó una serie de regresiones para determinar cual pudiera representar mejor los datos. Se consideraron regresiones potencial, polinomio, lineal, exponencial y logarítmica. Se evaluó cada caso y se calculó la desviación estándar. La gráfica con una desviación estándar menor, se seleccionó como la mejor que represente los puntos originales. Esta fórmula se desarrolló considerando el primer modo de las estructuras en la dirección X ya que las estructuras son

doblemente simétricas por lo cual el periodo de vibración básicamente es el mismo en ambas direcciones. Sólo se presentan los resultados para la mejor alternativa. En el Apéndice C se encuentran las gráficas y tablas con los resultados para las demás regresiones utilizadas. De todas las alternativas que se intentaron, siempre se obtuvo una desviación estándar menor para el polinomio, el cual se representa en la Figura 5.3. Por lo tanto, se utilizará la ecuación que tiene forma de un polinomio. La Tabla 5.2 resume los coeficientes para las ecuaciones polinómicas que mejor representan el cálculo del periodo fundamental de vibración para la altura (H) en pies. En la Tabla 5.3 se muestran los coeficientes para las ecuaciones para la altura (H) en metros. Las fórmulas para estimar el periodo fundamental de vibración tienen la siguiente forma general:

$$T = a_1 H^2 + a_2 H + a_3 \quad (5.1)$$

Donde H es la altura total de edificio en pies.

Tabla 5.2 Coeficientes para la fórmula del periodo para la altura de los edificios en pies

% W	a_1	a_2	a_3
0	0.0000140	0.008297	-0.228489
0.25	0.0000132	0.009022	-0.0146733
0.5	0.0000133	0.0076833	-0.0681334
1	0.0000145	0.0065903	-0.0806337
1.5	0.0000182	0.0036518	-0.0362733
2	0.0000175	0.0032921	-0.0361993
3	0.0000160	0.0028873	-0.0342836
5	0.0000128	0.0025173	-0.0273714

Tabla 5.3 Coeficientes para la fórmula del periodo para la altura de los edificios en metros

% W	a_1	a_2	a_3
0	0.0001517	0.0272216	-0.228489
0.25	0.0001404	0.0298678	-0.0146733
0.5	0.0001437	0.0252077	-0.0681334
1	0.0001566	0.0216218	-0.0806337
1.5	0.0001961	0.0119809	-0.0362733
2	0.0001880	0.0108007	-0.0361993
3	0.0001724	0.0094726	-0.0342836
5	0.0001268	0.0082589	-0.0273714

En la Tabla 5.4 y 5.5 se evaluó la fórmula para el periodo fundamental y se calcula la desviación estándar para cada caso. En las tablas T es el periodo fundamental de vibración obtenido de la corrida del programa Sap 2000[19], T_{ec} es el periodo calculado con las fórmulas derivadas para cada caso y H es la altura total de los edificios.

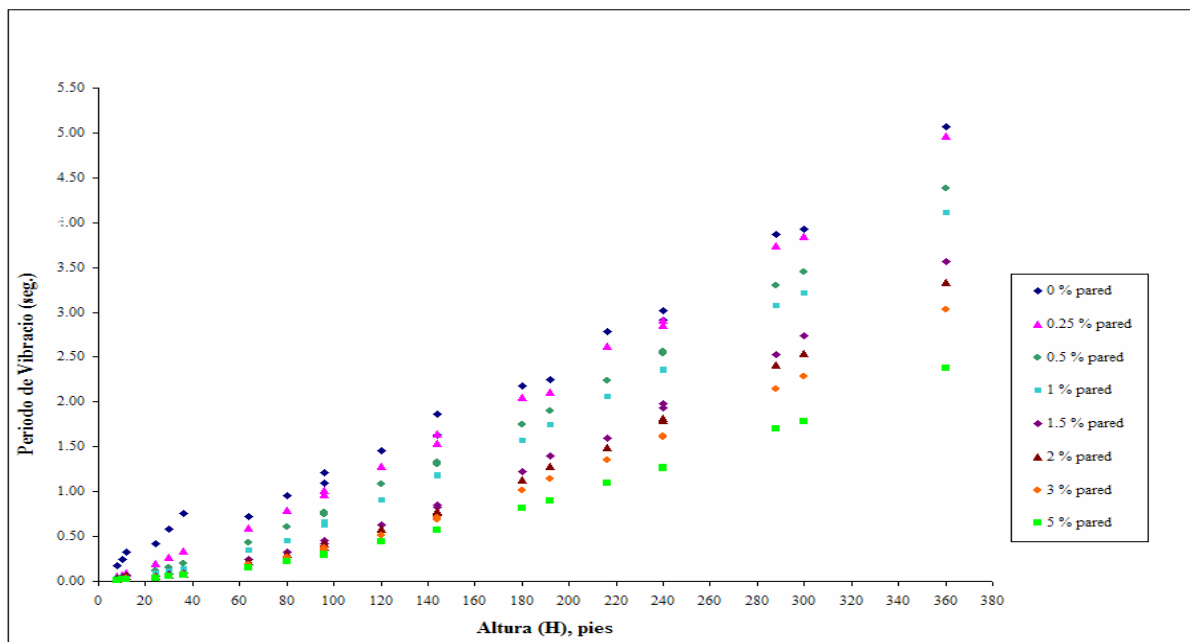


Figura 5.2. Modo 1: Periodo fundamental de vibración vs. Altura de los edificios

• Polinomio

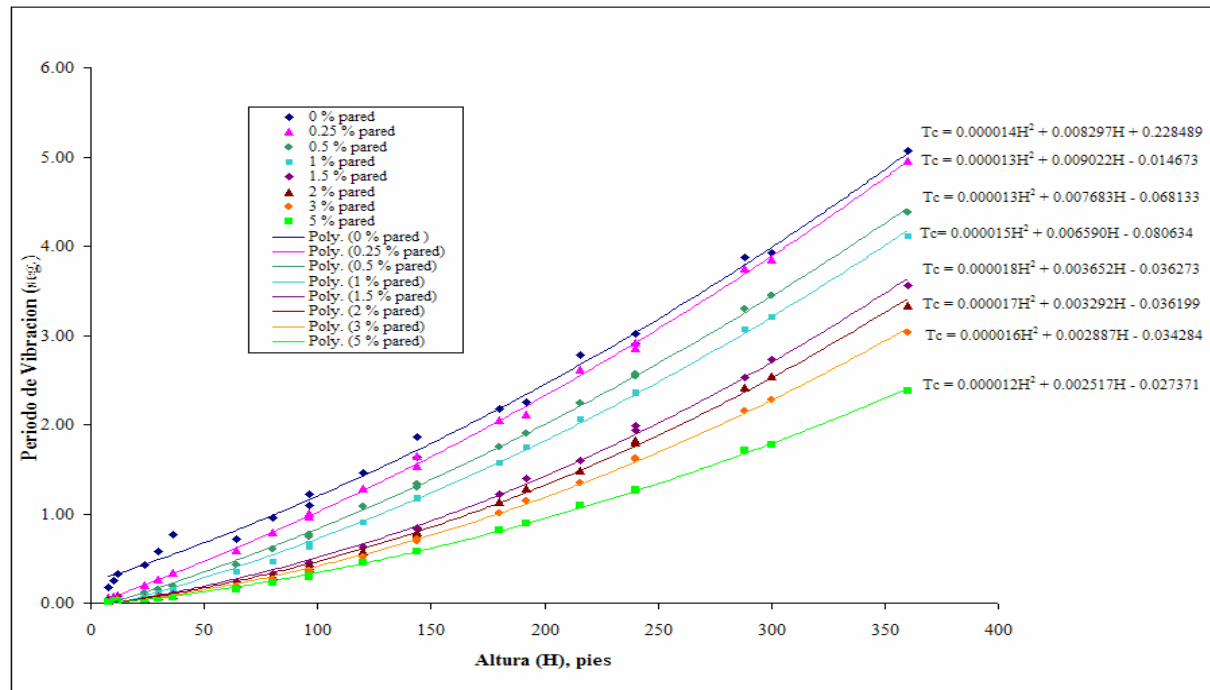


Figura 5.3. Periodo fundamental de Vibración vs. Altura: Polinomio

Tabla 5.4 Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: fórmula polinomio

H (pies)	0% pared			0.25% pared			0.50% pared			1% pared		
	Periodo (T)	Tec	(T-Tec)²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec)²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec)²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec)²
8	0.179	0.296	0.0137	0.060	0.058	0.0000	0.040	-0.006	0.0021	0.029	-0.027	0.0031
10	0.248	0.313	0.0042	0.073	0.077	0.0000	0.048	0.010	0.0014	0.034	-0.013	0.0023
12	0.326	0.330	0.0000	0.088	0.095	0.0001	0.057	0.026	0.0009	0.040	0.001	0.0016
24	0.423	0.436	0.0002	0.196	0.209	0.0002	0.119	0.124	0.0000	0.088	0.086	0.0000
30	0.582	0.490	0.0084	0.262	0.267	0.0000	0.154	0.175	0.0005	0.115	0.131	0.0003
36	0.761	0.545	0.0466	0.337	0.326	0.0001	0.193	0.226	0.0011	0.145	0.176	0.0010
64	0.717	0.817	0.0099	0.594	0.615	0.0005	0.430	0.479	0.0024	0.353	0.403	0.0025
80	0.954	0.982	0.0008	0.791	0.790	0.0000	0.603	0.633	0.0009	0.460	0.543	0.0070
96	1.214	1.154	0.0036	1.011	0.971	0.0016	0.746	0.794	0.0023	0.632	0.691	0.0035
96	1.098	1.154	0.0032	0.964	0.971	0.0001	0.771	0.794	0.0005	0.667	0.691	0.0006
120	1.461	1.426	0.0012	1.287	1.255	0.0010	1.088	1.047	0.0016	0.912	0.927	0.0003
144	1.862	1.714	0.0218	1.537	1.555	0.0003	1.331	1.316	0.0002	1.184	1.181	0.0000
144	1.631	1.714	0.0070	1.642	1.555	0.0076	1.302	1.316	0.0002	1.173	1.181	0.0001
180	2.181	2.176	0.0000	2.053	2.033	0.0004	1.747	1.749	0.0000	1.574	1.593	0.0004
192	2.247	2.338	0.0082	2.108	2.200	0.0084	1.900	1.901	0.0000	1.743	1.740	0.0000
216	2.781	2.674	0.0112	2.621	2.545	0.0058	2.239	2.216	0.0006	2.058	2.045	0.0002
240	3.015	3.027	0.0001	2.919	2.906	0.0002	2.562	2.546	0.0002	2.370	2.367	0.0000
240	2.910	3.027	0.0137	2.852	2.906	0.0028	2.543	2.546	0.0000	2.357	2.367	0.0001
288	3.868	3.780	0.0078	3.743	3.672	0.0050	3.298	3.253	0.0021	3.071	3.064	0.0000
300	3.926	3.979	0.0027	3.847	3.873	0.0007	3.444	3.439	0.0000	3.213	3.249	0.0013
360	5.071	5.031	0.0016	4.960	4.936	0.0006	4.382	4.428	0.0021	4.111	4.239	0.0164
Σ 0.1661			Σ 0.0354			Σ 0.0192			Σ 0.0009			
varianza= 0.0087			varianza= 0.0019			varianza= 0.0010			varianza= 0.0000			
std.dev = 0.0935			std.dev = 0.0431			std.dev = 0.0318			std.dev = 0.0064			

Tabla 5.5 Casos 5 6, 7 y 8. Desviación estándar: fórmula polinomio

	1.5% pared			2% pared			3% pared			5% pared					
H (pies)	Periodo (T)	Tc	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.032	-0.006	0.0014	0.024	-0.009	0.0011	0.017	-0.010	0.0007	0.013	-0.007	0.0004			
10	0.049	0.002	0.0022	0.037	-0.001	0.0015	0.025	-0.004	0.0008	0.025	-0.001	0.0007			
12	0.069	0.010	0.0035	0.053	0.006	0.0022	0.035	0.003	0.0010	0.027	0.004	0.0005			
24	0.061	0.062	0.0000	0.055	0.053	0.0000	0.048	0.045	0.0000	0.039	0.039	0.0000			
30	0.077	0.089	0.0002	0.070	0.079	0.0001	0.061	0.067	0.0000	0.055	0.058	0.0000			
36	0.095	0.118	0.0006	0.086	0.106	0.0004	0.076	0.091	0.0002	0.068	0.078	0.0001			
64	0.240	0.271	0.0010	0.218	0.249	0.0009	0.192	0.217	0.0006	0.157	0.181	0.0006			
80	0.324	0.371	0.0022	0.297	0.343	0.0021	0.265	0.300	0.0012	0.221	0.249	0.0008			
96	0.421	0.480	0.0035	0.418	0.446	0.0008	0.349	0.392	0.0018	0.294	0.322	0.0008			
96	0.457	0.480	0.0005	0.389	0.446	0.0034	0.371	0.392	0.0004	0.300	0.322	0.0005			
120	0.628	0.661	0.0011	0.579	0.619	0.0016	0.518	0.544	0.0007	0.448	0.444	0.0000			
144	0.826	0.863	0.0013	0.767	0.812	0.0021	0.711	0.715	0.0000	0.576	0.579	0.0000			
144	0.847	0.863	0.0003	0.786	0.812	0.0007	0.693	0.715	0.0005	0.574	0.579	0.0000			
180	1.219	1.204	0.0002	1.127	1.141	0.0002	1.011	1.006	0.0000	0.817	0.808	0.0001			
192	1.400	1.328	0.0052	1.285	1.261	0.0006	1.141	1.112	0.0008	0.898	0.891	0.0000			
216	1.598	1.592	0.0000	1.490	1.516	0.0007	1.351	1.339	0.0002	1.096	1.068	0.0008			
240	1.934	1.877	0.0033	1.793	1.793	0.0000	1.619	1.583	0.0013	1.257	1.258	0.0000			
240	1.985	1.877	0.0117	1.822	1.793	0.0009	1.611	1.583	0.0007	1.274	1.258	0.0003			
288	2.527	2.508	0.0004	2.411	2.407	0.0000	2.147	2.128	0.0004	1.705	1.680	0.0006			
300	2.733	2.679	0.0029	2.537	2.574	0.0014	2.280	2.276	0.0000	1.779	1.794	0.0002			
360	3.560	3.611	0.0026	3.336	3.485	0.0222	3.032	3.083	0.0026	2.376	2.415	0.0015			
Σ			0.0441	Σ			0.0426	Σ			0.0142	Σ			0.0079
varianza=			0.0023	varianza=			0.0022	varianza=			0.0007	varianza=			0.0004
std.dev =			0.0482	std.dev =			0.0474	std.dev =			0.0273	std.dev =			0.0204

5.2. Desplazamiento de Entrepiso

Del análisis dinámico efectuado con el programa de análisis estructural [19] se obtuvieron los desplazamientos laterales en cada piso. A cada estructura se le aplicaron los dos registros de aceleración sugeridos para San Juan y para Mayagüez/Ponce. Por lo tanto los resultados están divididos en dos secciones: una para el área de Mayagüez/Ponce y otra para el área de San Juan. Note que se estudiaron 8 casos, con un porcentaje de área de pared por dirección (W) distinto. Cada caso estudiado evalúa edificios con una altura de piso (h) de 8, 10 y 12 pies, esto a su vez para cada estructura con los números de piso igual a: 3, 8, 12, 18, 24 y 30. En total son 144 los edificios analizados con 2 registros distintos.

Para cada edificio se desarrolló una tabla en la cual se encuentra el desplazamiento de entrepiso máximo para cada piso y el desplazamiento de entrepiso promedio. El desplazamiento de entrepiso es igual a:

$$Drift_i = \frac{(\delta_i - \delta_{i-1})}{h_i} * 100 \quad (5.2)$$

donde δ_i es el desplazamiento lateral en el piso i , δ_{i-1} es el desplazamiento lateral en el piso $i-1$ y h_i es la altura del piso i .

El desplazamiento de entrepiso total o promedio es igual a:

$$Drift_{ave} = \frac{\delta_R}{H} * 100 \quad (5.3)$$

donde δ_R es el desplazamiento lateral máximo en el techo y H es la altura total del edificio.

A modo de ejemplo vea la Tabla 5.6, donde se muestra los resultados para el edificio de 3 pisos, altura de cada piso (h) igual a 8 pies y sometido al registro de Mayagüez/Ponce. Para cada piso y cada por ciento de área de pared se presenta el desplazamiento de entrepiso. El desplazamiento de entrepiso que se observa en la Tabla 5.6 corresponde al máximo que ocurrió durante el registro de aceleración, o sea que se calculó el desplazamiento de entrepiso para cada instante de tiempo y posteriormente se seleccionó el máximo. Por lo tanto, los desplazamientos de entrepiso presentados no necesariamente ocurren en el mismo instante de tiempo en cada piso. El máximo desplazamiento de entrepiso se selecciona entre los desplazamientos de entrepiso para cada uno de los pisos. Por otra parte, el desplazamiento de entrepiso total se calculó con el desplazamiento máximo lateral en el techo que ocurrió durante el registro. Por lo tanto, si se calcula el promedio de los desplazamientos de entrepiso éste será mayor o igual al que se obtiene con el desplazamiento de entrepiso total o promedio.

Sombreado en amarillo se observa en qué piso ocurre el máximo desplazamiento de entrepiso. Por otro lado se graficó el desplazamiento de entrepiso máximo para cada piso y el desplazamiento de entrepiso total vs. porcentaje de área de pared (ver Figura 5.5 y 5.6). Por último se graficó el desplazamiento lateral máximo vs. # de pisos (ver Figura 5.7). Con ese último gráfico se puede observar la deformada del edificio. Claramente se nota que el edificio compuesto sólo por elementos de pórticos tiene su forma característica esperada, al igual que aquellos edificios con elementos de paredes estructurales (ver Figura 5.4.)



Figura 5.4. (a) Deformación edificio de pórtico. (b) Deformada edificio con paredes estructurales

En la Tabla 5.7 hasta la Tabla 5. 41 y en la Figura 5.8 hasta la Figura 5.112 se presentan los resultados para los restantes edificios.

Tabla 5.6 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

# Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	0.44725	0.19813	0.06513	0.03213	0.01225	0.00800	0.00525	0.00217
2	0.80788	0.22013	0.06913	0.03375	0.01425	0.00941	0.00654	0.00329
1	1.04575	0.16025	0.06088	0.02813	0.01400	0.00935	0.00683	0.00429
máximo	1.04575	0.22013	0.06913	0.03375	0.01425	0.00941	0.00683	0.00429
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.76413	0.19283	0.06463	0.03129	0.01350	0.00713	0.00621	0.00325

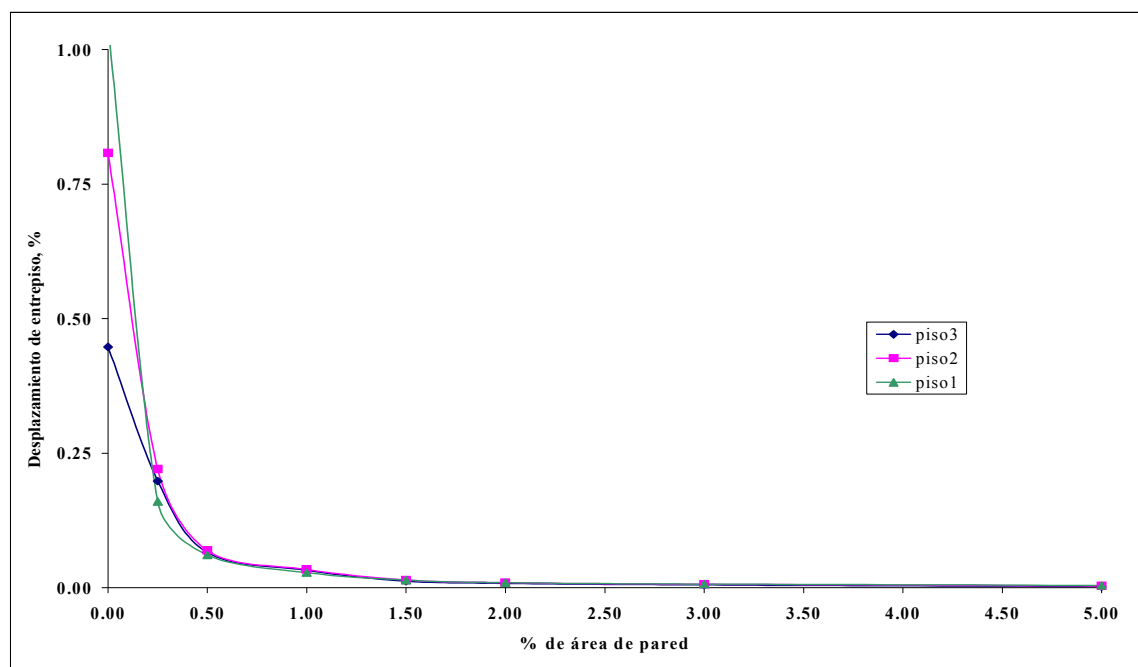


Figura 5.5. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

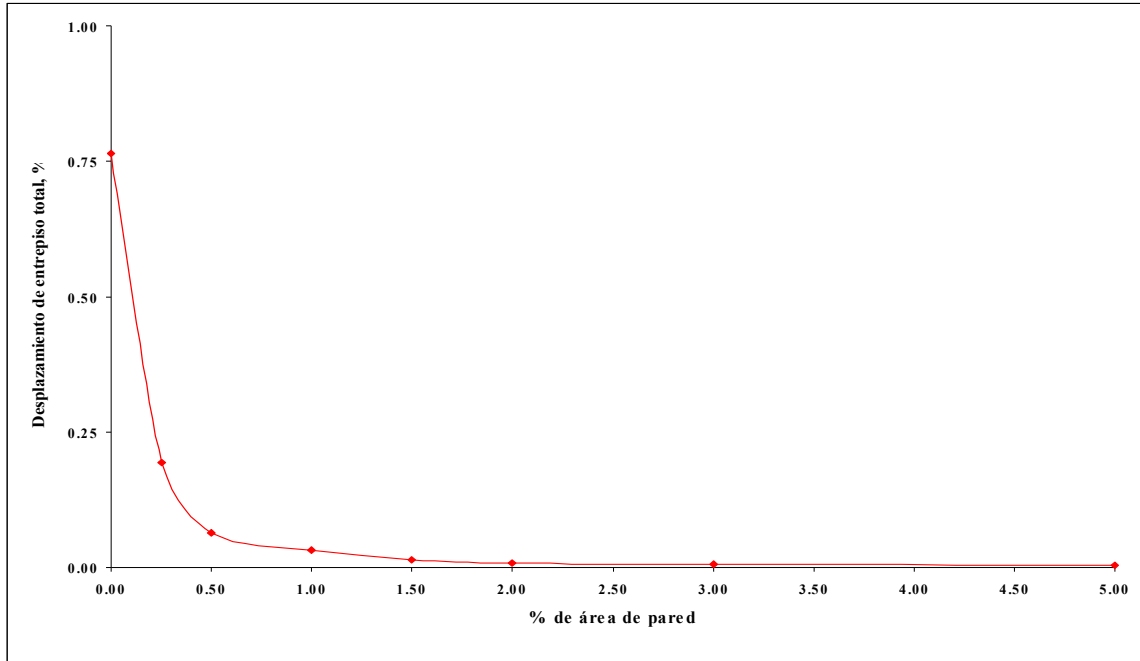


Figura 5.6. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

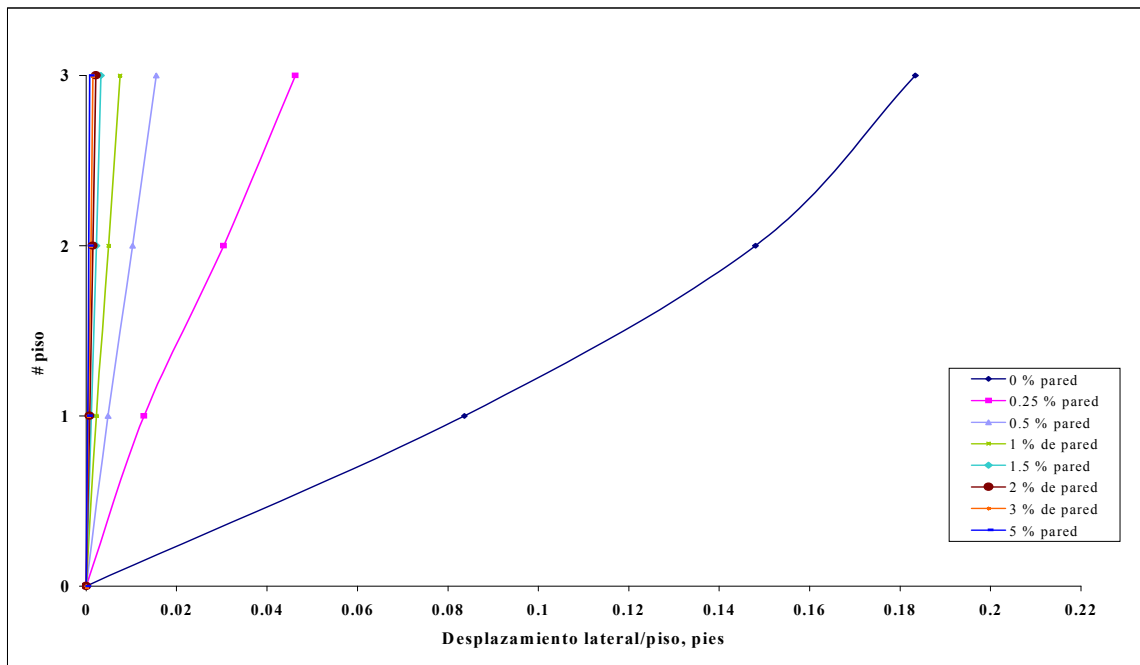


Figura 5.7. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.7 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

# Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	0.67120	0.35330	0.08720	0.05150	0.01640	0.01440	0.01050	0.00420
2	1.20160	0.33280	0.09030	0.05290	0.01830	0.01600	0.01190	0.00556
1	1.61820	0.21850	0.07270	0.04100	0.01630	0.01450	0.01080	0.00615
máximo	1.61820	0.35330	0.09030	0.05290	0.01830	0.01600	0.01190	0.00615
Desplazamiento de entrepiso total, %	1.16180	0.29920	0.08340	0.04847	0.01700	0.01497	0.01107	0.00530

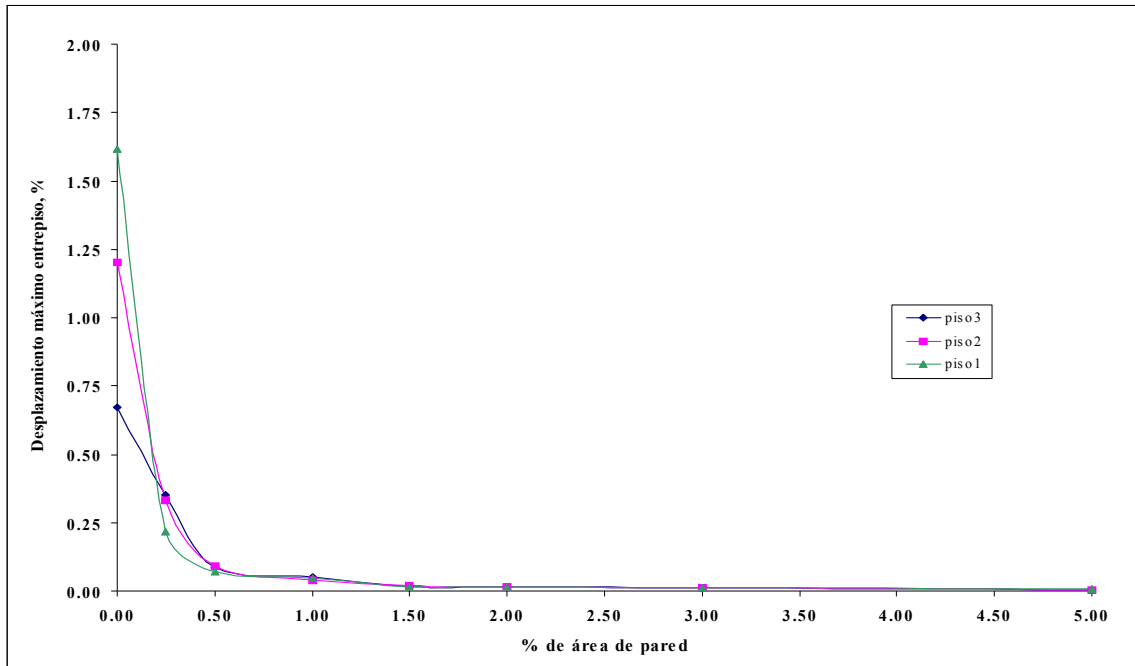


Figura 5.8. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

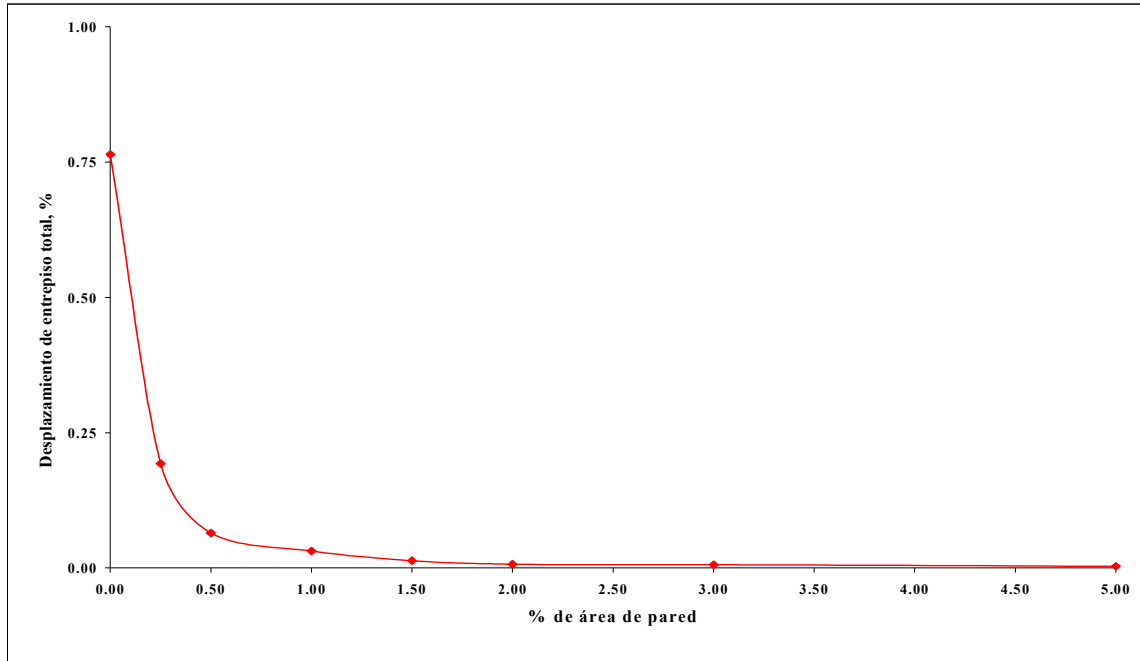


Figura 5.9. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

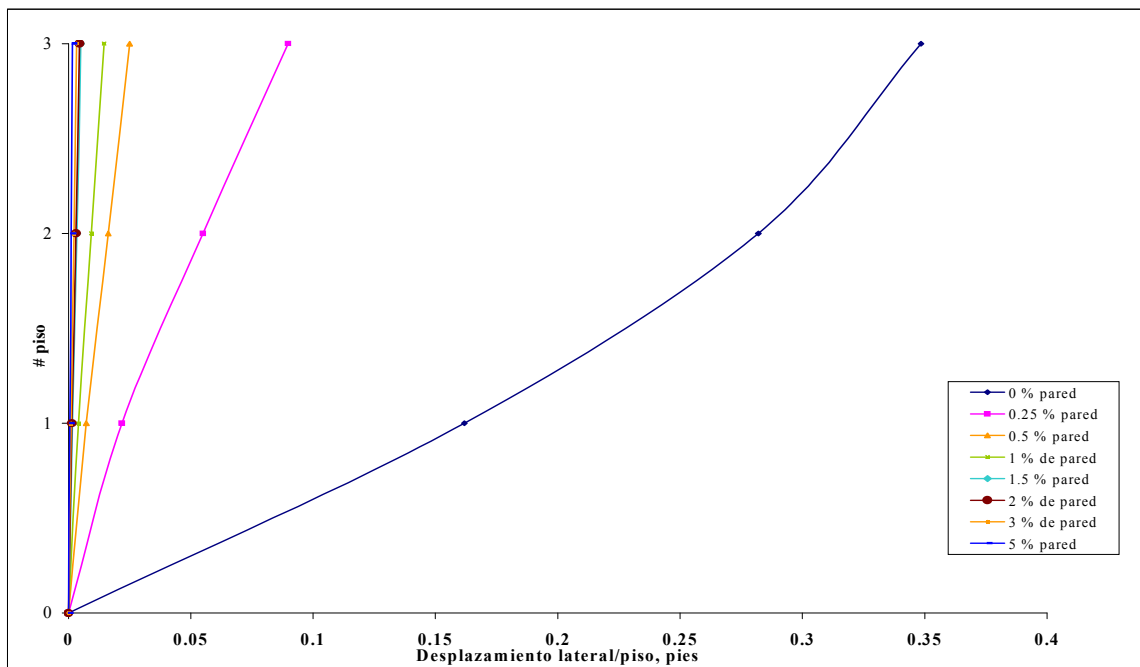


Figura 5.10. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.8 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

# Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	1.03700	0.45642	0.13250	0.07550	0.02383	0.02083	0.01450	0.00658
2	1.89492	0.43142	0.13192	0.07458	0.02558	0.02233	0.01575	0.00808
1	2.71692	0.26767	0.09708	0.05267	0.02108	0.01875	0.01325	0.00842
máximo	2.7169	0.4564	0.1325	0.0755	0.0256	0.0223	0.0158	0.0084
Desplazamiento de entrepiso total, %	1.8619	0.3852	0.1202	0.0676	0.0235	0.0206	0.0145	0.0077

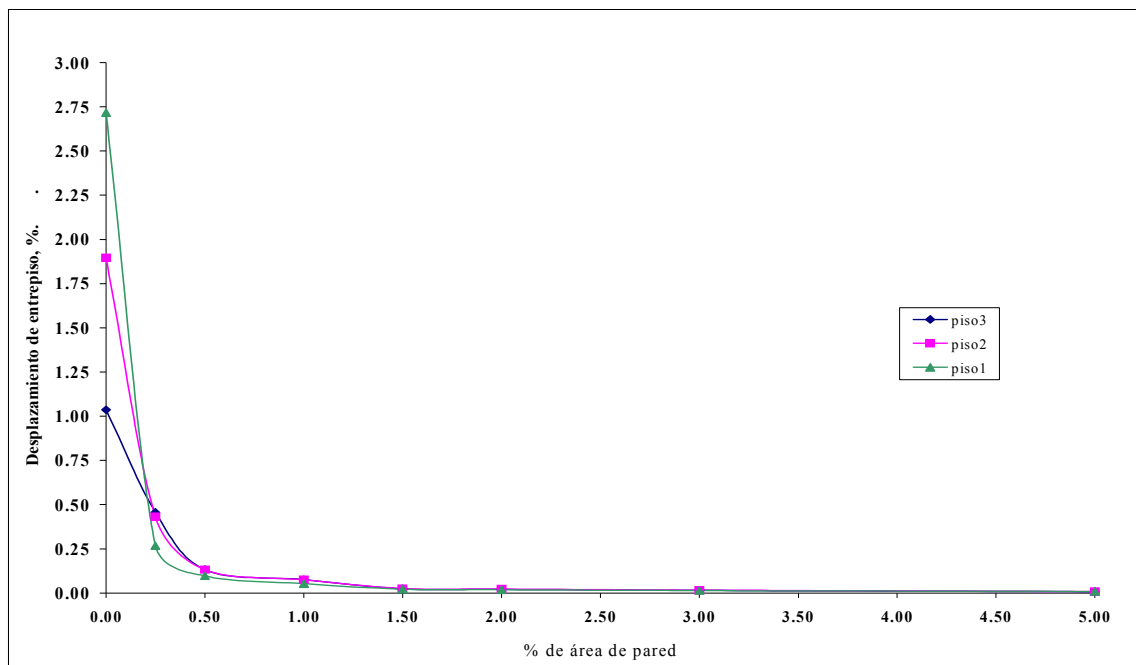


Figura 5.11. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

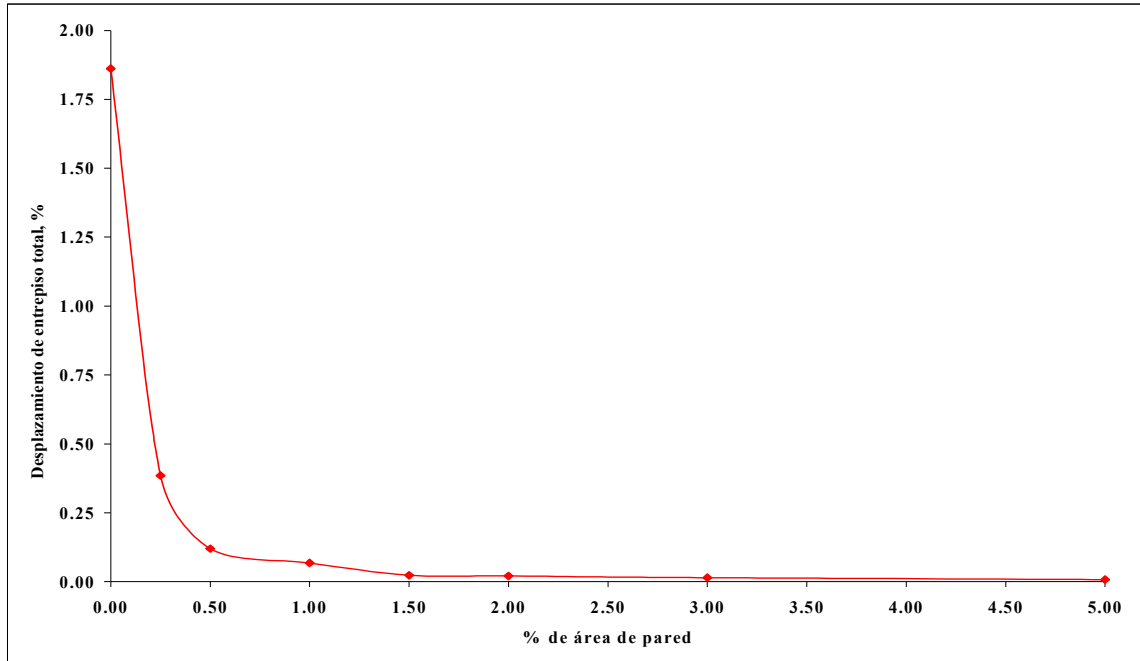


Figura 5.12. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

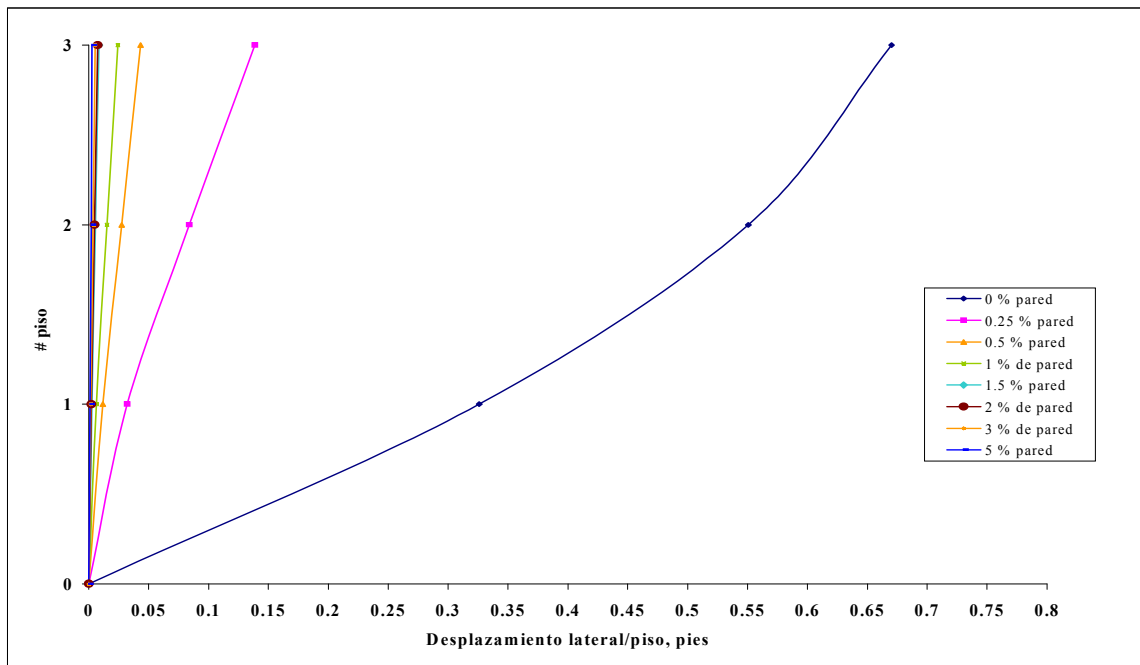


Figura 5.13. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.9 Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

# Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.2976	0.5235	0.3809	0.2553	0.1308	0.1186	0.0730	0.0250
7	0.5013	0.6095	0.4106	0.2679	0.1373	0.1244	0.0765	0.0273
6	0.7036	0.6823	0.4229	0.2709	0.1423	0.1283	0.0791	0.0293
5	0.8988	0.7449	0.4180	0.2635	0.1443	0.1294	0.0799	0.0304
4	1.0413	0.7698	0.3914	0.2473	0.1416	0.1260	0.0783	0.0305
3	1.1880	0.7598	0.3478	0.2194	0.1398	0.1240	0.0768	0.0325
2	1.1679	0.6550	0.2846	0.1780	0.1135	0.0999	0.0620	0.0280
1	0.7139	0.3503	0.1858	0.1091	0.0685	0.0600	0.0371	0.0195
máximo	1.1880	0.7698	0.4229	0.2709	0.1443	0.1294	0.0799	0.0325
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.8047	0.6312	0.3487	0.2220	0.1272	0.1133	0.0703	0.0278

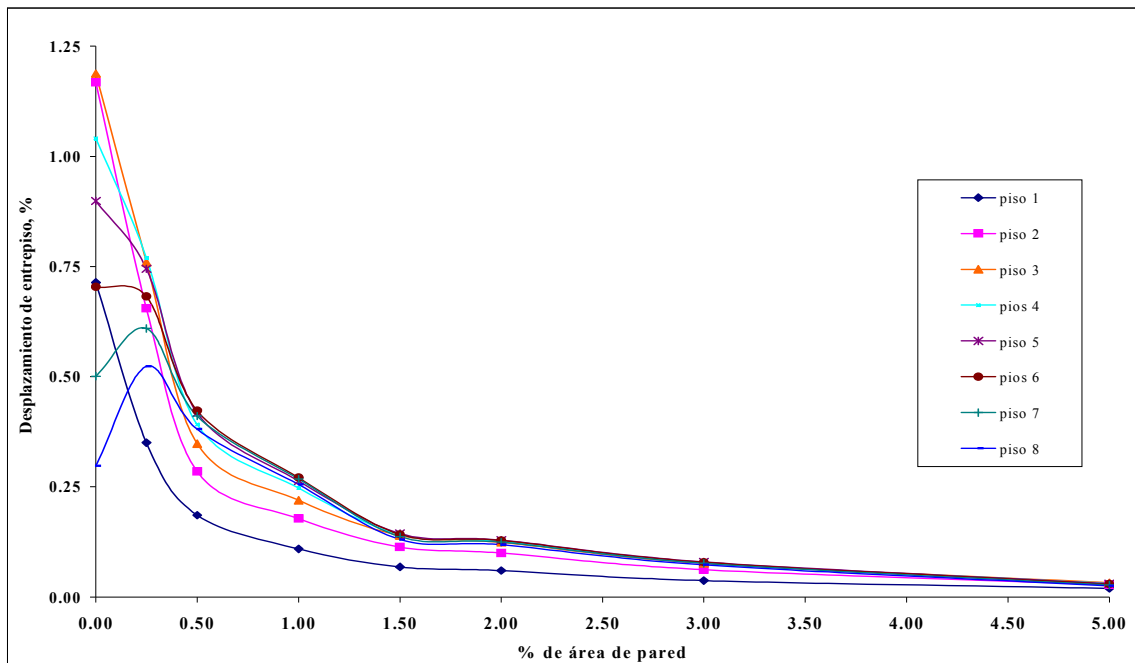


Figura 5.14. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

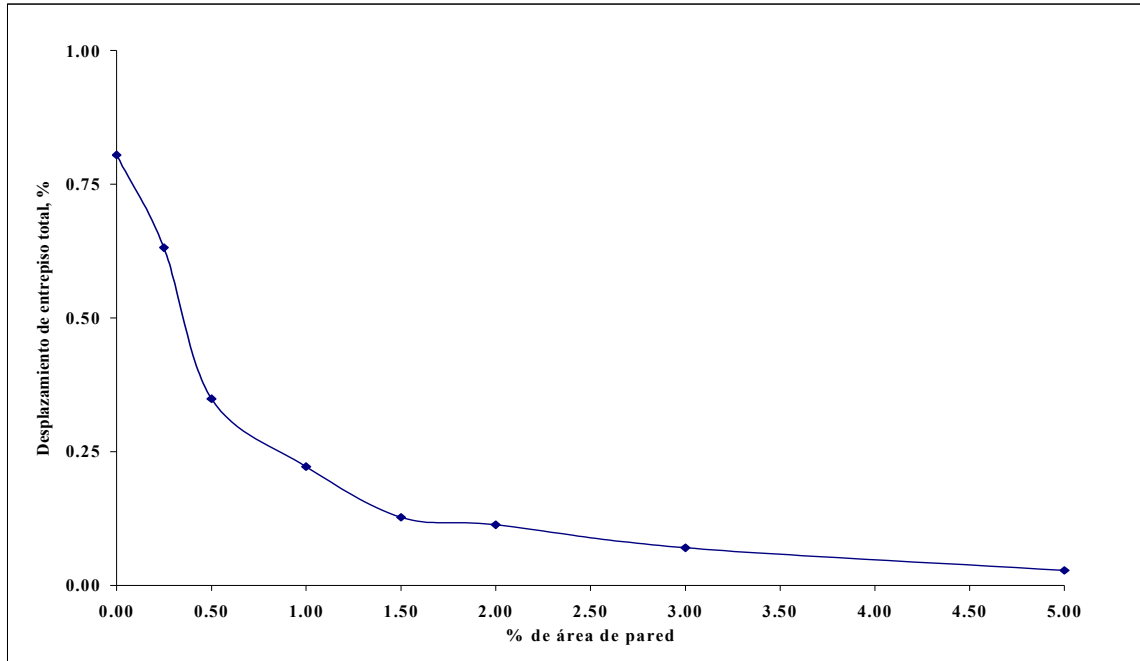


Figura 5.15. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

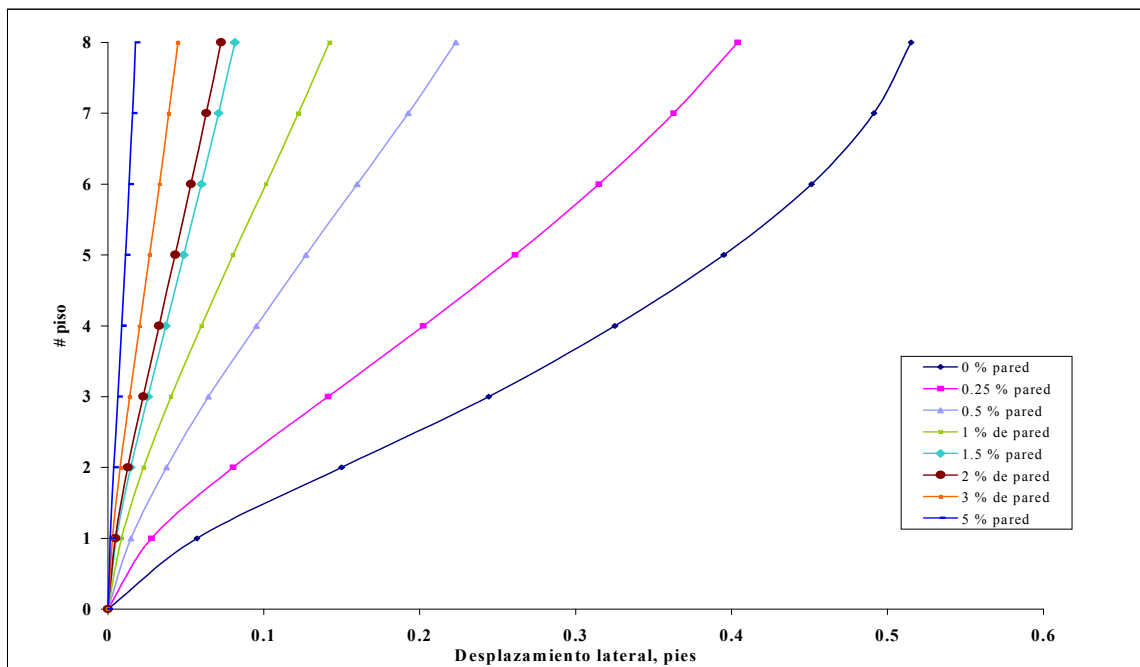


Figura 5.16. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.10 Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

# Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.8256	0.8210	0.5754	0.4327	0.2060	0.1836	0.1443	0.0381
7	1.3507	0.9528	0.6150	0.4494	0.2129	0.1899	0.1494	0.0410
6	1.7733	1.0706	0.6394	0.4530	0.2145	0.1930	0.1517	0.0433
5	1.9805	1.1681	0.6452	0.4449	0.2089	0.1910	0.1494	0.0449
4	2.0269	1.2127	0.6218	0.4221	0.1953	0.1823	0.1417	0.0452
3	2.5044	1.2050	0.5796	0.3806	0.1859	0.1710	0.1310	0.0464
2	2.6144	0.9861	0.4475	0.2915	0.1473	0.1340	0.0995	0.0389
1	1.6555	0.5090	0.2354	0.1499	0.0831	0.0747	0.0543	0.0253
máximo	2.6144	1.2127	0.6452	0.4530	0.2145	0.1930	0.1517	0.0464
Desplazamiento de entrepiso total, %	1.6680	0.9854	0.5396	0.3732	0.1767	0.1639	0.1275	0.0404

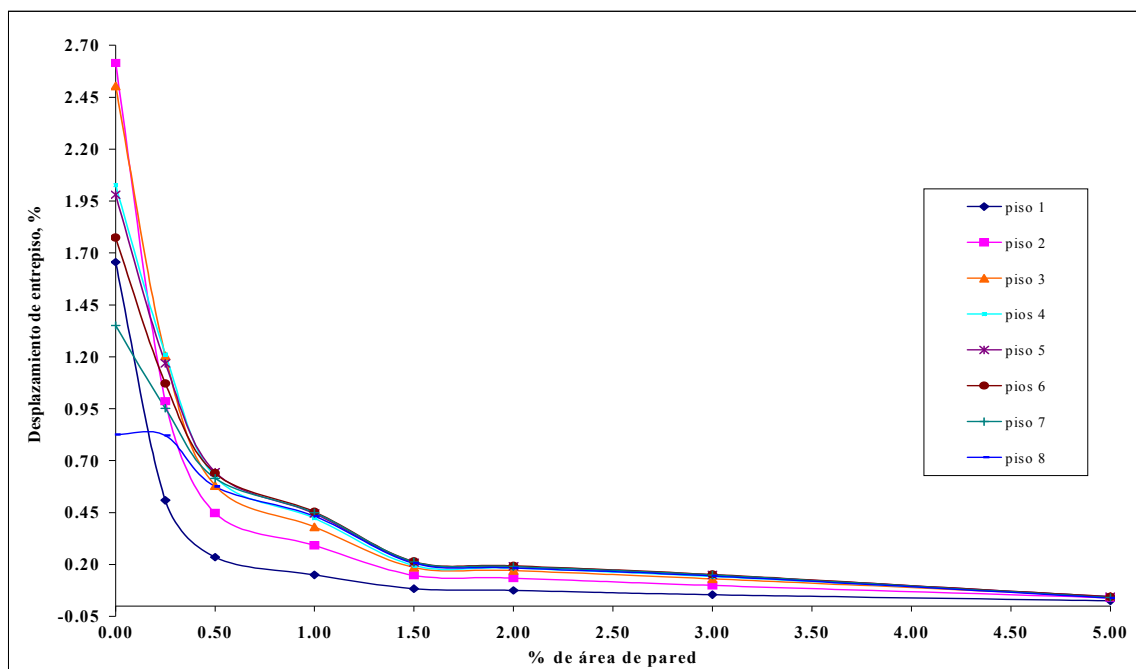


Figura 5.17. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

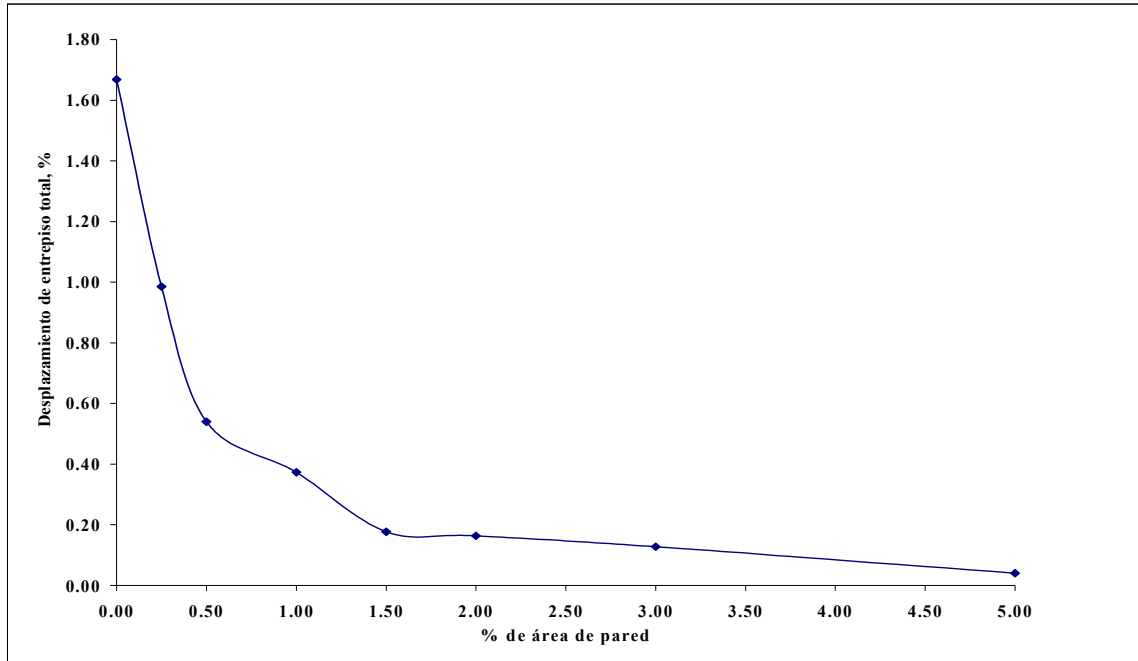


Figura 5.18. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

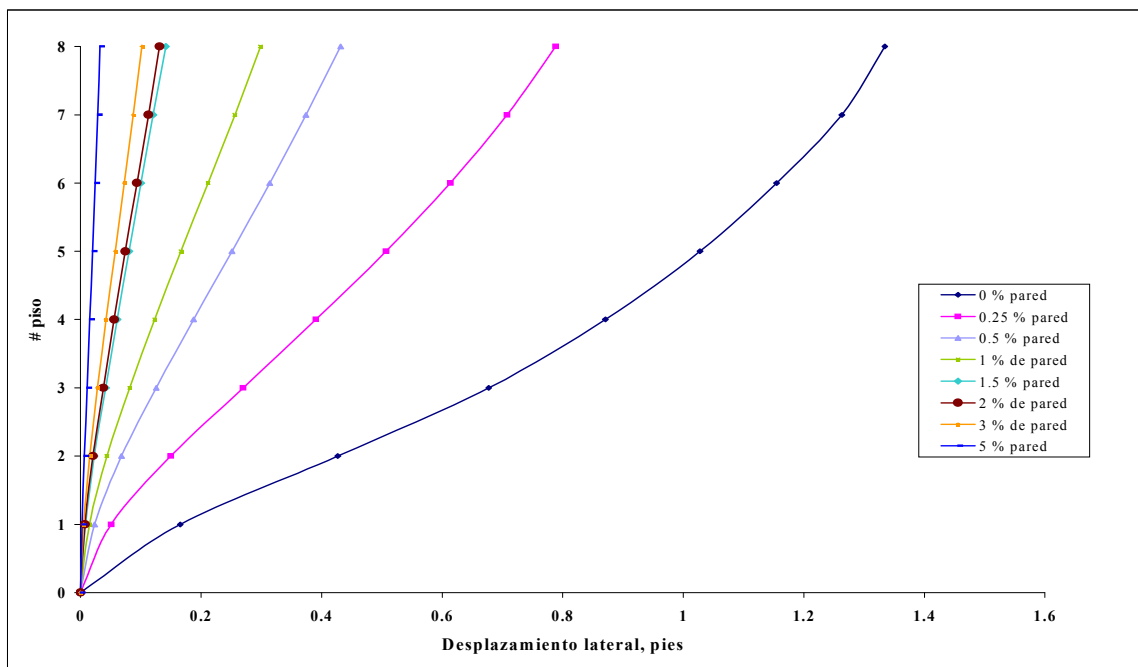


Figura 5.19. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.11 Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.2446	0.6485	0.8157	0.5675	0.2628	0.2395	0.1808	0.0861
7	0.3881	0.7183	0.8671	0.5873	0.2693	0.2455	0.1854	0.0907
6	0.4860	0.7923	0.9010	0.5920	0.2707	0.2463	0.1855	0.0941
5	0.5196	0.8633	0.9098	0.5758	0.2642	0.2414	0.1791	0.0953
4	0.6166	0.9396	0.8823	0.5318	0.2479	0.2305	0.1688	0.0933
3	0.8047	0.9698	0.7940	0.4591	0.2233	0.2126	0.1533	0.0915
2	0.8355	0.8143	0.6324	0.3558	0.1659	0.1614	0.1146	0.0738
1	0.5393	0.4168	0.3491	0.1868	0.0863	0.0835	0.0583	0.0448
máximo	0.8355	0.9698	0.9098	0.5920	0.2707	0.2463	0.1855	0.0953
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.4718	0.7228	0.7654	0.4789	0.2233	0.2063	0.1515	0.0837

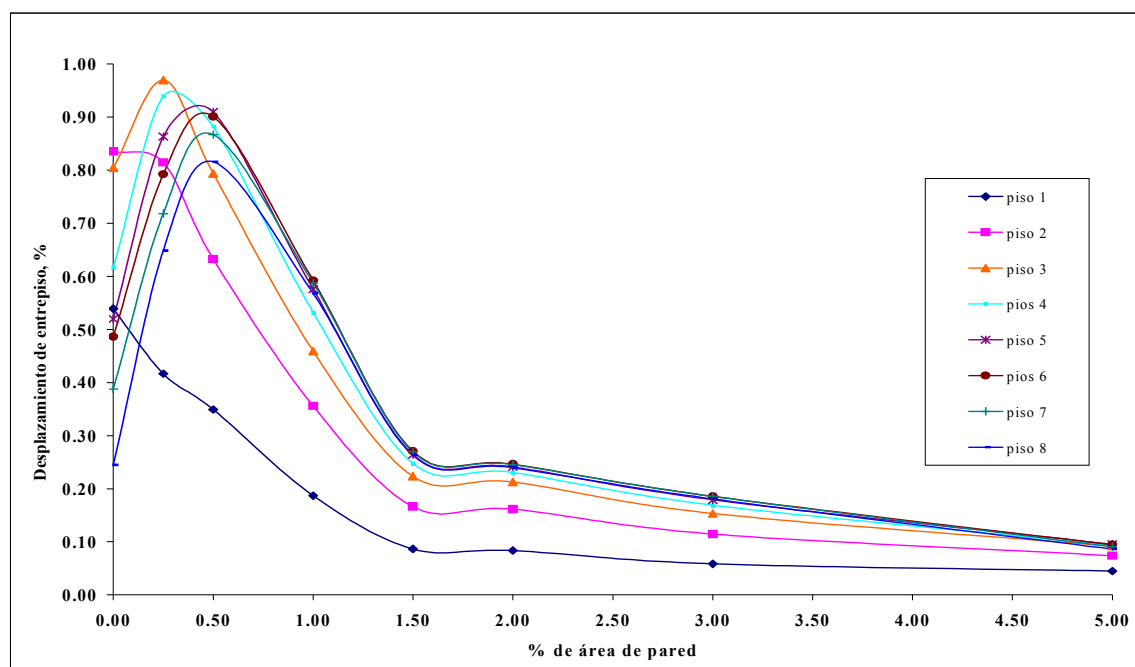


Figura 5.20. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

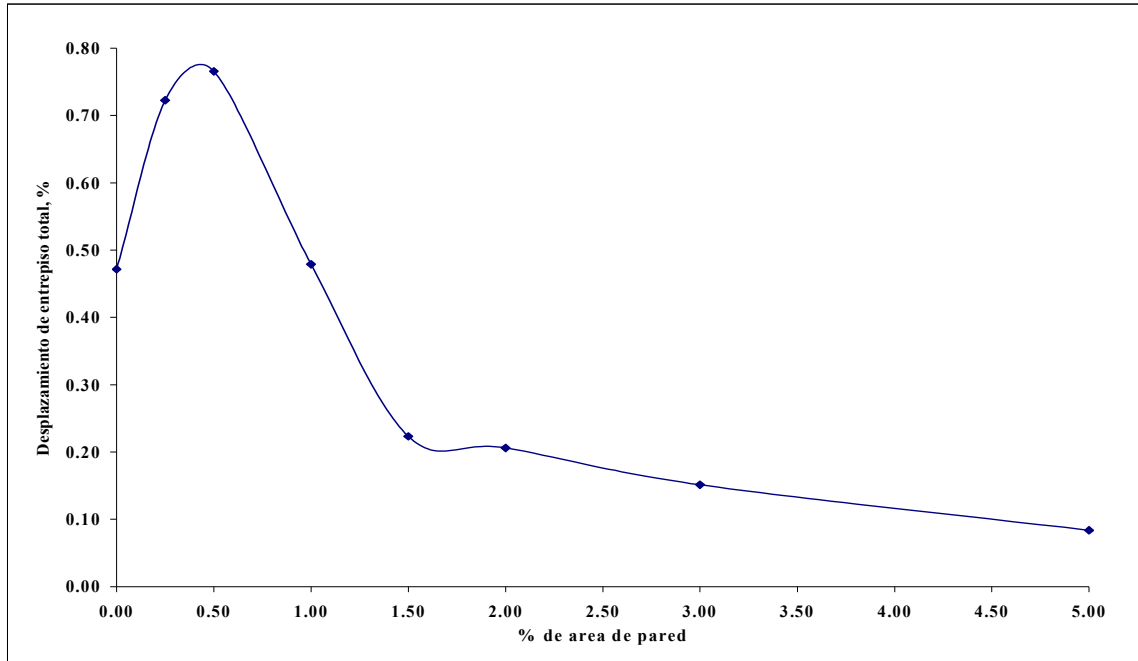


Figura 5.21. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

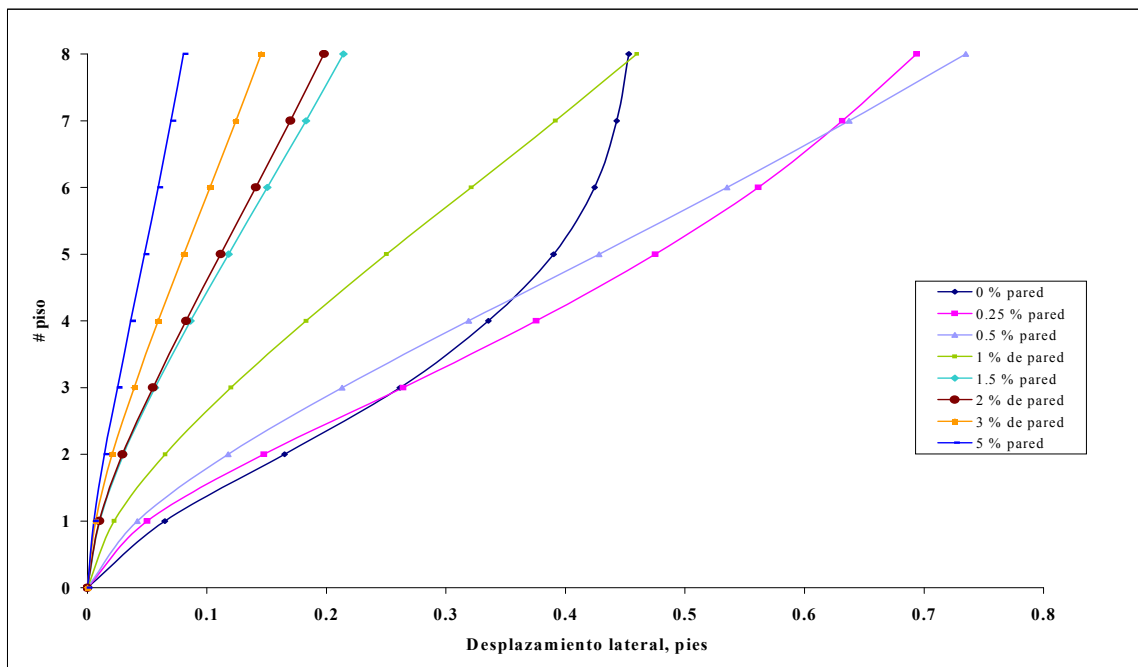


Figura 5.22. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.12 Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.1966	0.6056	0.7826	0.6536	0.3110	0.2555	0.2235	0.0819
11	0.3221	0.7008	0.8366	0.6803	0.3180	0.2610	0.2284	0.0852
10	0.4425	0.7839	0.8824	0.6989	0.3234	0.2654	0.2320	0.0880
9	0.5386	0.8561	0.9290	0.7124	0.3259	0.2673	0.2335	0.0903
8	0.6080	0.9055	0.9671	0.7189	0.3243	0.2658	0.2319	0.0915
7	0.6556	0.9284	0.9909	0.7171	0.3180	0.2605	0.2273	0.0923
6	0.7040	0.9448	0.9944	0.7006	0.3065	0.2510	0.2186	0.0914
5	0.7451	1.0003	0.9719	0.6670	0.2890	0.2366	0.2059	0.0889
4	0.8493	1.0478	0.9414	0.6214	0.2720	0.2223	0.1930	0.0898
3	0.8650	0.9694	0.8115	0.5161	0.2263	0.1846	0.1599	0.0789
2	0.8248	0.8118	0.6175	0.3751	0.1664	0.1354	0.1173	0.0630
1	0.4894	0.4219	0.3229	0.1845	0.0886	0.0719	0.0620	0.0406
máximo	0.8650	1.0478	0.9944	0.7189	0.3259	0.2673	0.2335	0.0923
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.5797	0.7490	0.8373	0.6014	0.2724	0.2231	0.1944	0.0816

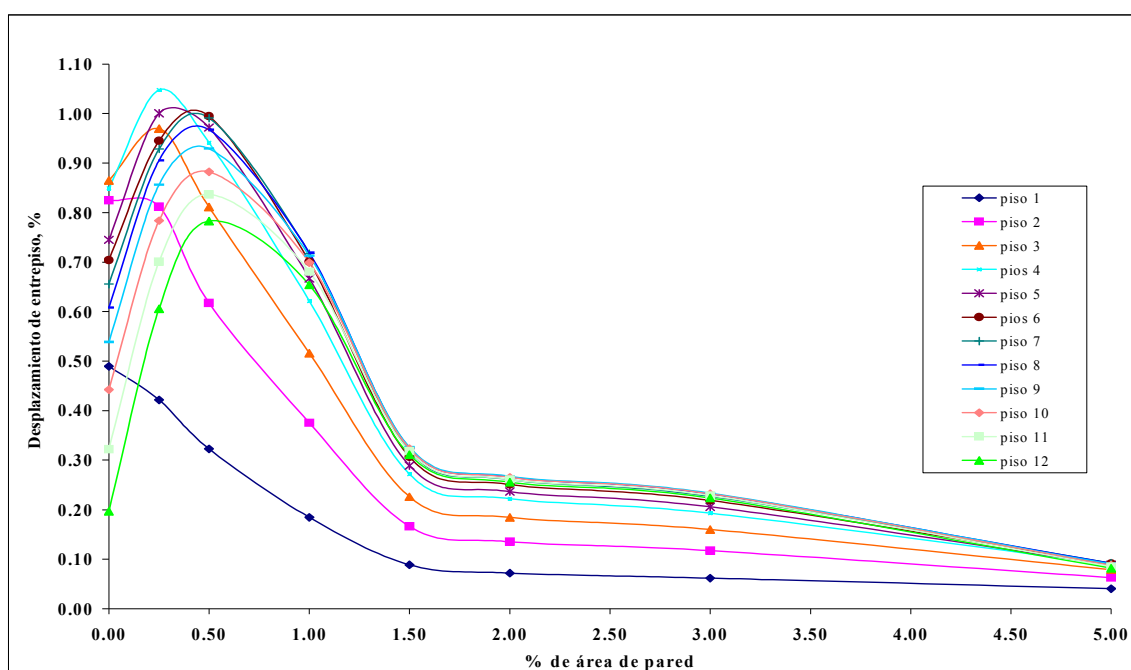


Figura 5.23. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

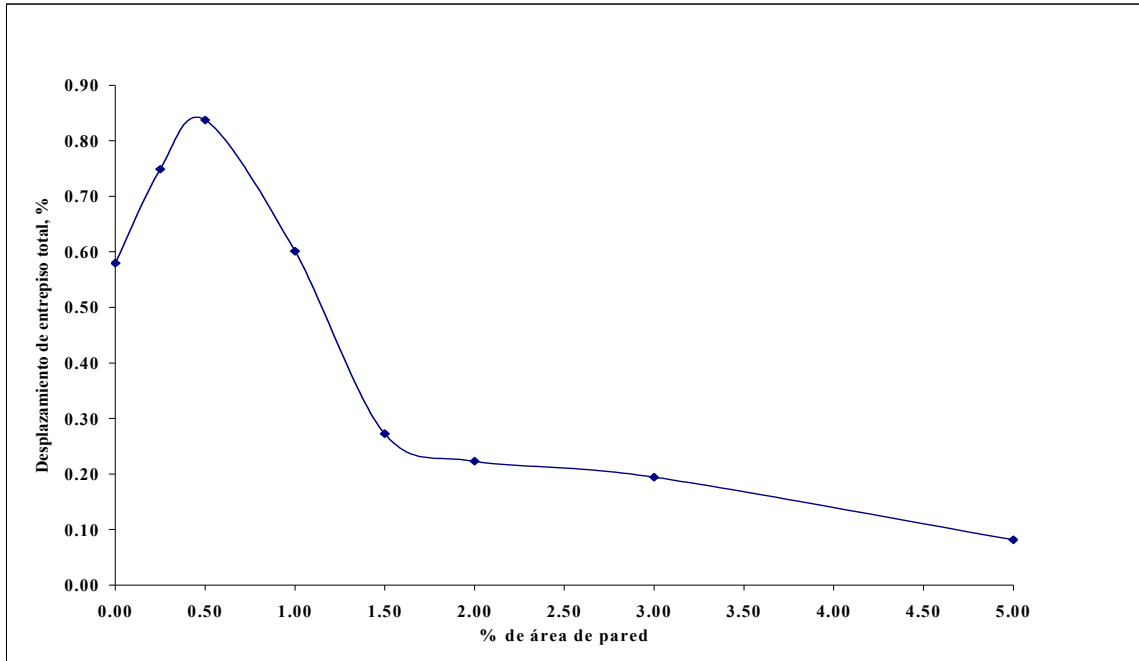


Figura 5.24. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

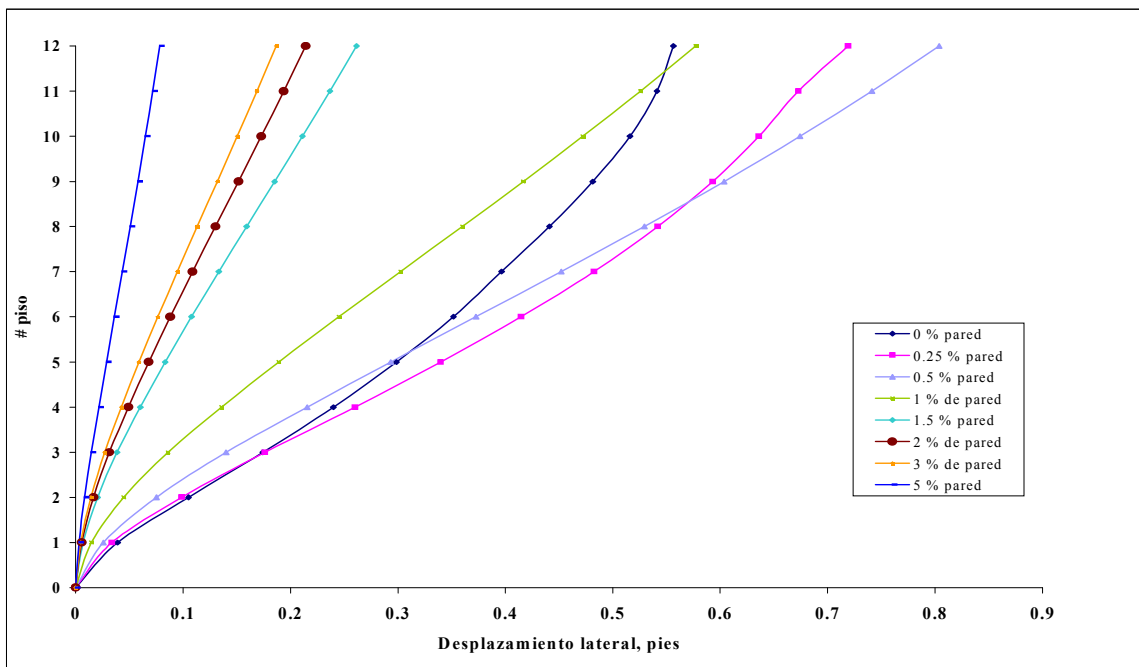


Figura 5.25. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.13 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.2196	0.3872	0.5373	0.6953	0.4628	0.4066	0.1788	0.1352
11	0.3573	0.4457	0.5792	0.7213	0.4712	0.4138	0.1827	0.1396
10	0.4671	0.4959	0.6071	0.7419	0.4761	0.4184	0.1856	0.1427
9	0.5303	0.5425	0.6237	0.7579	0.4758	0.4193	0.1868	0.1444
8	0.5951	0.5724	0.6250	0.7641	0.4685	0.4148	0.1855	0.1436
7	0.6882	0.5887	0.6115	0.7570	0.4535	0.4038	0.1818	0.1411
6	0.7613	0.5934	0.5941	0.7350	0.4306	0.3857	0.1749	0.1377
5	0.7856	0.5842	0.5905	0.6984	0.4030	0.3603	0.1647	0.1315
4	0.8772	0.6207	0.5866	0.6415	0.3748	0.3302	0.1544	0.1278
3	0.9560	0.5903	0.5237	0.5395	0.3103	0.2693	0.1279	0.1091
2	1.0306	0.4797	0.4197	0.3932	0.2249	0.1928	0.0938	0.0838
1	0.6713	0.2457	0.2359	0.1879	0.1132	0.0987	0.0496	0.0500
máximo	1.0306	0.6207	0.6250	0.7641	0.4761	0.4193	0.1868	0.1444
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.5897	0.4482	0.5118	0.6287	0.3824	0.3423	0.1555	0.1224

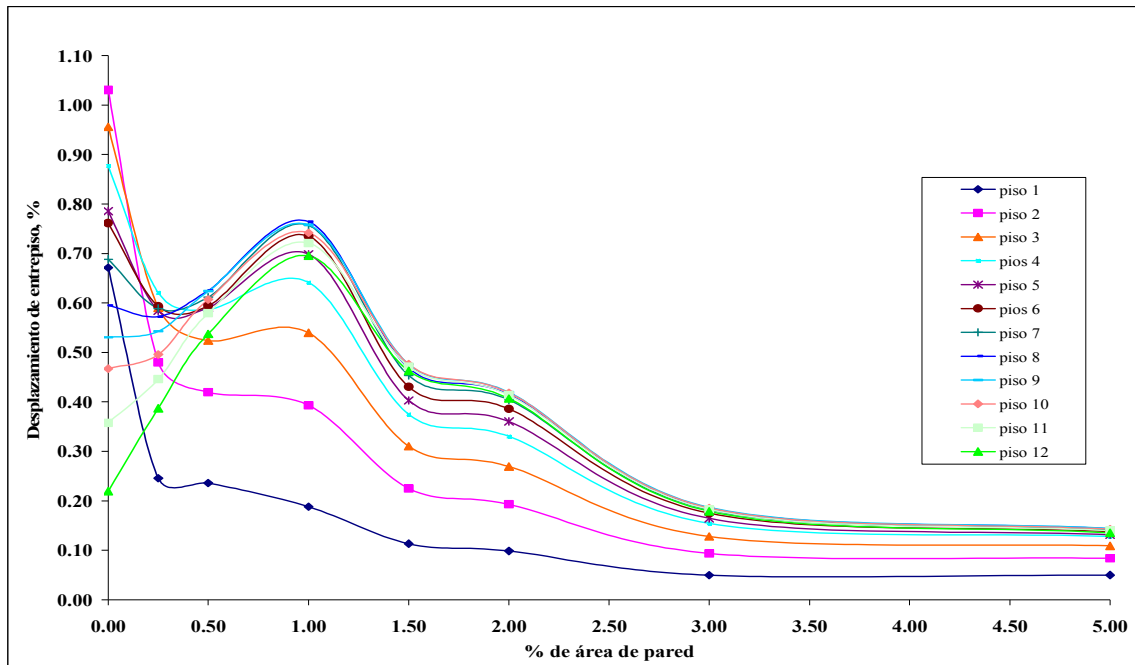


Figura 5.26. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Figura 5.27. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

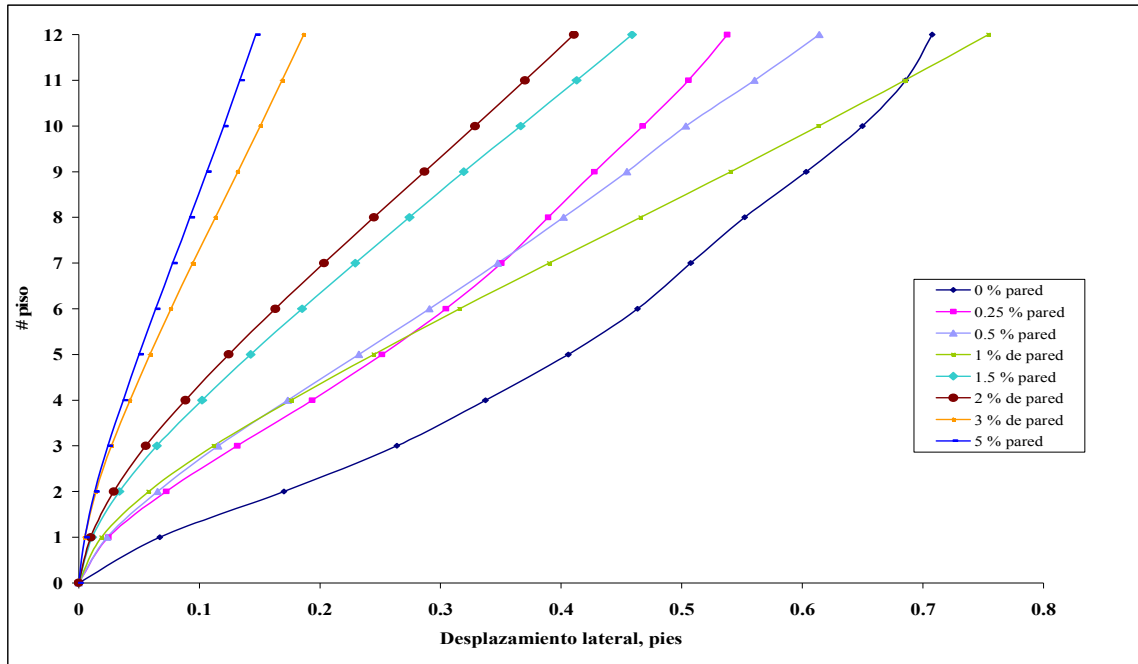


Figura 5.28. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

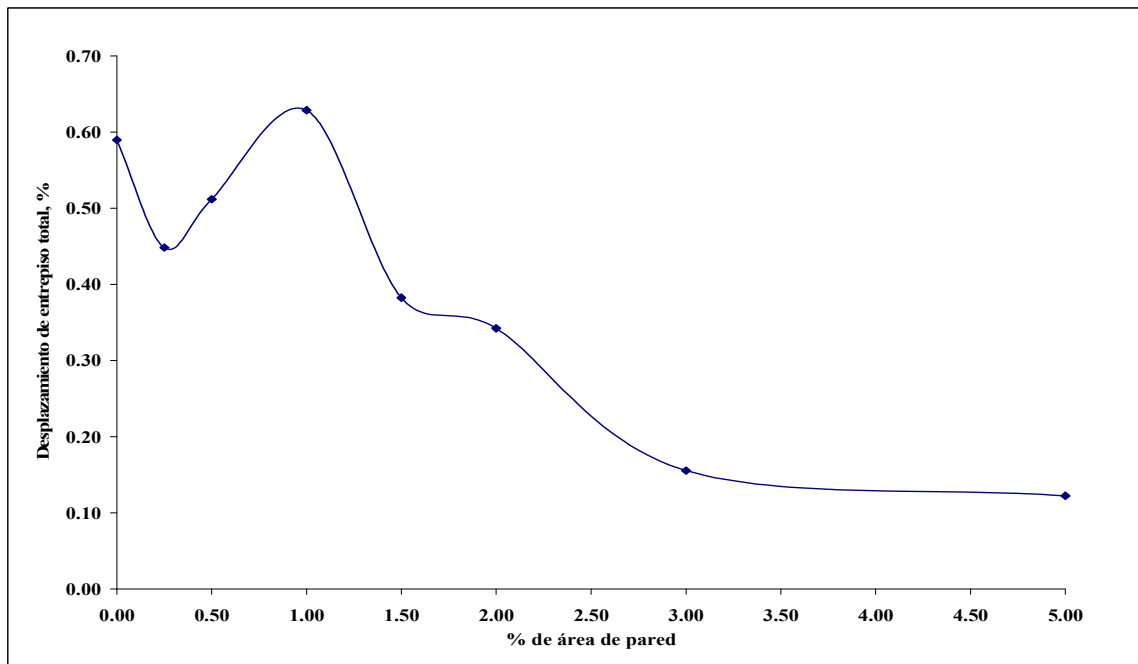


Tabla 5.14 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.3036	0.8884	0.5169	0.4257	0.7260	0.6902	0.4989	0.1974
11	0.5114	0.9158	0.5477	0.4407	0.7352	0.6997	0.5060	0.2026
10	0.6858	0.9107	0.5708	0.4528	0.7406	0.7058	0.5102	0.2059
9	0.7928	0.9443	0.5852	0.4618	0.7390	0.7060	0.5100	0.2069
8	0.8321	0.9664	0.5853	0.4645	0.7281	0.6976	0.5040	0.2045
7	0.8227	0.9980	0.5730	0.4583	0.7059	0.6788	0.4922	0.1987
6	0.8506	0.9835	0.5427	0.4541	0.6713	0.6482	0.4719	0.1889
5	0.9099	0.9473	0.4942	0.4470	0.6236	0.6051	0.4422	0.1793
4	1.0986	0.8460	0.4867	0.4258	0.5609	0.5489	0.4032	0.1726
3	1.2308	0.8022	0.4338	0.3618	0.4509	0.4435	0.3278	0.1468
2	1.2744	0.6541	0.3317	0.2816	0.3148	0.3109	0.2312	0.1110
1	0.8278	0.3308	0.1645	0.1448	0.1458	0.1442	0.1088	0.0621
máximo	1.2744	0.9980	0.5853	0.4645	0.7406	0.7060	0.5102	0.2069
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.6935	0.7477	0.4549	0.3825	0.5950	0.5732	0.4163	0.1680

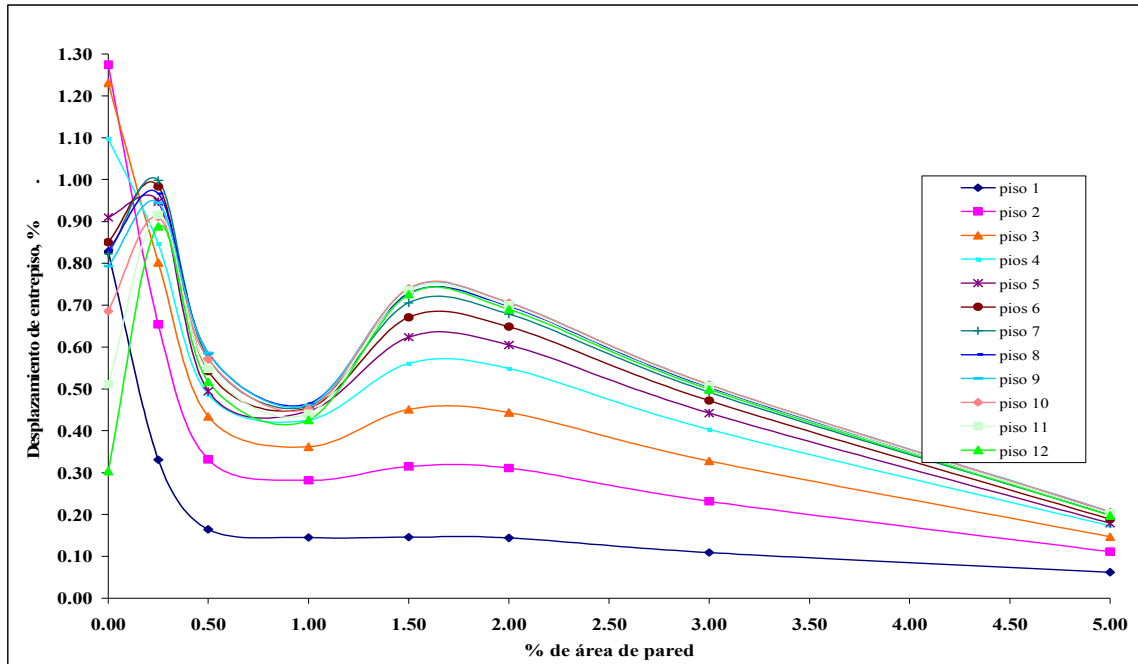


Figura 5.29. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

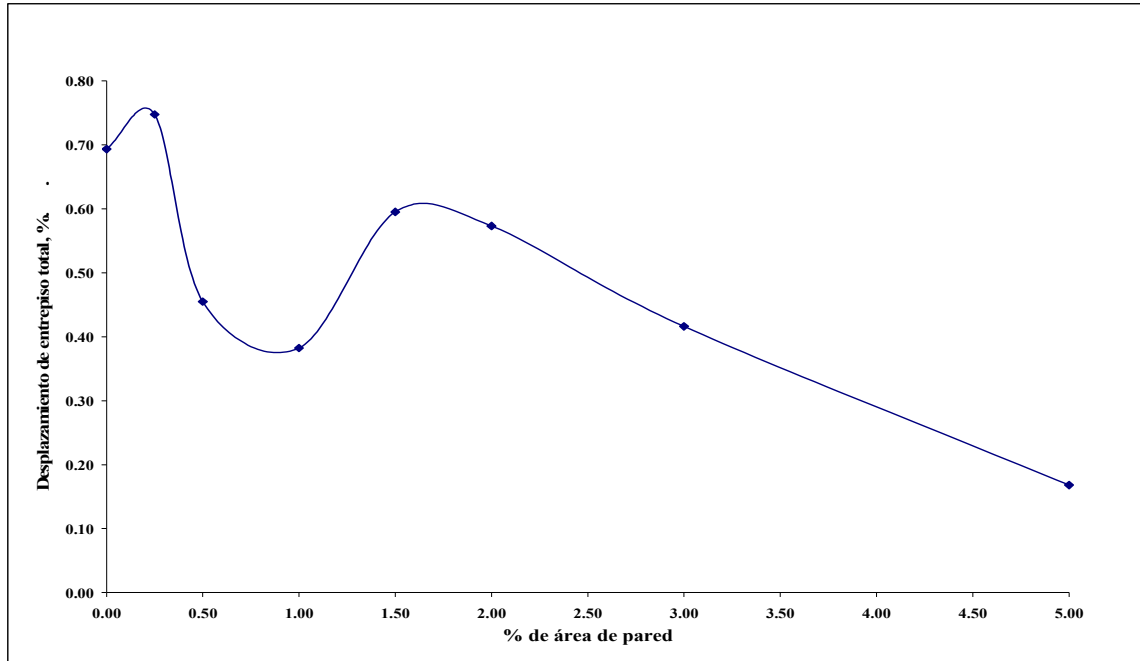


Figura 5.30. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

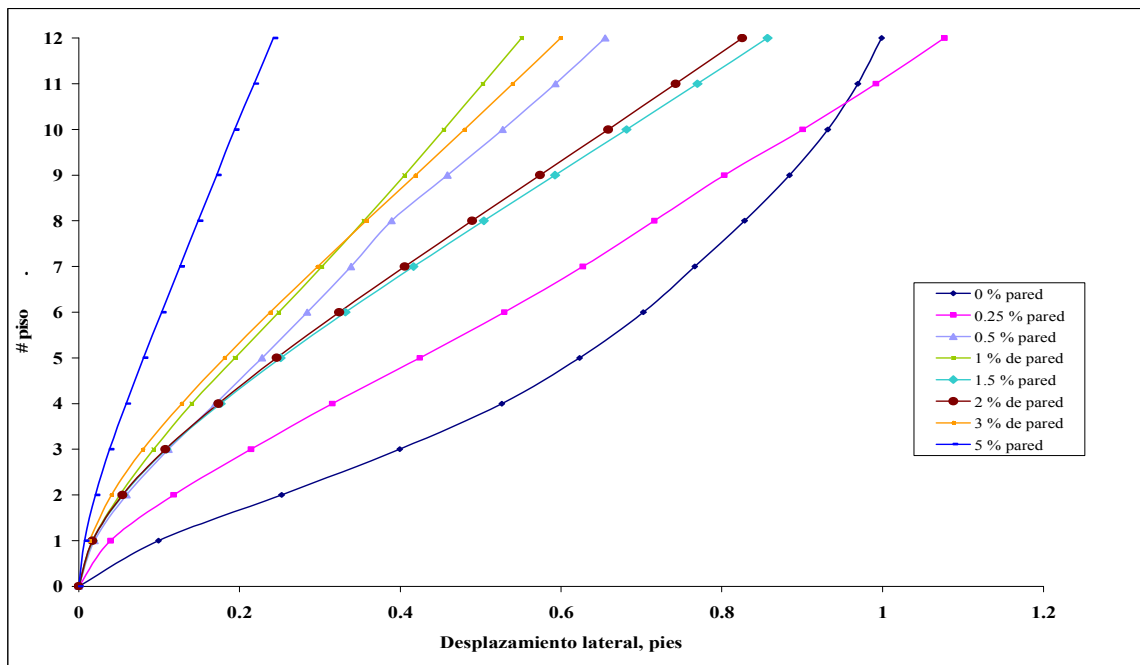


Figura 5.31. Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 piso., Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.15 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.2282	0.3751	0.3739	0.6183	0.6405	0.7199	0.5685	0.2205
17	0.3374	0.4355	0.4046	0.6399	0.6486	0.7279	0.5734	0.2248
16	0.4603	0.4894	0.4176	0.6541	0.6554	0.7351	0.5785	0.2286
15	0.5766	0.5365	0.4315	0.6684	0.6597	0.7405	0.5826	0.2320
14	0.6787	0.5696	0.4453	0.6798	0.6609	0.7430	0.5846	0.2343
13	0.7678	0.6123	0.4570	0.6870	0.6574	0.7413	0.5841	0.2354
12	0.8402	0.6749	0.4663	0.6900	0.6493	0.7349	0.5802	0.2350
11	0.8969	0.7287	0.4721	0.6886	0.6358	0.7233	0.5725	0.2328
10	0.9341	0.7743	0.4743	0.6801	0.6170	0.7059	0.5608	0.2288
9	0.9490	0.8076	0.4706	0.6644	0.5934	0.6830	0.5443	0.2228
8	0.9430	0.8300	0.4634	0.6405	0.5664	0.6554	0.5239	0.2150
7	0.9425	0.8471	0.4488	0.6083	0.5346	0.6223	0.4990	0.2051
6	1.0580	0.8960	0.4358	0.5811	0.5083	0.5886	0.4745	0.2000
5	1.1269	0.9093	0.4004	0.5305	0.4614	0.5215	0.4225	0.1826
4	1.1651	0.8799	0.3728	0.4645	0.4008	0.4419	0.3601	0.1603
3	1.1520	0.7853	0.3248	0.3810	0.3258	0.3496	0.2866	0.1331
2	1.0181	0.6316	0.2503	0.2794	0.2340	0.2433	0.2010	0.1003
1	0.5283	0.3074	0.1331	0.1435	0.1199	0.1185	0.0988	0.0596

máximo	1.1651	0.9093	0.4743	0.6900	0.6609	0.7430	0.5846	0.2354
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.7459	0.6234	0.3933	0.5667	0.5199	0.5976	0.4761	0.1957

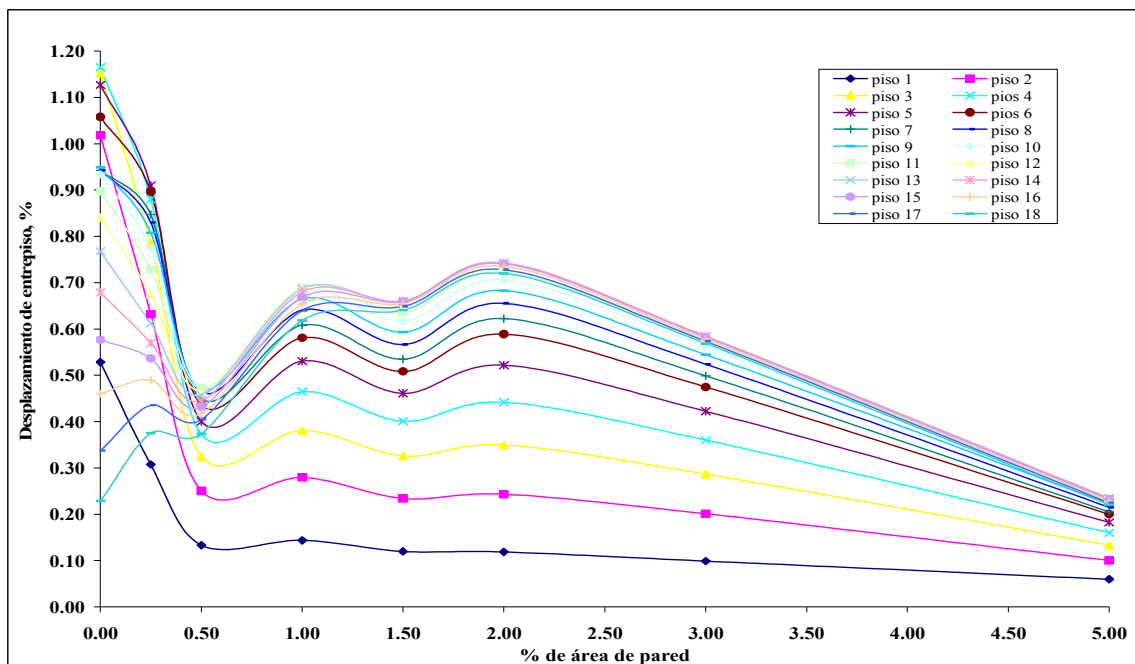


Figura 5.32. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

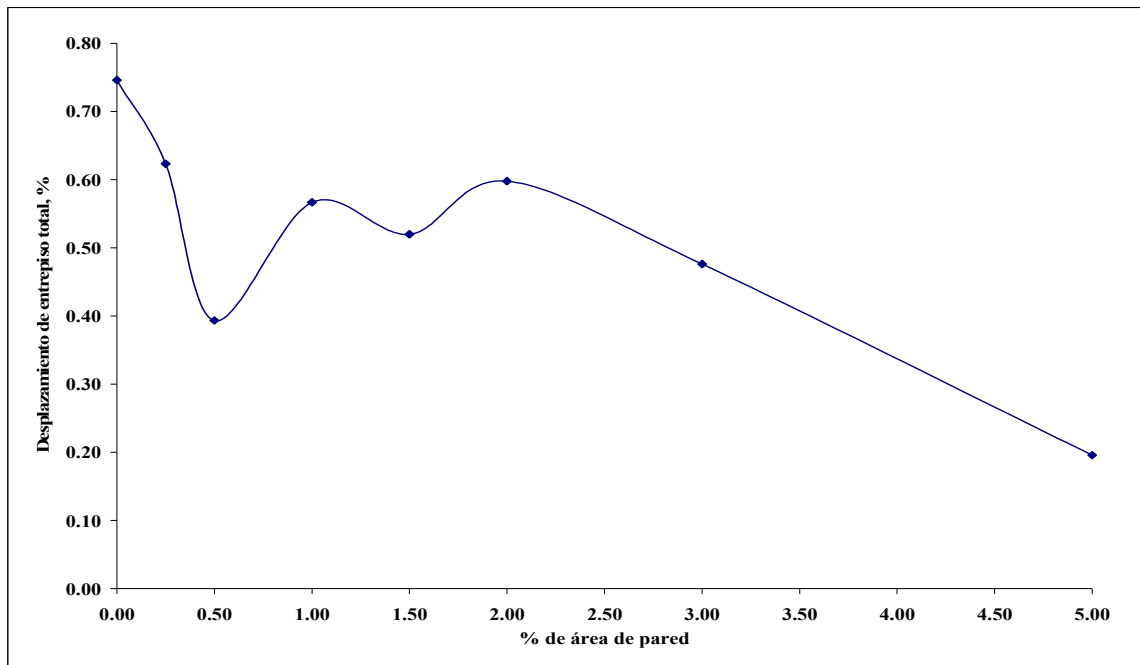


Figura 5.33. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

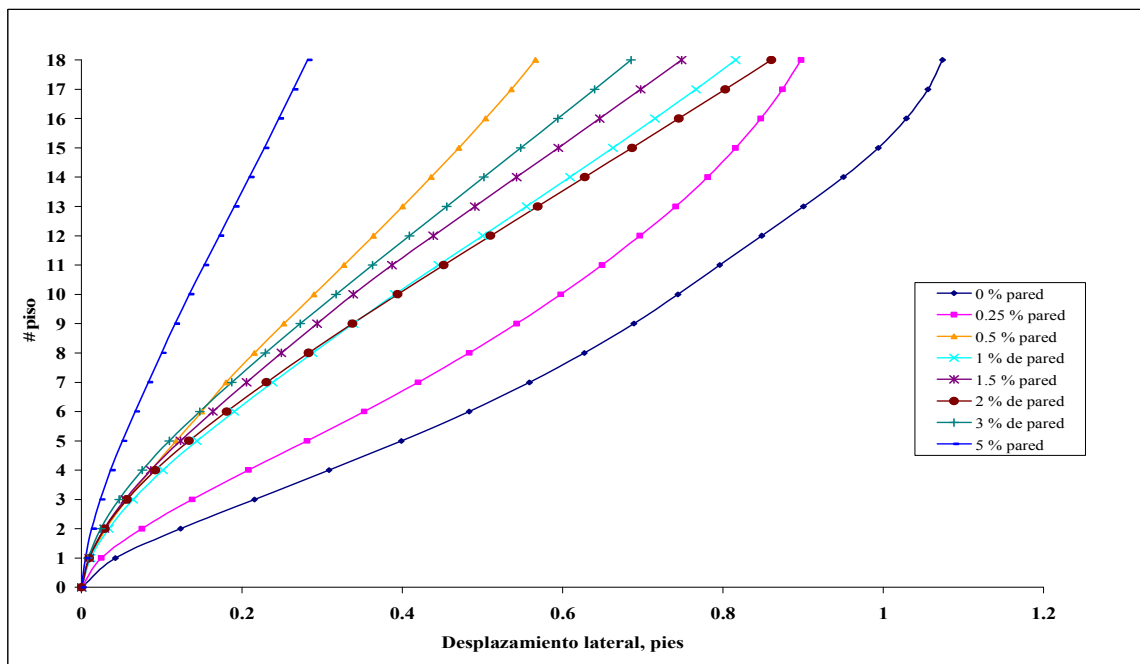


Figura 5.34. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.16 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos, altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.1892	0.3001	0.5997	0.5716	0.4108	0.4238	0.5276	0.3277
17	0.2879	0.3484	0.6428	0.6026	0.4153	0.4282	0.5327	0.3328
16	0.3779	0.3915	0.6781	0.6298	0.4182	0.4311	0.5366	0.3372
15	0.4642	0.4292	0.7112	0.6583	0.4186	0.4316	0.5387	0.3408
14	0.5369	0.4557	0.7360	0.6839	0.4156	0.4294	0.5377	0.3428
13	0.5854	0.4898	0.7500	0.7086	0.4089	0.4247	0.5333	0.3429
12	0.6055	0.5399	0.7534	0.7340	0.3977	0.4165	0.5249	0.3406
11	0.6222	0.5830	0.7443	0.7550	0.3826	0.4047	0.5124	0.3360
10	0.6690	0.6194	0.7512	0.7694	0.3648	0.3893	0.4955	0.3286
9	0.6809	0.6461	0.7535	0.7705	0.3500	0.3747	0.4745	0.3183
8	0.6716	0.6640	0.7458	0.7558	0.3419	0.3616	0.4492	0.3053
7	0.7176	0.6777	0.7270	0.7250	0.3336	0.3515	0.4218	0.2896
6	0.8174	0.7168	0.7025	0.6836	0.3271	0.3438	0.3919	0.2756
5	0.9067	0.7274	0.6588	0.6210	0.3009	0.3166	0.3441	0.2446
4	0.9822	0.7039	0.6078	0.5482	0.2648	0.2779	0.2906	0.2082
3	1.0155	0.6282	0.5285	0.4496	0.2183	0.2272	0.2282	0.1670
2	0.9327	0.5053	0.4038	0.3234	0.1581	0.1629	0.1576	0.1207
1	0.5033	0.2459	0.2051	0.1561	0.0856	0.0805	0.0761	0.0661

máximo	1.0155	0.7274	0.7535	0.7705	0.4186	0.4316	0.5387	0.3429
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.4771	0.4987	0.6036	0.5994	0.3052	0.3279	0.4165	0.2787

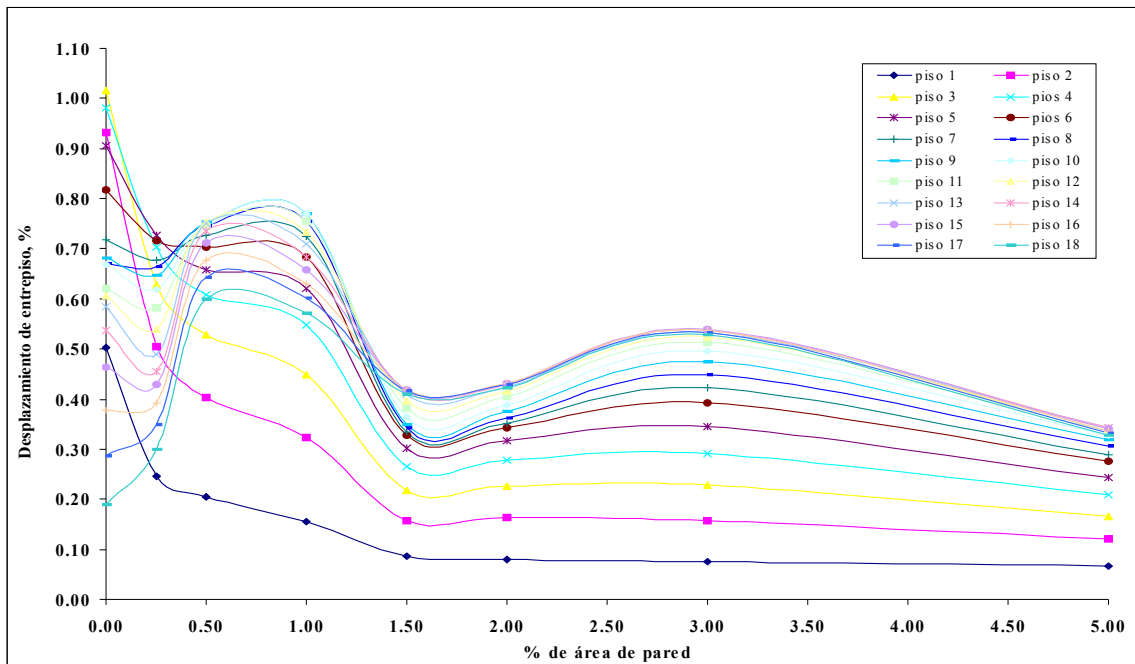


Figura 5.35. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

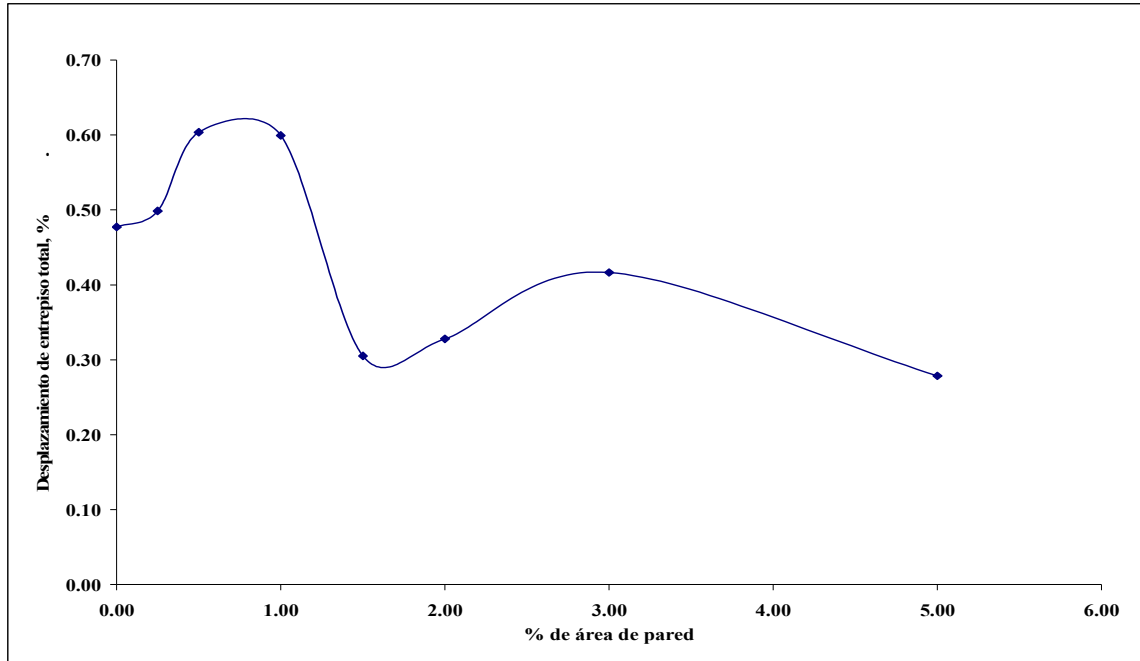


Figura 5.36. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

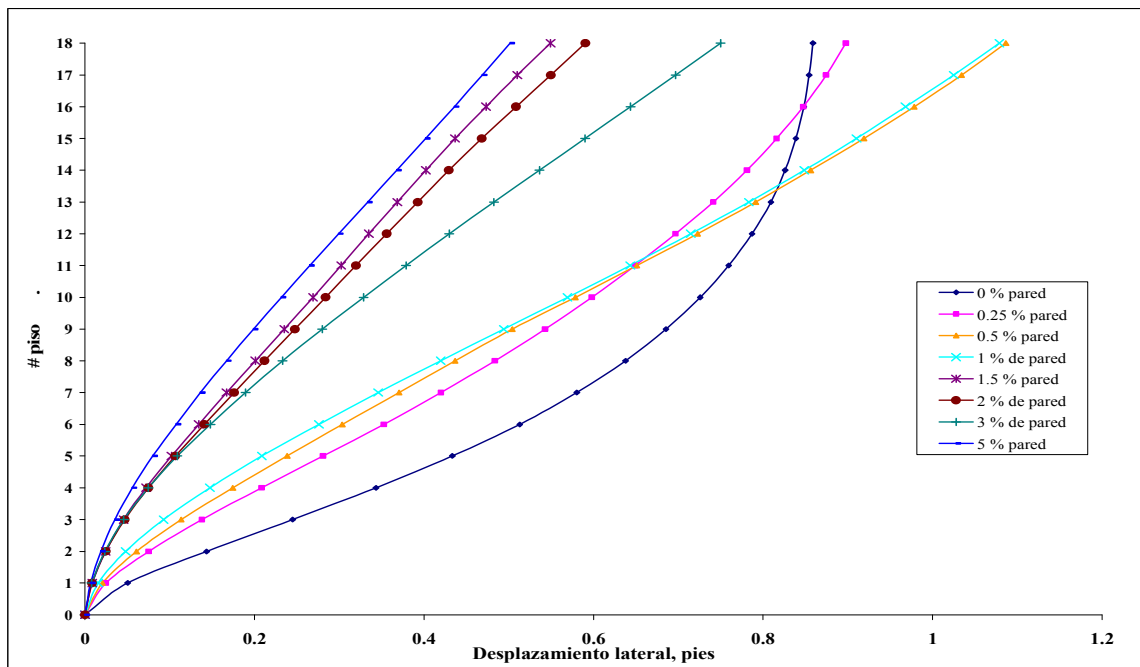


Figura 5.37. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 piso. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.17 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.2676	0.4859	0.5598	0.5483	0.7122	0.4552	0.4948	0.4464
17	0.4151	0.5688	0.5995	0.5707	0.7183	0.4645	0.4996	0.4520
16	0.5588	0.6452	0.6333	0.5902	0.7222	0.4713	0.5028	0.4571
15	0.6668	0.7093	0.6623	0.6088	0.7218	0.4756	0.5031	0.4612
14	0.7275	0.7473	0.6801	0.6231	0.7163	0.4761	0.4995	0.4636
13	0.7667	0.7674	0.7003	0.6319	0.7051	0.4738	0.4910	0.4638
12	0.8478	0.7779	0.7243	0.6342	0.6880	0.4676	0.4772	0.4612
11	0.9096	0.7805	0.7400	0.6293	0.6698	0.4563	0.4576	0.4554
10	0.9473	0.7700	0.7423	0.6175	0.6566	0.4397	0.4326	0.4461
9	0.9559	0.7399	0.7248	0.6033	0.6440	0.4178	0.4047	0.4330
8	0.9366	0.7565	0.6883	0.5918	0.6266	0.3934	0.3727	0.4168
7	0.8942	0.7835	0.6360	0.5843	0.6011	0.3662	0.3477	0.3980
6	0.8864	0.8150	0.6692	0.5683	0.5698	0.3461	0.3431	0.3792
5	0.9508	0.8288	0.6717	0.5446	0.5111	0.3106	0.3184	0.3387
4	1.0332	0.8323	0.6293	0.4905	0.4368	0.2694	0.2811	0.2948
3	1.1098	0.8133	0.5492	0.4083	0.3476	0.2188	0.2295	0.2366
2	1.0620	0.6700	0.4207	0.2975	0.2408	0.1589	0.0770	0.1687
1	0.5951	0.3315	0.2078	0.1441	0.1096	0.0850	0.1233	0.0863

máximo	1.1098	0.8323	0.7423	0.6342	0.7222	0.4761	0.5031	0.4638
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.6624	0.5163	0.5383	0.5106	0.5502	0.3632	0.3534	0.3773

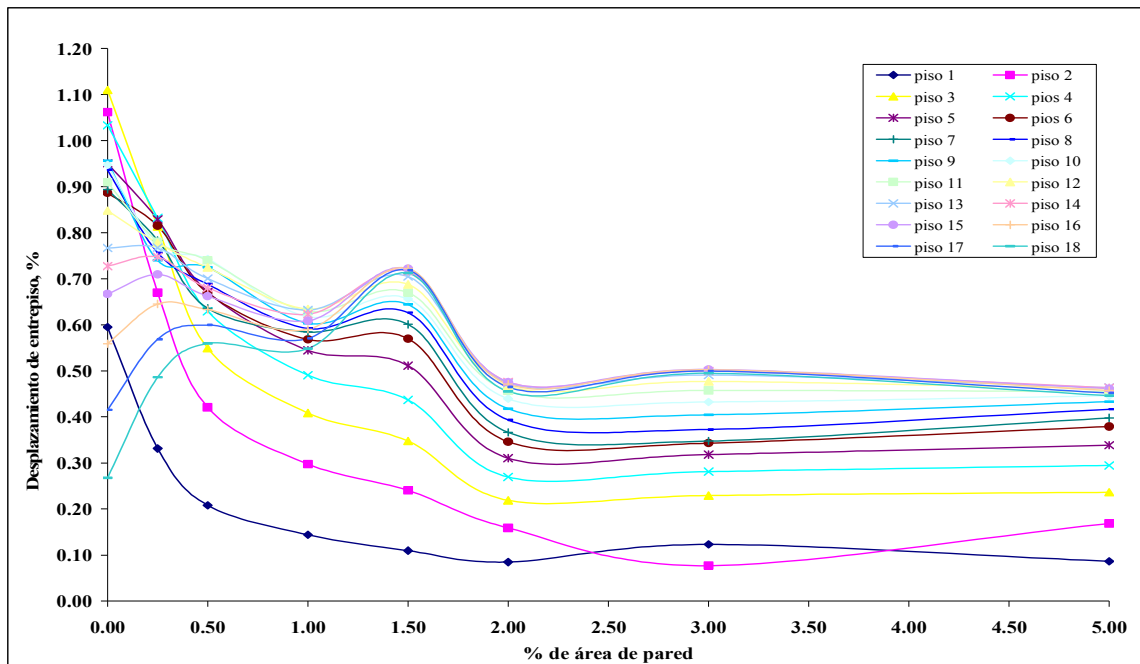


Figura 5.38. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

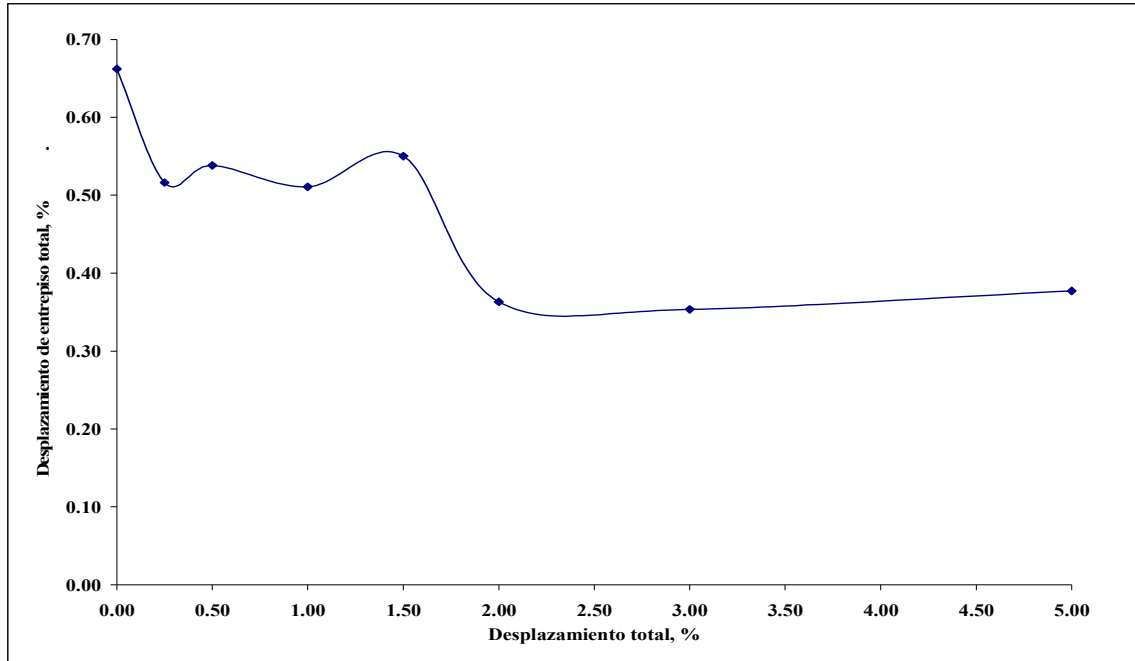


Figura 5.39. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

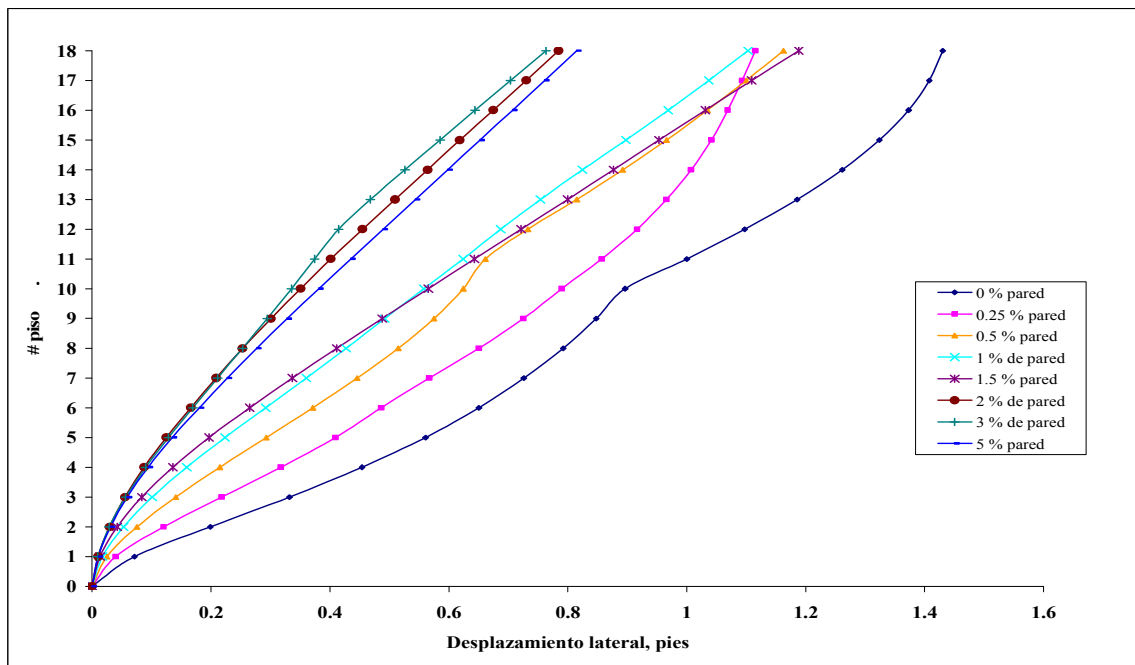


Figura 5.40. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.18 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos.
Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepisos, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.2125	0.3395	0.4594	0.6173	0.5391	0.4511	0.3721	0.3461
23	0.2890	0.3943	0.4932	0.6444	0.5438	0.4551	0.3754	0.3505
22	0.3731	0.4453	0.5191	0.6663	0.5502	0.4610	0.3799	0.3546
21	0.4463	0.4916	0.5415	0.6891	0.5561	0.4648	0.3829	0.3586
20	0.4986	0.5259	0.5576	0.7099	0.5610	0.4668	0.3848	0.3624
19	0.5250	0.5475	0.5659	0.7265	0.5603	0.4629	0.3830	0.3653
18	0.5241	0.5700	0.5926	0.7381	0.5585	0.4576	0.3820	0.3673
17	0.5610	0.6044	0.6176	0.7434	0.5536	0.4493	0.3791	0.3679
16	0.6049	0.6368	0.6356	0.7418	0.5454	0.4386	0.3744	0.3684
15	0.6399	0.6679	0.6445	0.7321	0.5331	0.4260	0.3675	0.3663
14	0.6626	0.6929	0.6654	0.7170	0.5174	0.4100	0.3601	0.3630
13	0.6643	0.7111	0.6889	0.7215	0.4974	0.3910	0.3549	0.3579
12	0.6481	0.7151	0.7061	0.7214	0.4741	0.3695	0.3543	0.3528
11	0.6724	0.7110	0.7163	0.7149	0.4474	0.3458	0.3524	0.3463
10	0.7107	0.6963	0.7299	0.7036	0.4179	0.3316	0.3509	0.3393
9	0.7494	0.7093	0.7446	0.6833	0.3951	0.3238	0.3469	0.3309
8	0.8090	0.7431	0.7663	0.6644	0.3950	0.3184	0.3453	0.3265
7	0.8599	0.7781	0.7695	0.6239	0.3776	0.2996	0.3290	0.3056
6	0.9080	0.8210	0.7643	0.5995	0.3514	0.2753	0.3075	0.2804
5	0.9454	0.8488	0.7374	0.5581	0.3190	0.2450	0.2788	0.2503
4	0.9559	0.8306	0.6796	0.4974	0.2790	0.2144	0.2423	0.2154
3	0.9091	0.7484	0.5848	0.4129	0.2283	0.1804	0.1969	0.1750
2	0.7609	0.5955	0.4495	0.3054	0.1655	0.1354	0.1416	0.1285
1	0.3658	0.2779	0.2200	0.1498	0.0860	0.0735	0.0728	0.0724
máximo	0.9559	0.8488	0.7695	0.7434	0.5610	0.4668	0.3848	0.3684
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.4749	0.4593	0.5569	0.5708	0.4042	0.3226	0.3004	0.3053

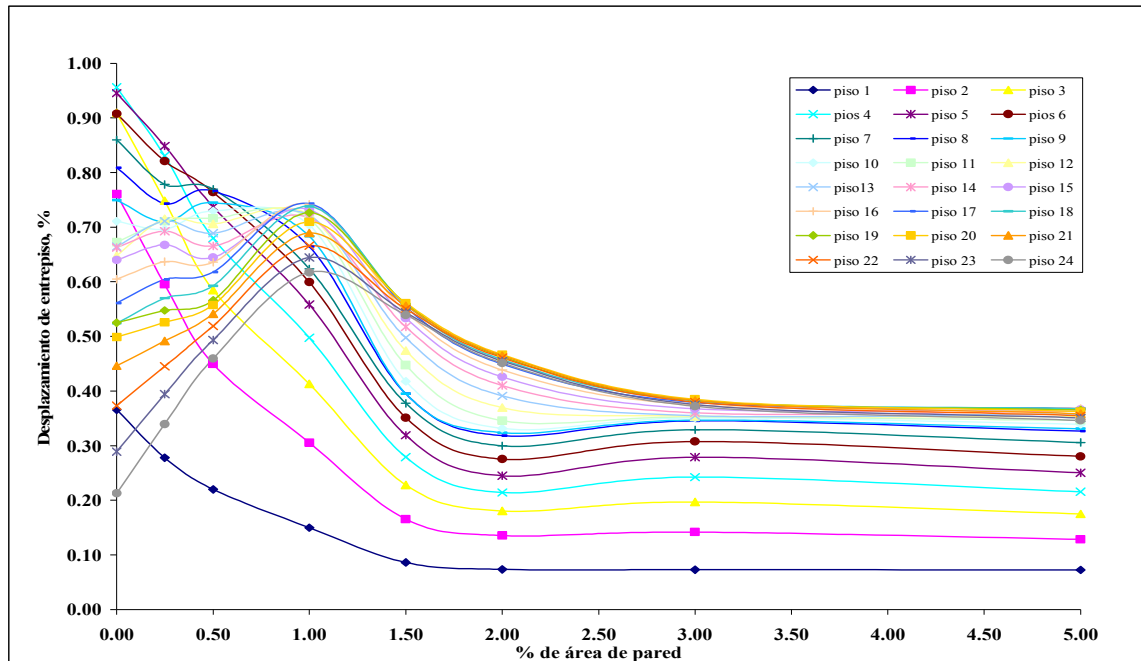


Figura 5.41. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos.
Altura de piso igual a 10'.

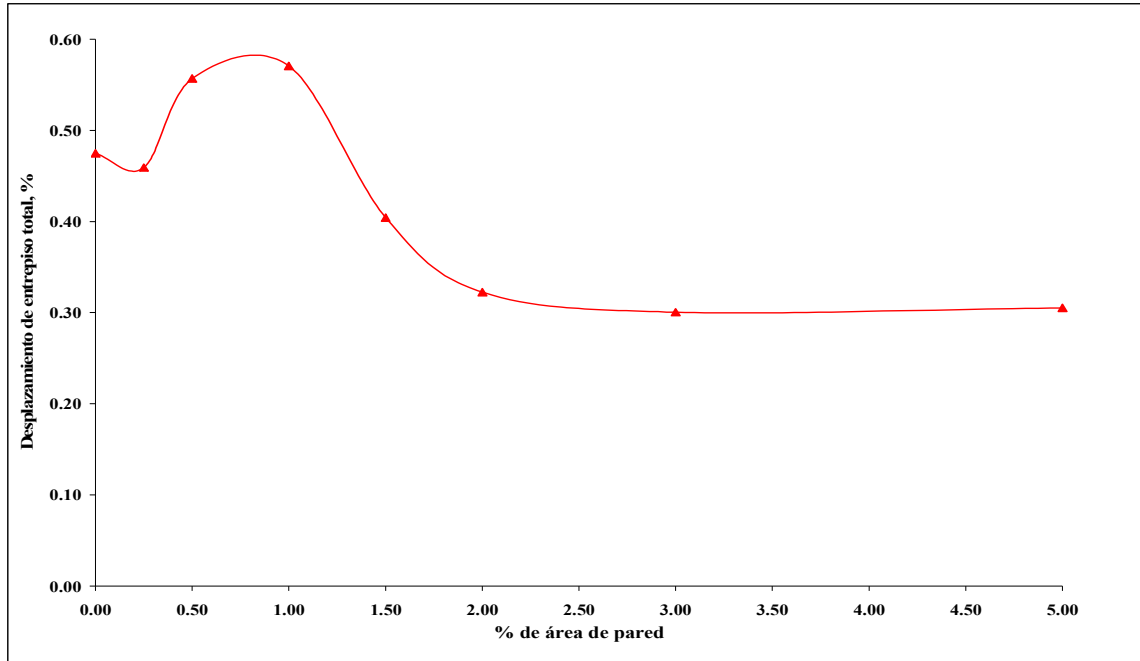


Figura 5.42. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

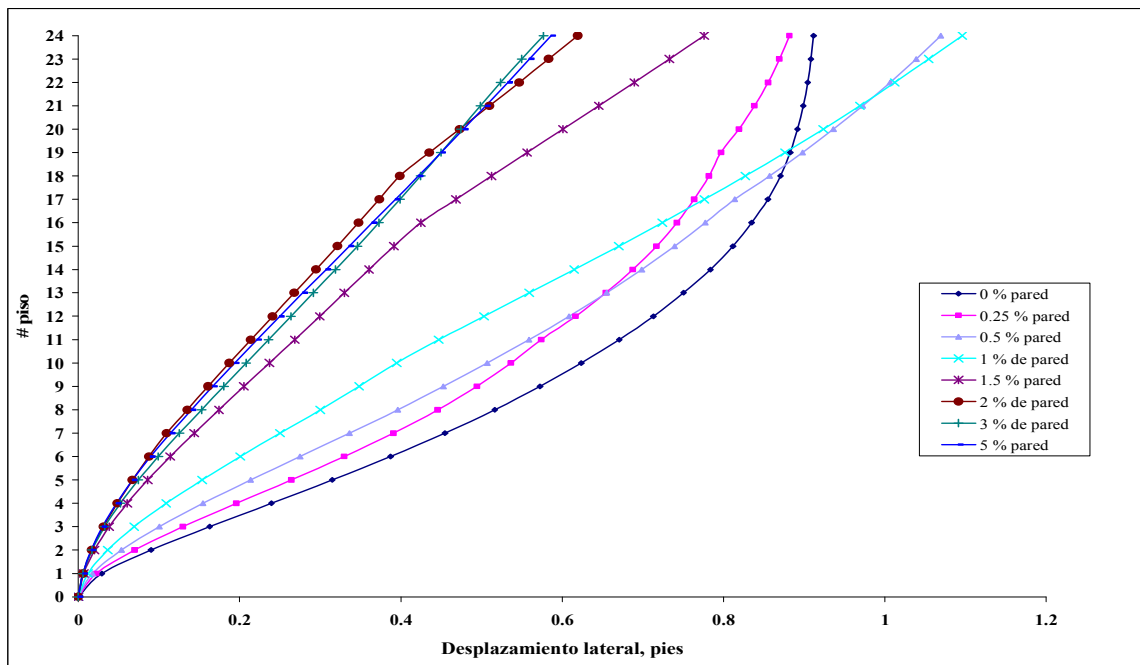


Figura 5.43. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.19 Registro de Mayagüez/Ponce Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.2112	0.4112	0.5361	0.6421	0.6900	0.5660	0.6515	0.3956
23	0.2931	0.4782	0.5753	0.6703	0.6971	0.5713	0.6576	0.4003
22	0.3835	0.5508	0.6092	0.6934	0.7020	0.5752	0.6622	0.4045
21	0.4634	0.6242	0.6425	0.7160	0.7076	0.5798	0.6668	0.4083
20	0.5232	0.6893	0.6705	0.7342	0.7109	0.5828	0.6692	0.4113
19	0.5634	0.7412	0.6909	0.7460	0.7083	0.5818	0.6673	0.4130
18	0.5990	0.7770	0.7020	0.7505	0.7031	0.5788	0.6628	0.4133
17	0.6495	0.8327	0.7035	0.7474	0.6937	0.5730	0.6552	0.4119
16	0.7099	0.9064	0.6981	0.7402	0.6802	0.5642	0.6442	0.4086
15	0.7899	0.9673	0.6850	0.7295	0.6623	0.5520	0.6301	0.4035
14	0.8723	1.0123	0.6730	0.7194	0.6402	0.5387	0.6129	0.3963
13	0.9447	1.0390	0.6811	0.7080	0.6144	0.5266	0.5932	0.3884
12	1.0024	1.0454	0.7032	0.6930	0.5850	0.5203	0.5768	0.3784
11	1.0414	1.0331	0.7196	0.6710	0.5530	0.5138	0.5641	0.3664
10	1.0612	1.0032	0.7301	0.6425	0.5195	0.5056	0.5484	0.3529
9	1.0632	0.9590	0.7274	0.6285	0.5022	0.5014	0.5315	0.3372
8	1.0738	0.9206	0.7256	0.6603	0.4893	0.4984	0.5125	0.3243
7	1.0455	0.9261	0.7204	0.6652	0.4676	0.4760	0.4752	0.2987
6	1.0198	0.9492	0.6987	0.6477	0.4437	0.4425	0.4323	0.2691
5	1.0410	0.9502	0.6519	0.6028	0.4072	0.3981	0.3804	0.2358
4	1.0837	0.9149	0.6035	0.5359	0.3566	0.3424	0.3230	0.1995
3	1.0636	0.8259	0.5231	0.4395	0.2911	0.2742	0.2550	0.1584
2	0.9103	0.6474	0.4008	0.3154	0.2082	0.1921	0.1759	0.1118
1	0.4436	0.3020	0.1957	0.1471	0.1017	0.0909	0.0811	0.0572
máximo	1.0837	1.0454	0.7301	0.7505	0.7109	0.5828	0.6692	0.4133
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.7169	0.7176	0.5273	0.5512	0.5103	0.4438	0.5022	0.3275

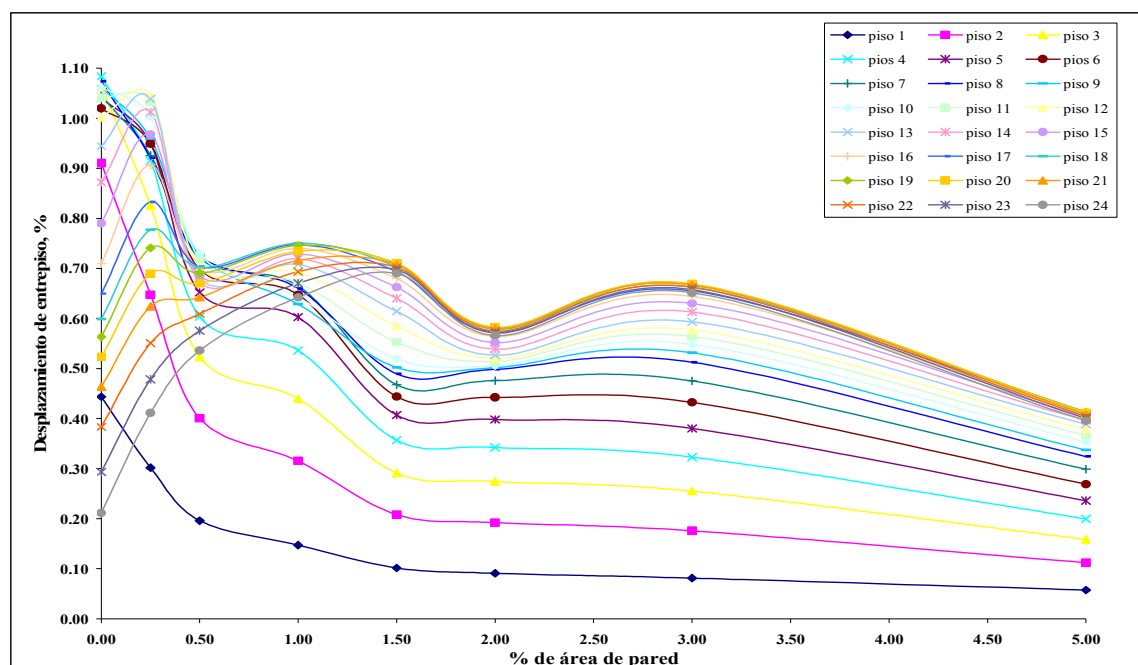


Figura 5.44. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

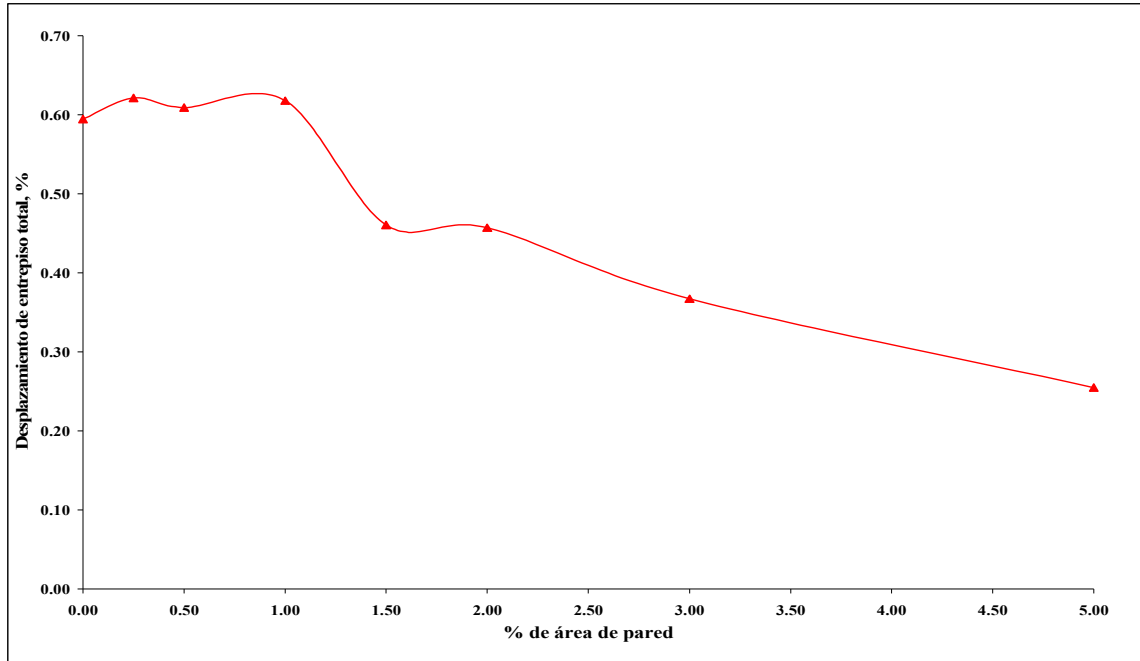


Figura 5.45. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos, Altura de piso igual a 10'.

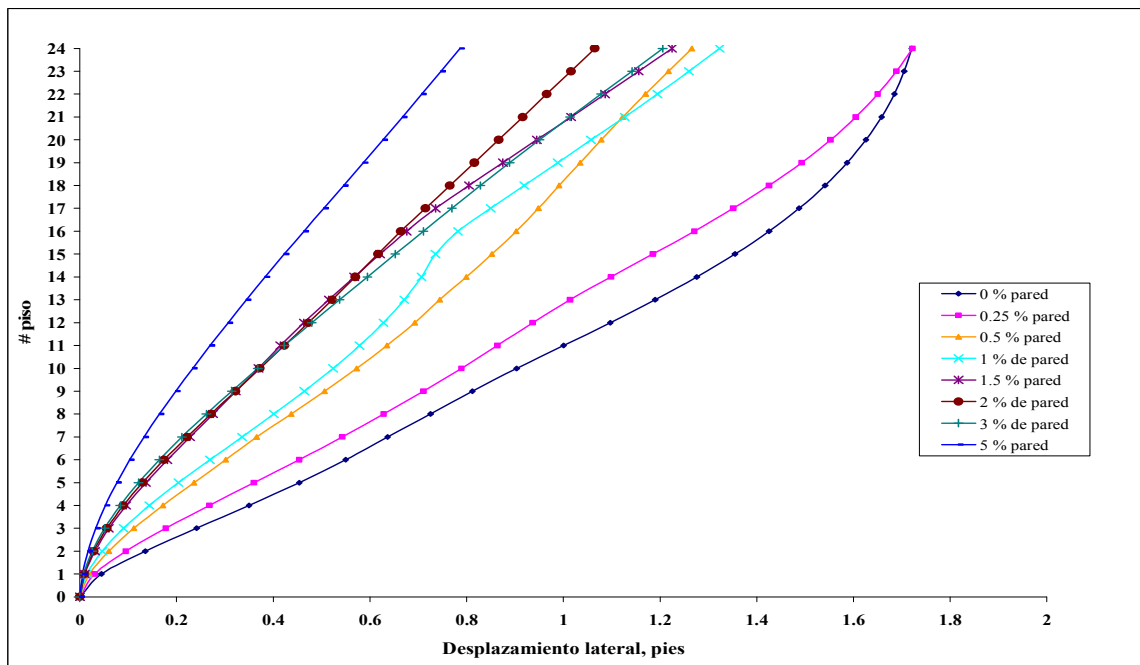


Figura 5.46. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.20 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.2433	0.3943	0.5753	0.7481	0.6978	0.5952	0.4728	0.3512
23	0.3407	0.4604	0.6183	0.7813	0.7045	0.6000	0.4769	0.3555
22	0.4495	0.5301	0.6515	0.8054	0.7114	0.6049	0.4813	0.3593
21	0.5478	0.5951	0.6761	0.8217	0.7125	0.6080	0.4833	0.3618
20	0.6256	0.6458	0.6879	0.8242	0.7096	0.6096	0.4834	0.3627
19	0.6781	0.6773	0.7100	0.8333	0.7034	0.6097	0.4808	0.3615
18	0.7044	0.6892	0.7223	0.8363	0.6918	0.6080	0.4753	0.3582
17	0.7063	0.6838	0.7423	0.8293	0.6746	0.6035	0.4663	0.3524
16	0.6892	0.6651	0.7627	0.8122	0.6516	0.5959	0.4546	0.3442
15	0.6586	0.6816	0.7766	0.7987	0.6269	0.5858	0.4471	0.3338
14	0.6733	0.7763	0.7806	0.8047	0.5970	0.5733	0.4430	0.3211
13	0.7503	0.8743	0.7824	0.8010	0.5712	0.5574	0.4420	0.3063
12	0.8298	0.9586	0.8436	0.8016	0.5474	0.5382	0.4378	0.2899
11	0.8938	1.0190	0.9058	0.8623	0.5226	0.5158	0.4298	0.2730
10	0.9374	1.0578	0.9558	0.9093	0.5004	0.4912	0.4188	0.2553
9	0.9578	1.0688	0.9902	0.9398	0.4878	0.4645	0.4040	0.2376
8	0.9834	1.0741	1.0310	0.9663	0.4806	0.4516	0.3917	0.2294
7	0.9642	1.0447	1.0452	0.9593	0.4578	0.4227	0.3739	0.2217
6	0.9342	1.0148	1.0378	0.9248	0.4250	0.3885	0.3469	0.2095
5	0.9059	0.9908	0.9961	0.8833	0.3818	0.3507	0.3110	0.1918
4	0.8781	0.9414	0.9138	0.8209	0.3272	0.3053	0.2658	0.1683
3	0.8255	0.8343	0.7758	0.7005	0.2606	0.2488	0.2108	0.1384
2	0.7075	0.6417	0.5716	0.5137	0.1801	0.1773	0.1450	0.1017
1	0.3543	0.2932	0.2639	0.2363	0.0857	0.0834	0.0648	0.0542

máximo	0.9834	1.0741	1.0452	0.9663	0.7125	0.6097	0.4834	0.3627
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.5948	0.6214	0.6093	0.6180	0.4606	0.4573	0.3673	0.2549

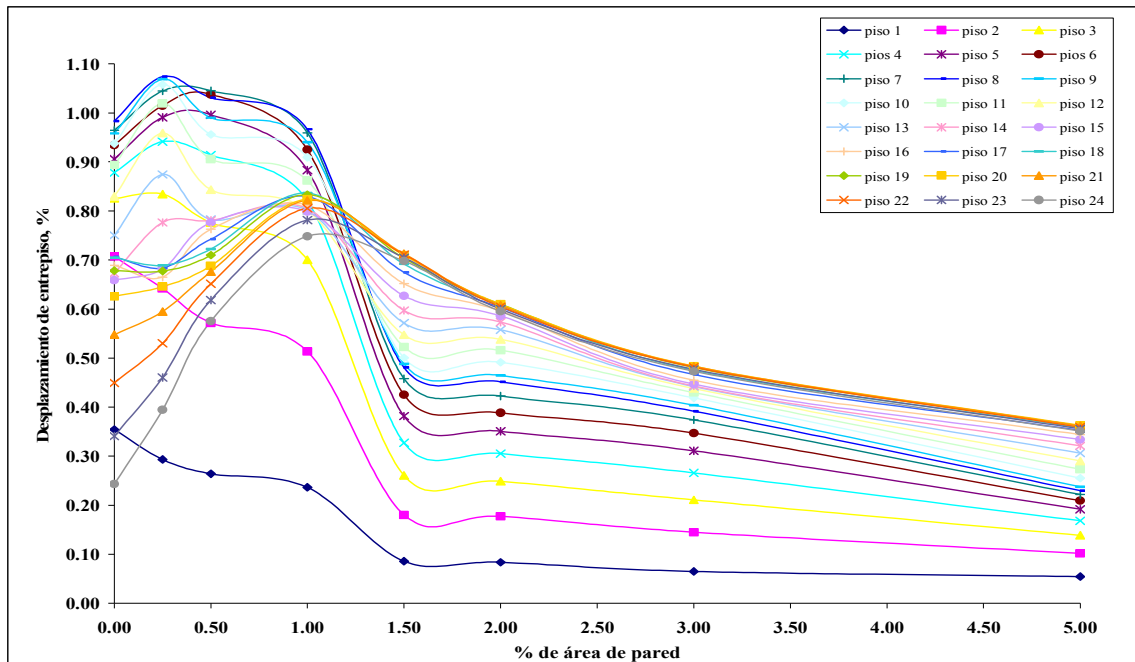


Figura 5.47. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

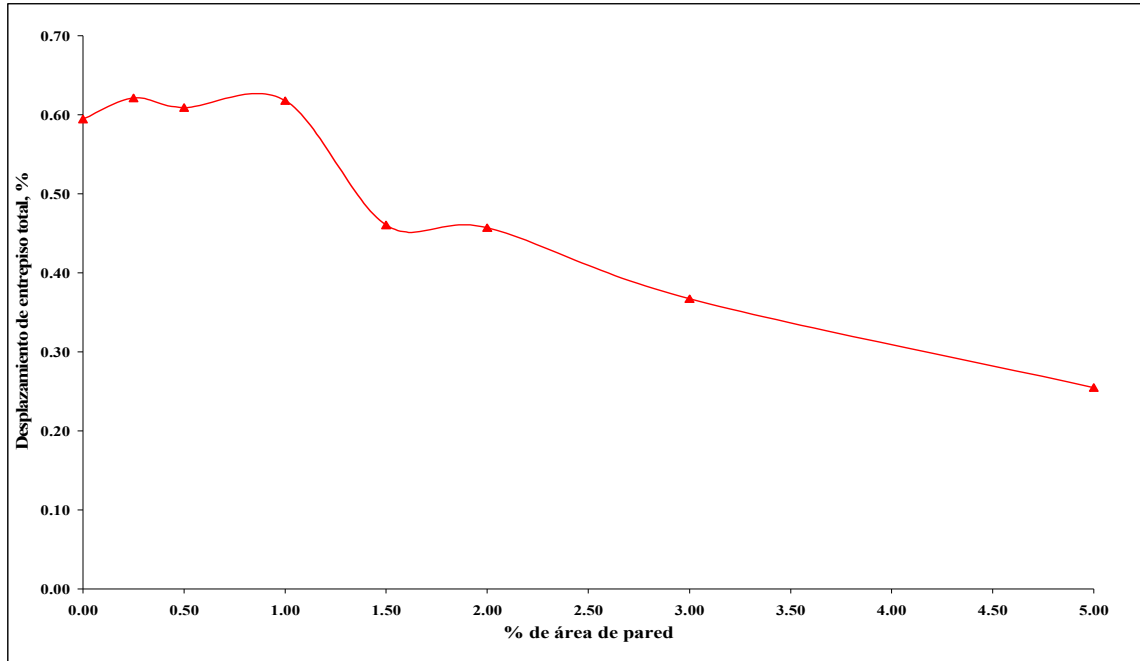


Figura 5.48. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

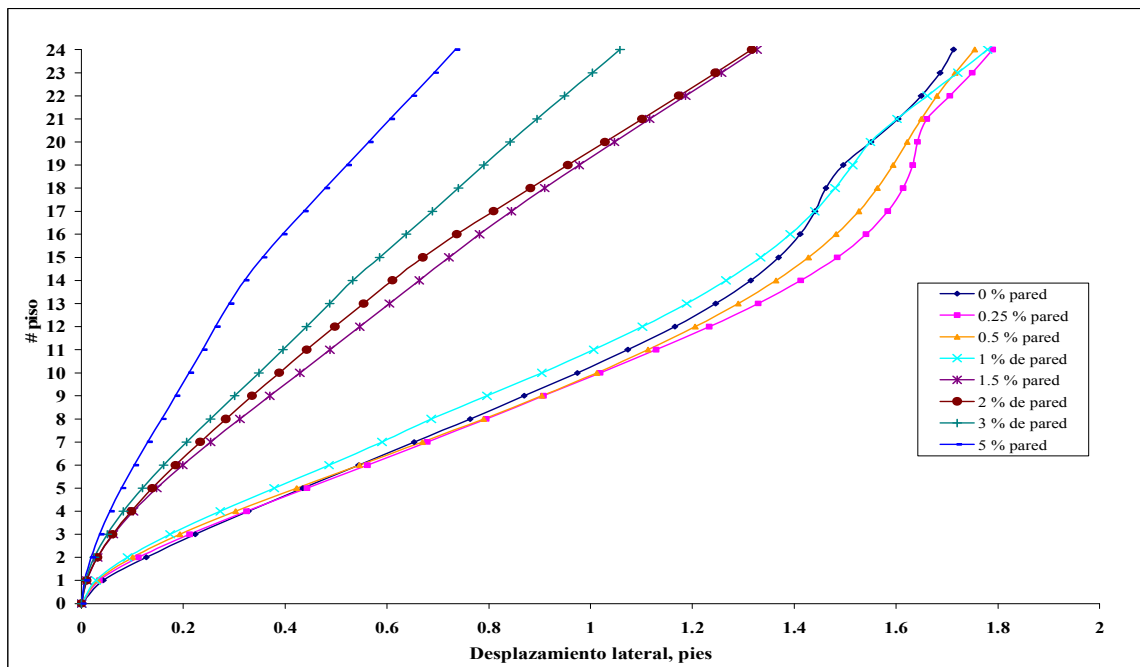


Figura 5.49. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos, altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.21 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos.
Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepisos, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.2340	0.3694	0.6235	0.6799	0.6799	0.6076	0.6818	0.3960
29	0.2990	0.4203	0.6503	0.6865	0.6865	0.6131	0.6881	0.4004
28	0.3777	0.4776	0.6717	0.6923	0.6923	0.6183	0.6940	0.4043
27	0.4568	0.5385	0.6939	0.6978	0.6978	0.6230	0.6989	0.4082
26	0.5284	0.5976	0.7138	0.7018	0.7018	0.6265	0.7023	0.4116
25	0.5880	0.6504	0.7297	0.7039	0.7039	0.6288	0.7035	0.4145
24	0.6330	0.6943	0.7408	0.7039	0.7039	0.6289	0.7025	0.4164
23	0.6628	0.7274	0.7472	0.6997	0.6997	0.6258	0.6976	0.4174
22	0.6769	0.7595	0.7483	0.6958	0.6958	0.6228	0.6925	0.4173
21	0.6954	0.8225	0.7436	0.6884	0.6884	0.6166	0.6840	0.4158
20	0.7484	0.8809	0.7338	0.6794	0.6794	0.6096	0.6749	0.4131
19	0.7993	0.9310	0.7208	0.6640	0.6640	0.5968	0.6593	0.4090
18	0.8469	0.9707	0.7095	0.6483	0.6483	0.5830	0.6433	0.4036
17	0.8895	0.9985	0.7033	0.6299	0.6299	0.5673	0.6255	0.3964
16	0.9246	1.0134	0.7005	0.6093	0.6093	0.5495	0.6059	0.3891
15	0.9510	1.0154	0.6964	0.5864	0.5864	0.5329	0.5918	0.3804
14	0.9689	1.0053	0.6893	0.5615	0.5615	0.5311	0.5798	0.3709
13	0.9770	0.9826	0.6773	0.5363	0.5363	0.5299	0.5659	0.3601
12	0.9764	0.9491	0.6613	0.5109	0.5109	0.5273	0.5495	0.3485
11	0.9678	0.9090	0.6385	0.4911	0.4911	0.5285	0.5333	0.3341
10	0.9645	0.8701	0.6674	0.4893	0.4893	0.5348	0.5186	0.3284
9	0.9404	0.8489	0.6774	0.4760	0.4760	0.5241	0.4896	0.3100
8	0.9280	0.8856	0.6729	0.4568	0.4568	0.5055	0.4584	0.2871
7	0.9793	0.9105	0.6526	0.4301	0.4301	0.4780	0.4264	0.2644
6	1.0334	0.9203	0.6159	0.3963	0.3963	0.4418	0.3883	0.2388
5	1.0680	0.9064	0.5624	0.3586	0.3586	0.3959	0.3435	0.2100
4	1.0695	0.8523	0.4959	0.3128	0.3128	0.3403	0.2929	0.1779
3	1.0055	0.7441	0.4164	0.2555	0.2555	0.2734	0.2340	0.1428
2	0.8133	0.5726	0.3101	0.1849	0.1849	0.1941	0.1649	0.1034
1	0.3705	0.2565	0.1500	0.0949	0.0949	0.0966	0.0810	0.0570
máximo	1.0695	1.0154	0.7483	0.7039	0.7039	0.6289	0.7035	0.4174
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.6900	0.6666	0.5446	0.5082	0.5082	0.4618	0.5172	0.3274

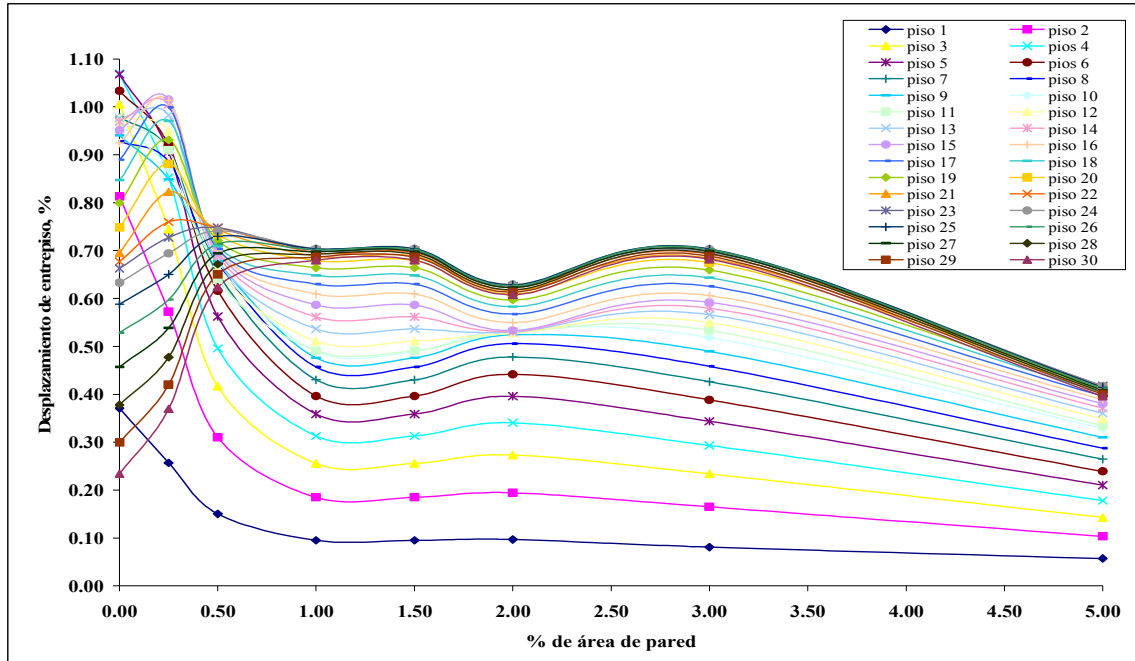


Figura 5.50. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

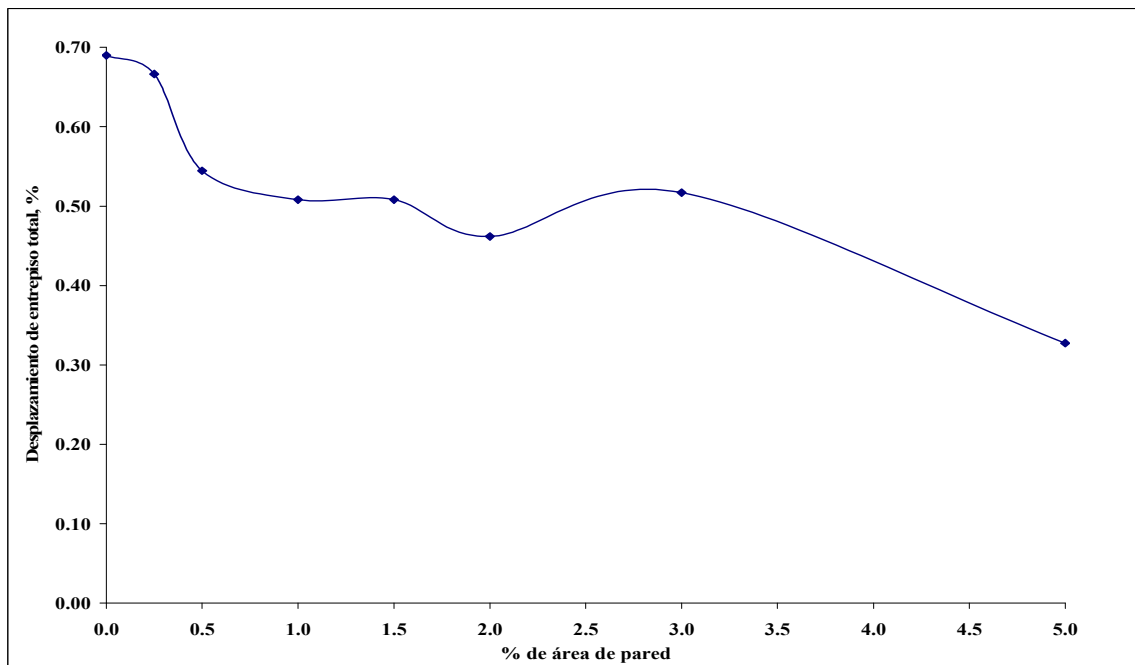


Figura 5.51. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos, altura de piso igual a 8'.

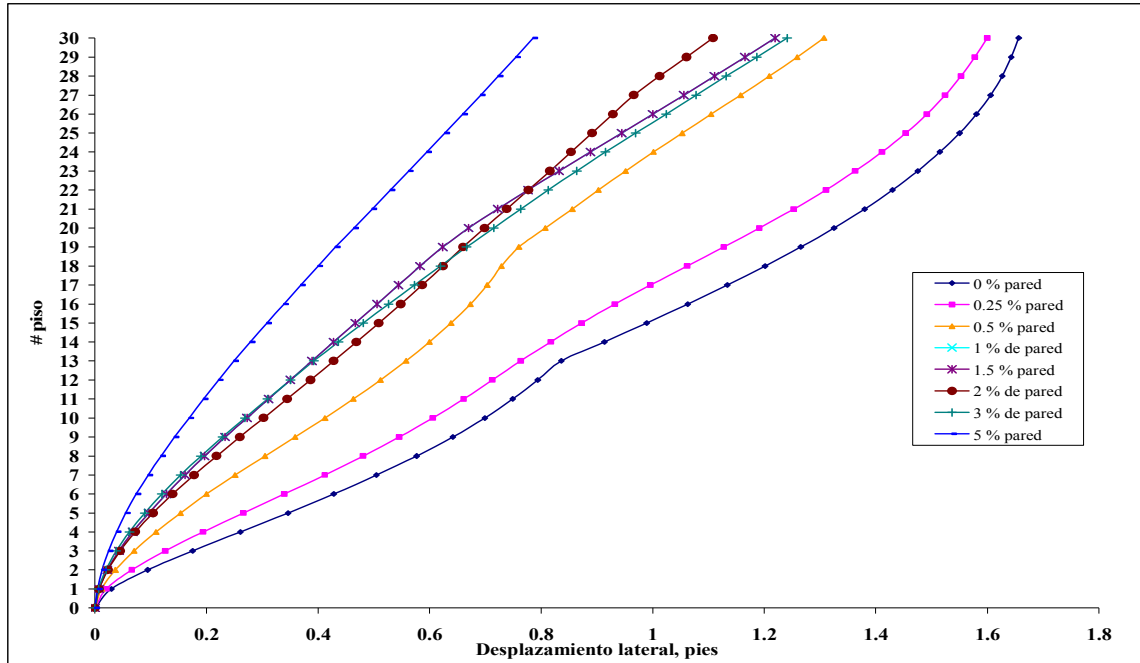


Figura 5.52. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.22 Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos, altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepisos, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.2460	0.1139	0.5166	0.7191	0.7670	0.6615	0.5578	0.3350
29	0.3208	0.1302	0.5525	0.7509	0.7750	0.6678	0.5624	0.3384
28	0.4101	0.1494	0.5847	0.7762	0.7814	0.6730	0.5668	0.3414
27	0.4978	0.1703	0.6173	0.7992	0.7853	0.6771	0.5707	0.3442
26	0.5750	0.1912	0.6463	0.8154	0.7861	0.6790	0.5734	0.3464
25	0.6369	0.2108	0.6694	0.8223	0.7839	0.6780	0.5745	0.3478
24	0.6811	0.2280	0.6848	0.8184	0.7777	0.6737	0.5736	0.3482
23	0.7062	0.2433	0.6956	0.8186	0.7669	0.6661	0.5706	0.3485
22	0.7133	0.2566	0.7002	0.8202	0.7496	0.6532	0.5650	0.3481
21	0.7039	0.2752	0.7071	0.8146	0.7324	0.6414	0.5594	0.3466
20	0.6808	0.2948	0.7258	0.8021	0.7149	0.6281	0.5518	0.3439
19	0.6480	0.3169	0.7616	0.7847	0.6888	0.6078	0.5389	0.3399
18	0.6123	0.3411	0.8051	0.7630	0.6639	0.5877	0.5247	0.3345
17	0.6625	0.3643	0.8481	0.7484	0.6359	0.5660	0.5079	0.3277
16	0.7339	0.3861	0.8867	0.7653	0.6037	0.5413	0.4889	0.3197
15	0.8026	0.4061	0.9166	0.7882	0.5727	0.5242	0.4677	0.3102
14	0.8601	0.4240	0.9398	0.8216	0.5406	0.5105	0.4597	0.2996
13	0.9009	0.4398	0.9544	0.8492	0.5393	0.4975	0.4569	0.2931
12	0.9254	0.4538	0.9621	0.8824	0.5435	0.4858	0.4511	0.2893
11	0.9321	0.4655	0.9649	0.9199	0.5452	0.4763	0.4448	0.2839
10	0.9393	0.4825	0.9783	0.9697	0.5518	0.4704	0.4392	0.2814
9	0.9142	0.4951	0.9822	1.0052	0.5437	0.4540	0.4235	0.2696
8	0.8814	0.5100	0.9825	1.0250	0.5295	0.4320	0.4028	0.2550
7	0.8478	0.5177	0.9685	1.0219	0.5068	0.4035	0.3788	0.2371
6	0.8249	0.5160	0.9358	0.9915	0.4749	0.3684	0.3484	0.2157
5	0.8059	0.5003	0.8741	0.9265	0.4308	0.3261	0.3122	0.1920
4	0.7795	0.4675	0.7844	0.8283	0.3752	0.2762	0.2689	0.1645
3	0.7223	0.4064	0.6547	0.6841	0.3048	0.2178	0.2149	0.1338
2	0.6006	0.3059	0.4813	0.4931	0.2171	0.1506	0.1504	0.0975
1	0.2804	0.1360	0.2212	0.2279	0.1050	0.0731	0.0707	0.0528
máximo	0.9393	0.5177	0.9825	1.0250	0.7861	0.6790	0.5745	0.3485
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.5644	0.3218	0.6280	0.5742	0.4903	0.4386	0.4091	0.2661

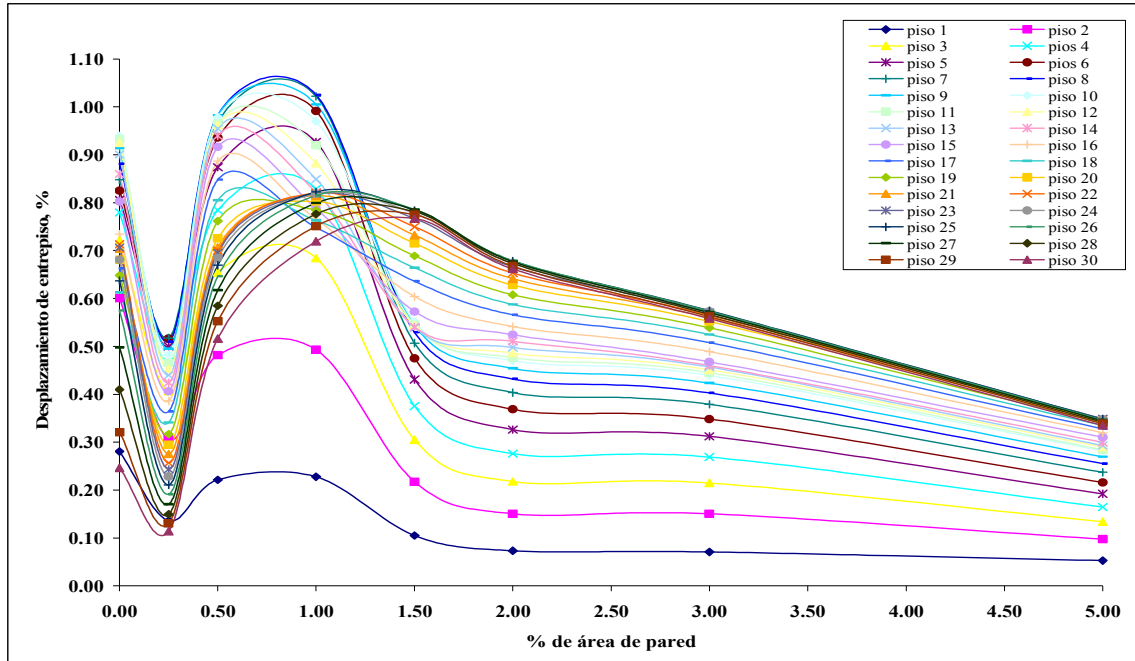


Figura 5.53. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

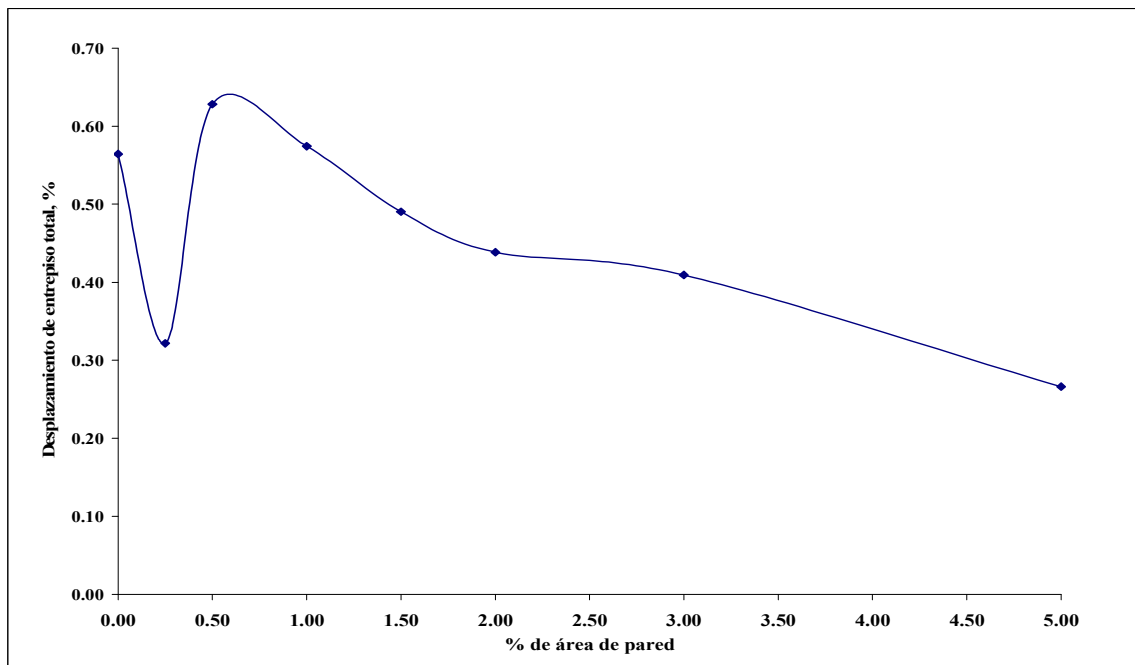


Figura 5.54. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

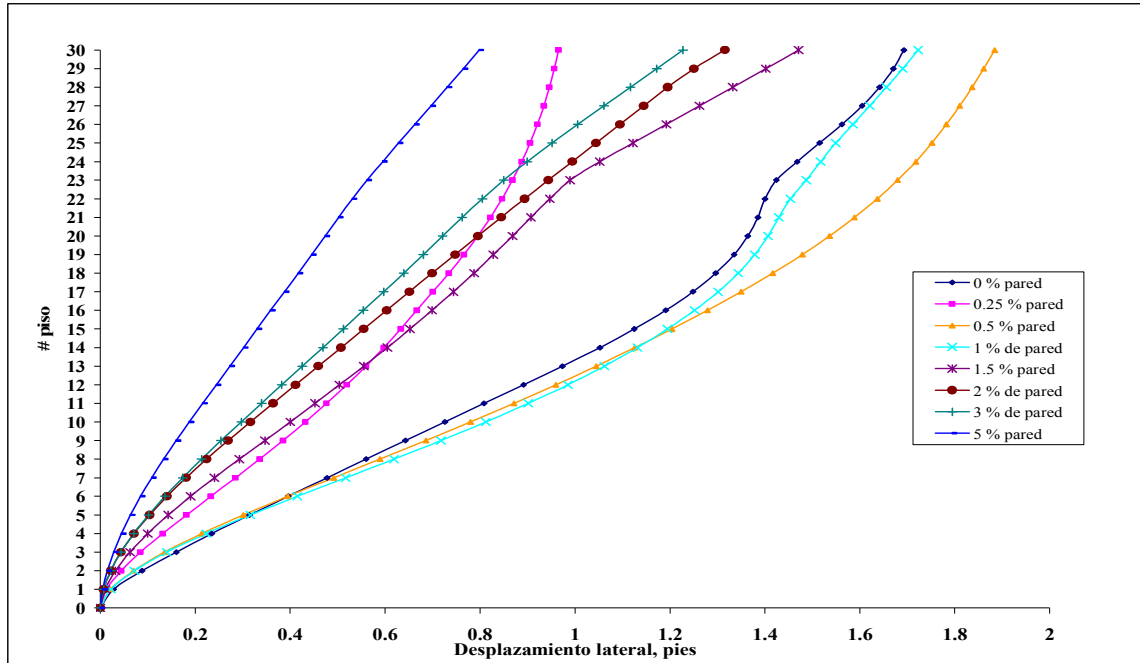


Figura 5.55. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.23 Registro de Mayagüez/Ponce.Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos.
Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepisos, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.1652	0.2880	0.4518	0.4975	1.1364	0.8317	0.8397	0.4504
29	0.2283	0.3379	0.4837	0.5190	1.1476	0.8401	0.8467	0.4545
28	0.3011	0.3909	0.5118	0.5368	1.1564	0.8458	0.8528	0.4583
27	0.3691	0.4395	0.5381	0.5529	1.1613	0.8477	0.8575	0.4620
26	0.4240	0.4753	0.5583	0.5633	1.1608	0.8508	0.8595	0.4648
25	0.4617	0.4928	0.5698	0.5666	1.1534	0.8516	0.8593	0.4667
24	0.4796	0.4913	0.5713	0.5615	1.1387	0.8497	0.8564	0.4671
23	0.4778	0.4938	0.5624	0.5478	1.1160	0.8451	0.8500	0.4662
22	0.4708	0.4818	0.5439	0.5460	1.0857	0.8368	0.8396	0.4635
21	0.4986	0.5055	0.5175	0.5549	1.0480	0.8254	0.8278	0.4590
20	0.5549	0.5641	0.4876	0.5671	1.0037	0.8114	0.8135	0.4528
19	0.6069	0.6172	0.4703	0.5801	0.9543	0.7964	0.7978	0.4446
18	0.6494	0.6599	0.5118	0.5910	0.9018	0.7830	0.7792	0.4346
17	0.6790	0.6897	0.5494	0.5975	0.8513	0.7718	0.7574	0.4228
16	0.6922	0.7033	0.5778	0.5986	0.8153	0.7599	0.7337	0.4094
15	0.6867	0.6988	0.5956	0.5933	0.7868	0.7446	0.7056	0.3944
14	0.6609	0.6754	0.6021	0.5815	0.7611	0.7249	0.6738	0.3781
13	0.6150	0.6341	0.5986	0.5760	0.7364	0.7021	0.6409	0.3604
12	0.5944	0.5780	0.5847	0.5764	0.7113	0.6747	0.6048	0.3470
11	0.5708	0.5367	0.5614	0.5688	0.6862	0.6435	0.5699	0.3400
10	0.5400	0.5098	0.5353	0.5720	0.6658	0.6291	0.5585	0.3357
9	0.4828	0.4726	0.5086	0.5665	0.6453	0.6159	0.5453	0.3219
8	0.4550	0.4856	0.5005	0.5506	0.6393	0.5927	0.5231	0.3085
7	0.5538	0.5466	0.4928	0.5420	0.6259	0.5594	0.4924	0.2921
6	0.6592	0.5926	0.4800	0.5288	0.5993	0.5154	0.4528	0.2710
5	0.7486	0.6153	0.4602	0.4978	0.5538	0.4601	0.4033	0.2440
4	0.8069	0.6044	0.4454	0.4528	0.4879	0.4059	0.3454	0.2105
3	0.8044	0.5465	0.3944	0.3797	0.4000	0.3323	0.2768	0.1701
2	0.6863	0.4228	0.3008	0.2740	0.2856	0.2367	0.1929	0.1218
1	0.3278	0.1910	0.1433	0.1235	0.1349	0.1116	0.0879	0.0622
máximo	0.8069	0.7033	0.6021	0.5986	1.1613	0.8516	0.8595	0.4671
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.3064	0.3203	0.3830	0.4468	0.6837	0.6156	0.5913	0.3407

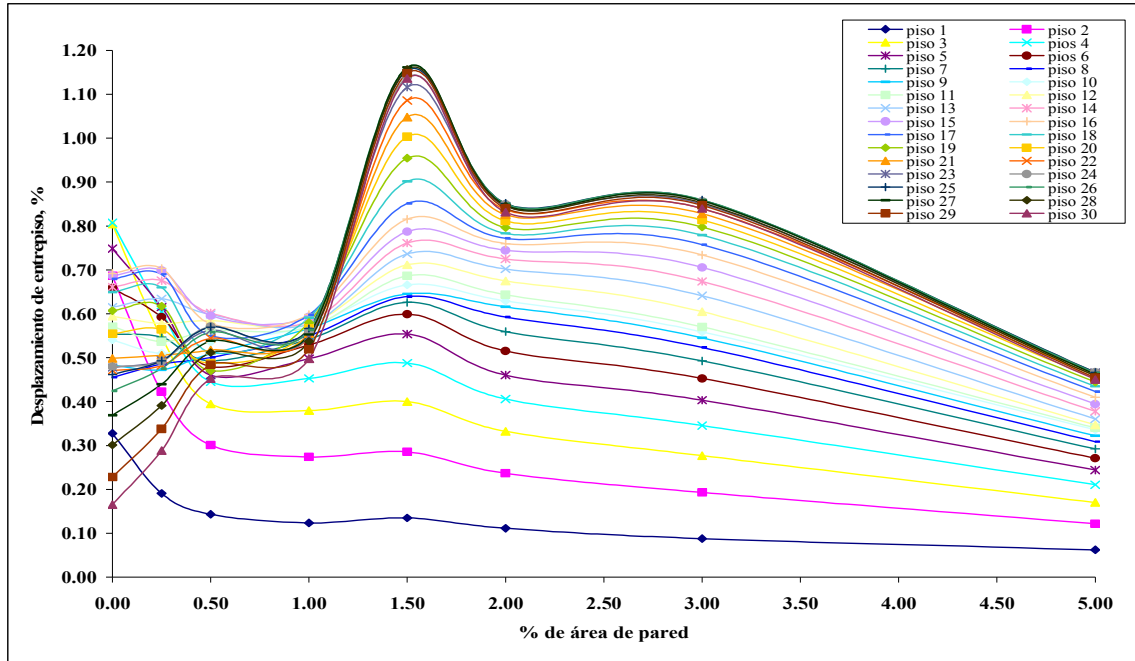


Figura 5.56. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

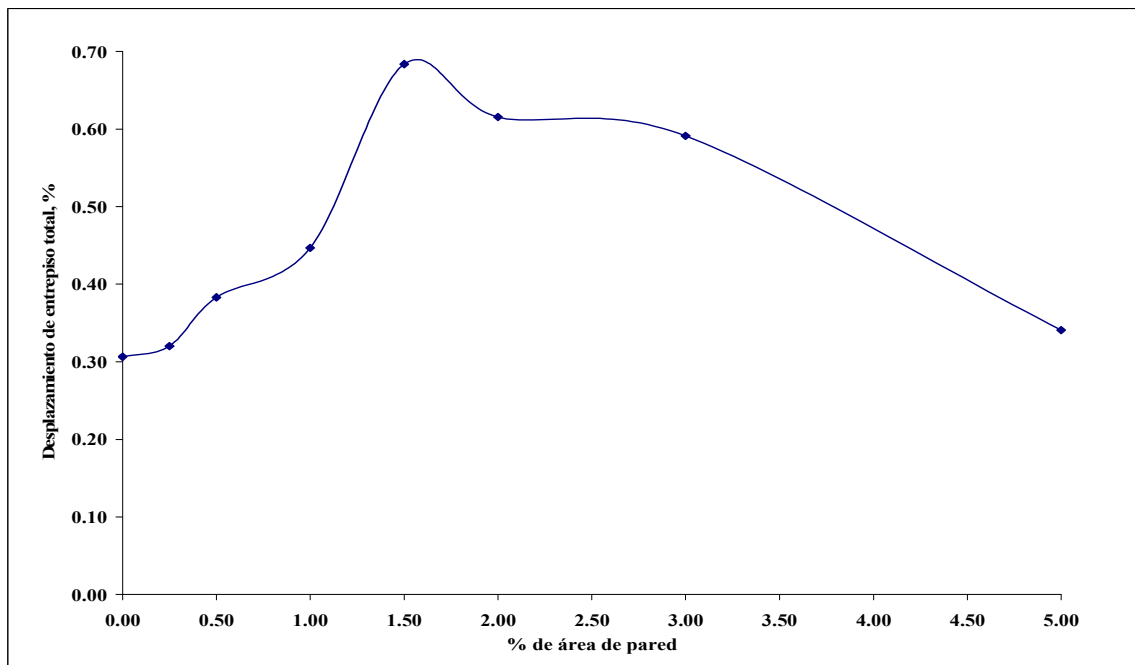


Figura 5.57. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

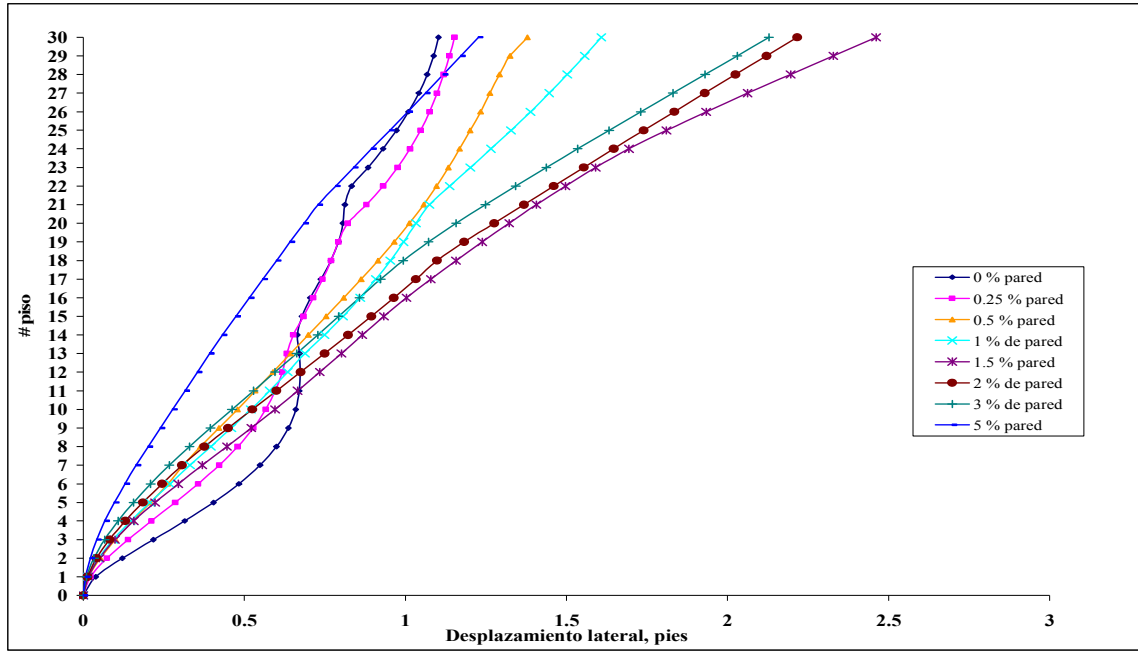


Figura 5.58. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.24 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	0.18800	0.08725	0.02950	0.01600	0.00663	0.00625	0.00400	0.00114
2	0.31513	0.08988	0.03188	0.01688	0.00782	0.00731	0.00480	0.00166
1	0.39938	0.06288	0.02813	0.01400	0.00768	0.00731	0.00483	0.00207
máximo	0.39938	0.08988	0.03188	0.01688	0.00782	0.00731	0.00483	0.00207
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.29788	0.07892	0.02983	0.01563	0.00738	0.00557	0.00454	0.00162

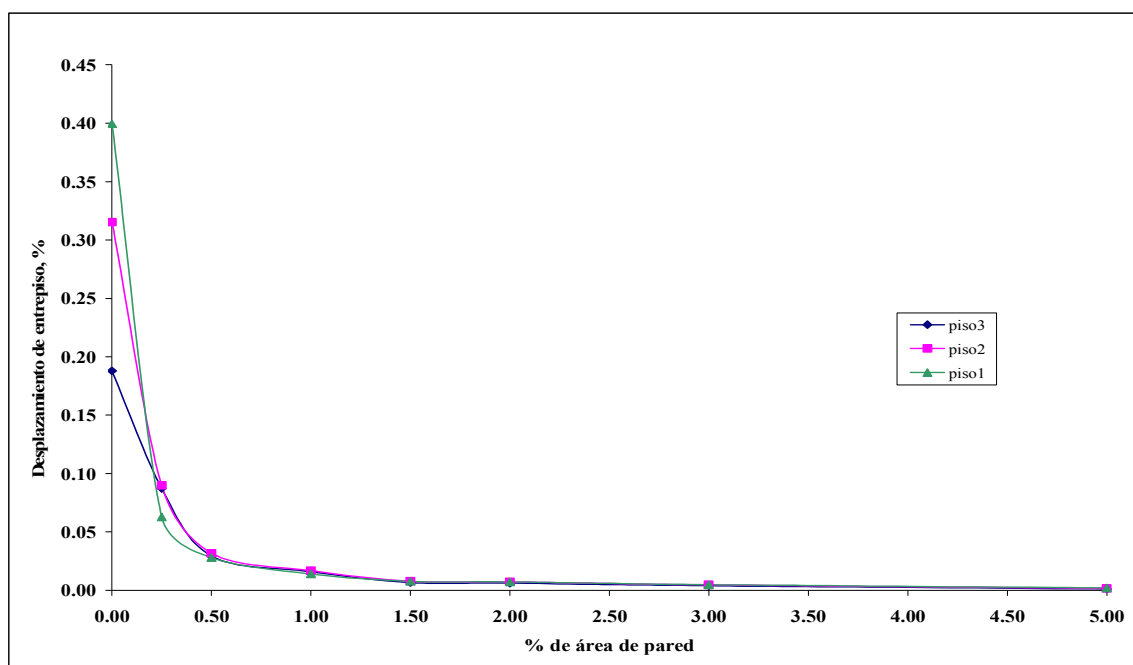


Figura 5.59. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

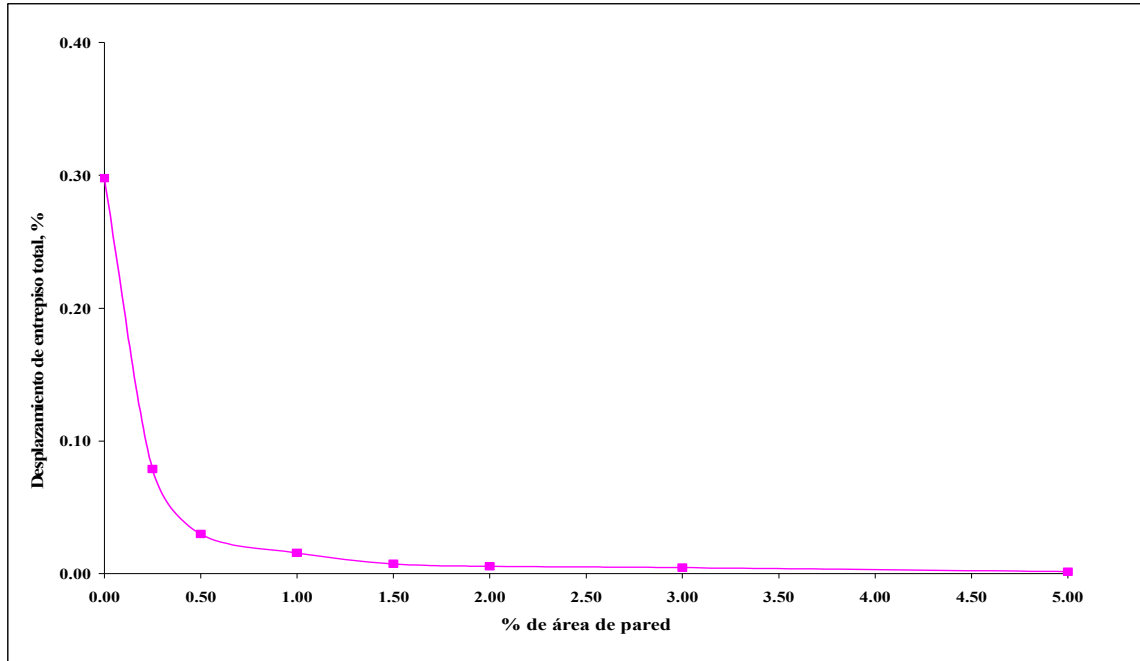


Figura 5.60. Registro de San Juan Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

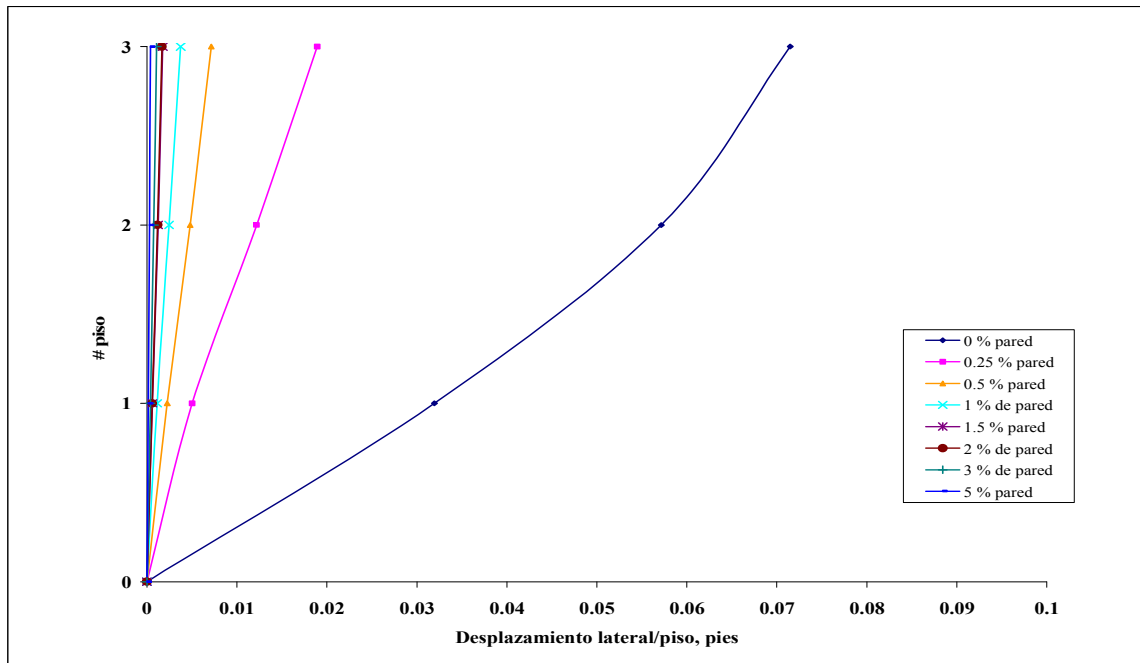


Figura 5.61. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.25 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	0.15220	0.16100	0.04890	0.02360	0.00820	0.00670	0.00580	0.00298
2	0.26530	0.14960	0.04950	0.02430	0.00914	0.00744	0.00649	0.00394
1	0.35070	0.09620	0.03820	0.01890	0.00816	0.00676	0.00591	0.00439
máximo	0.35070	0.16100	0.04950	0.02430	0.00914	0.00744	0.00649	0.00439
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.24903	0.13440	0.04550	0.02227	0.00850	0.00697	0.00607	0.00377

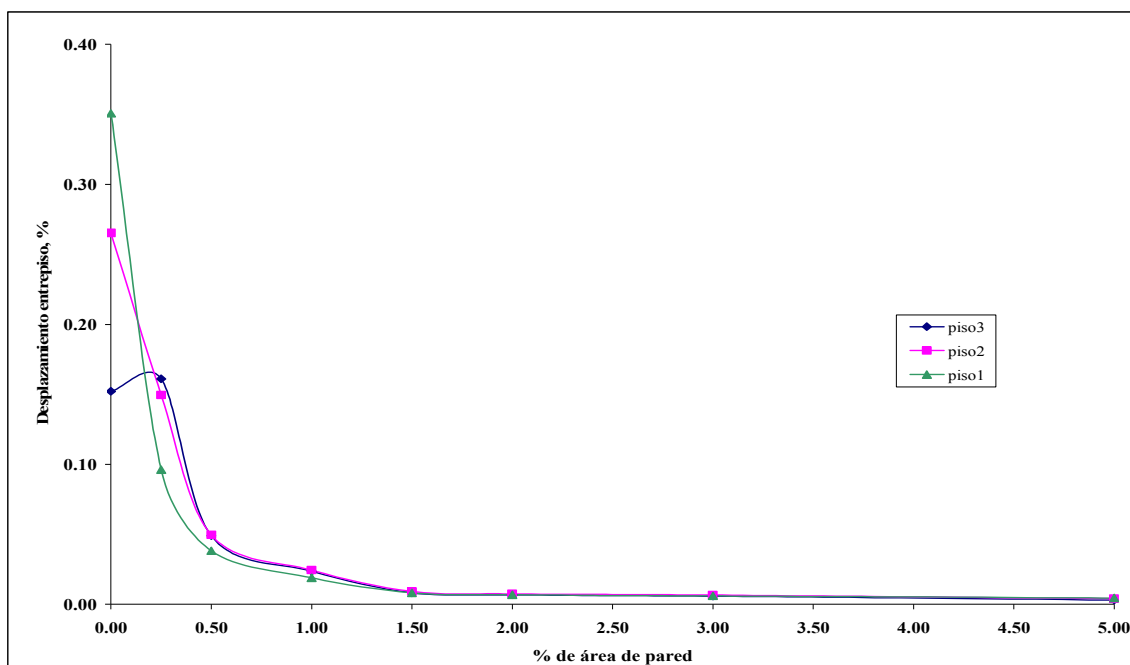


Figura 5.62. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

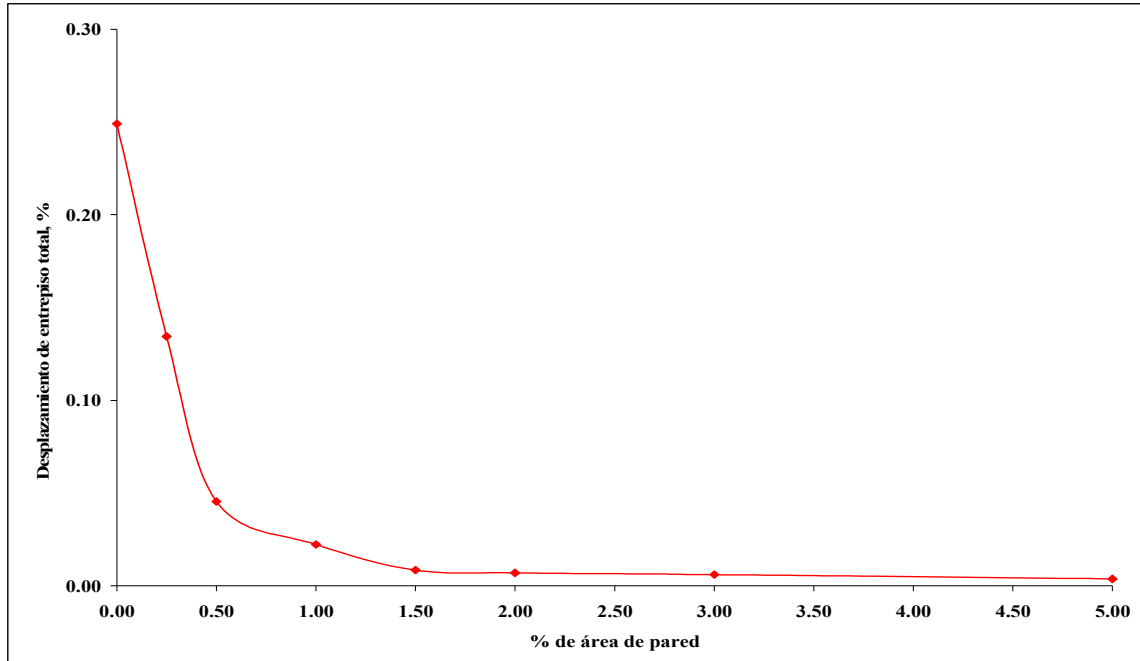


Figura 5.63. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

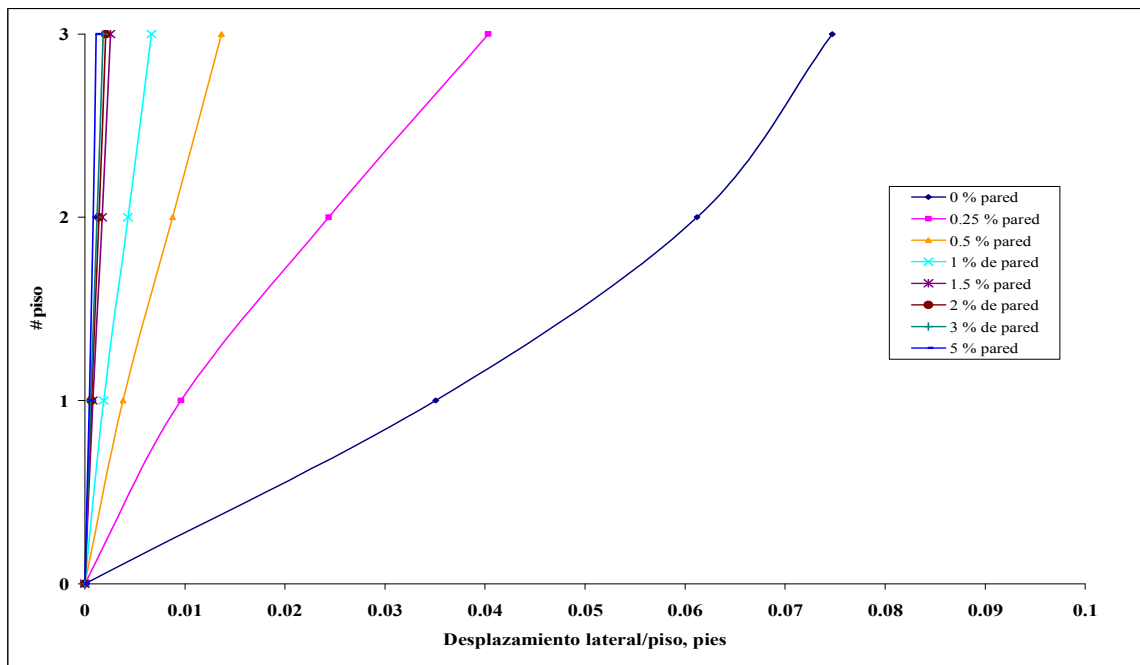


Figura 5.64. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.26 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
3	0.14925	0.18675	0.06292	0.03658	0.01017	0.01058	0.00725	0.00400
2	0.25808	0.17583	0.06025	0.03558	0.01083	0.01142	0.00785	0.00500
1	0.37575	0.10833	0.04025	0.02450	0.00900	0.00958	0.00657	0.00516
máximo	0.3758	0.1868	0.0629	0.0366	0.0108	0.0114	0.0078	0.0052
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.2584	0.1570	0.0545	0.0322	0.0100	0.0105	0.0072	0.0047

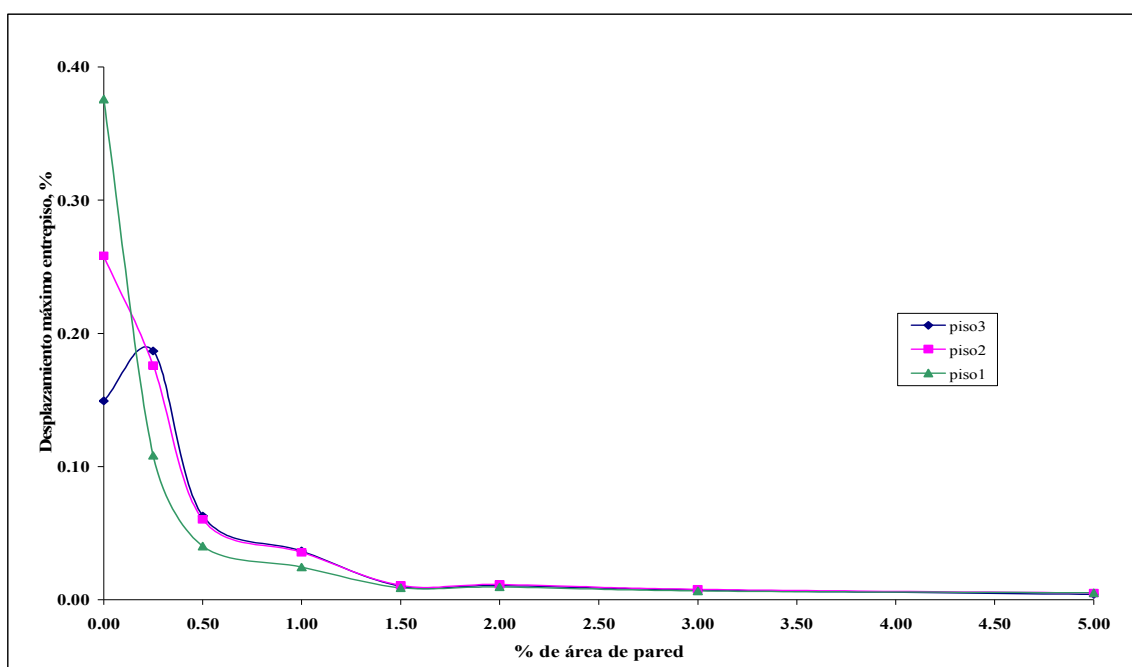


Figura 5.65. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

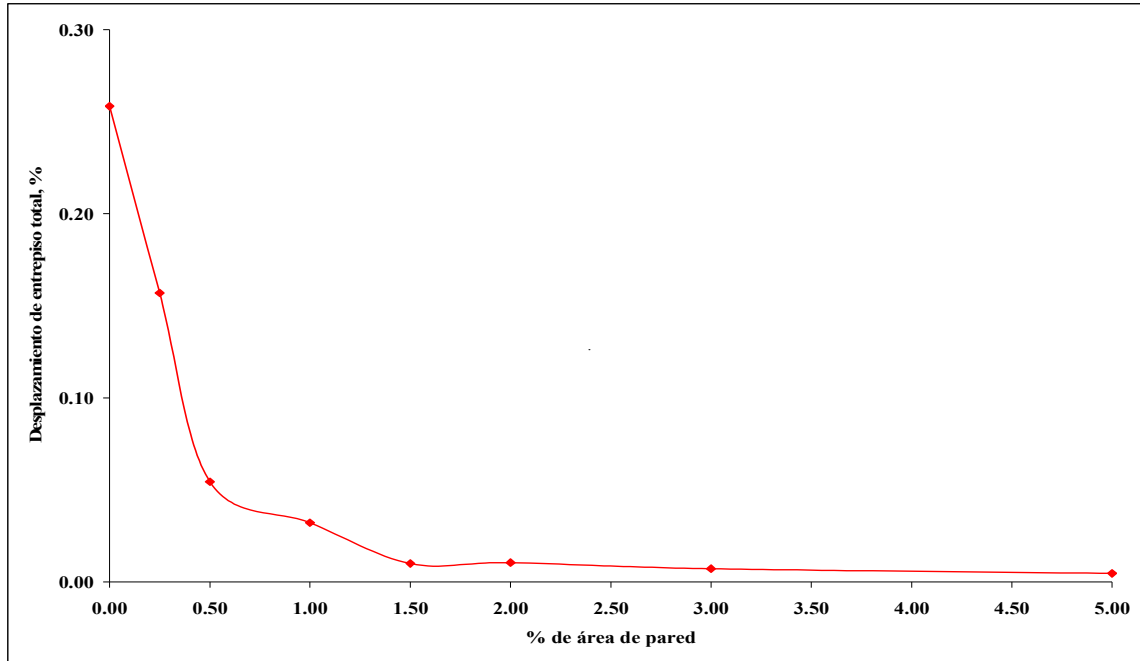


Figura 5.66. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

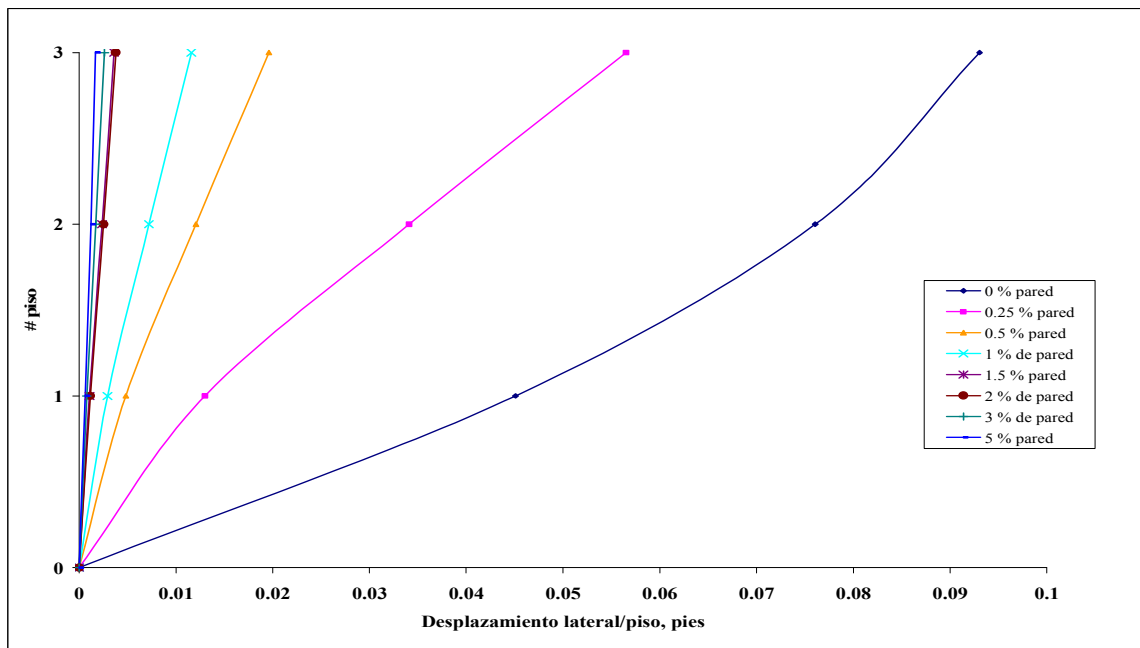


Figura 5.67. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 3 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.27 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.0680	0.1296	0.1451	0.1095	0.0528	0.0514	0.0364	0.0133
7	0.1159	0.1494	0.1565	0.1150	0.0553	0.0539	0.0381	0.0146
6	0.1624	0.1624	0.1618	0.1174	0.0571	0.0554	0.0389	0.0155
5	0.1966	0.1679	0.1609	0.1159	0.0575	0.0558	0.0384	0.0161
4	0.2148	0.1628	0.1513	0.1091	0.0560	0.0543	0.0363	0.0160
3	0.2301	0.1533	0.1325	0.0963	0.0548	0.0526	0.0339	0.0168
2	0.2134	0.1290	0.1043	0.0761	0.0446	0.0421	0.0260	0.0144
1	0.1321	0.0735	0.0648	0.0454	0.0273	0.0249	0.0154	0.0101
máximo	0.2301	0.1679	0.1618	0.1174	0.0575	0.0558	0.0389	0.0168
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1645	0.1376	0.1342	0.0980	0.0504	0.0488	0.0328	0.0145

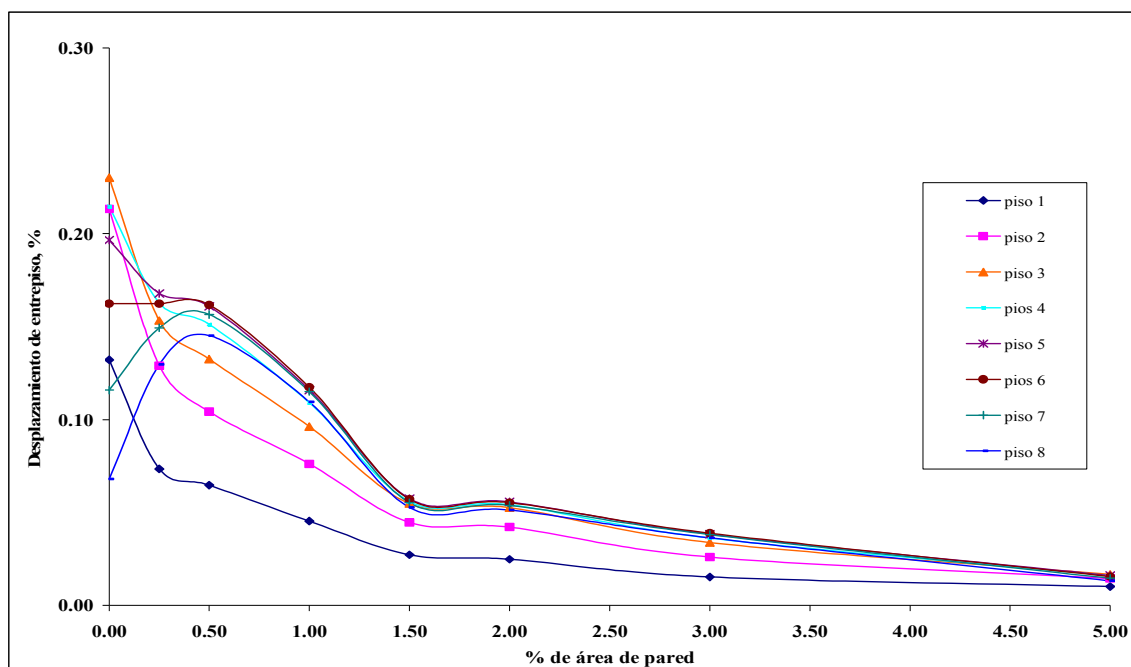


Figura 5.68. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

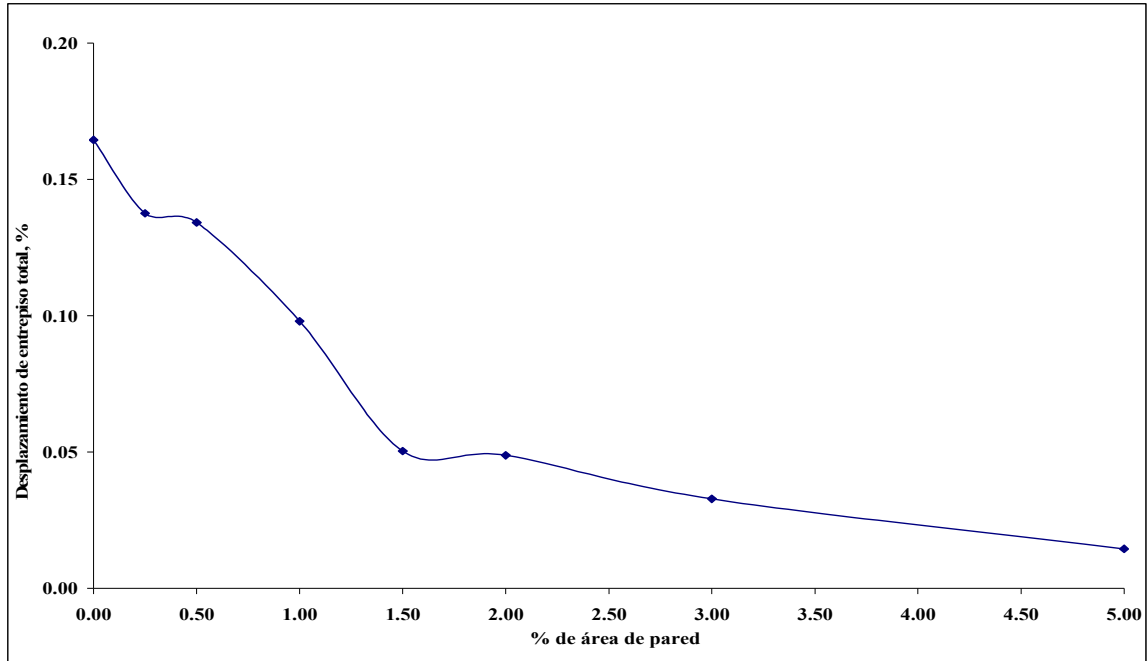


Figura 5.69. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

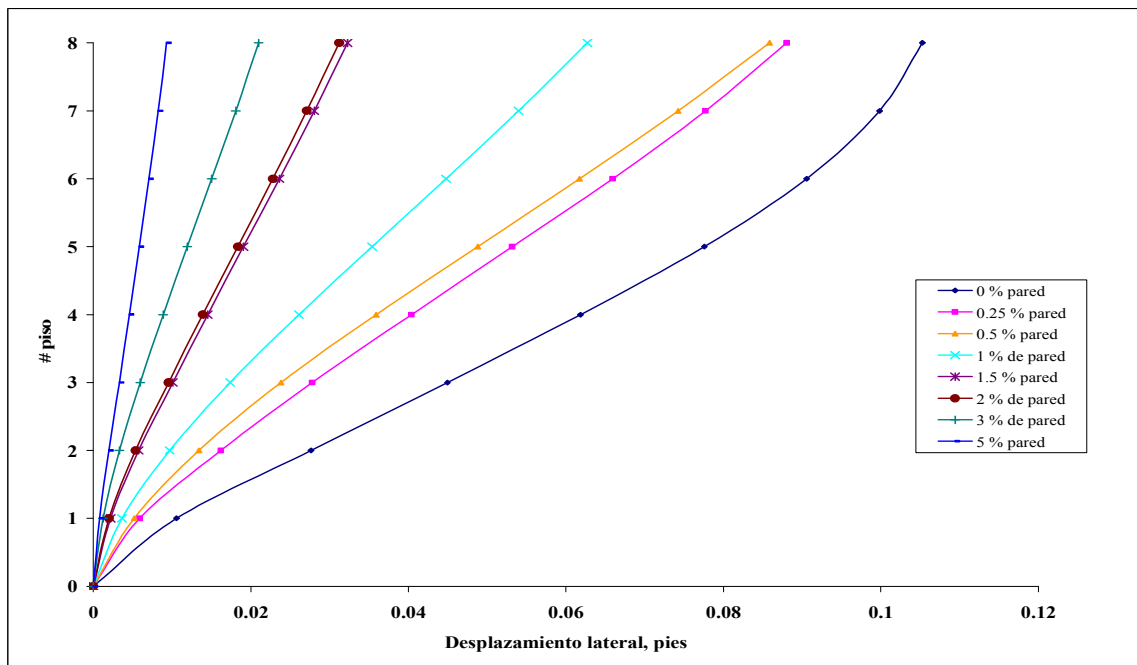


Figura 5.70. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.28 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.0818	0.1273	0.1296	0.1238	0.0785	0.0737	0.0642	0.0215
7	0.1311	0.1444	0.1380	0.1282	0.0812	0.0760	0.0664	0.0229
6	0.1594	0.1546	0.1406	0.1272	0.0820	0.0768	0.0672	0.0240
5	0.1883	0.1595	0.1373	0.1203	0.0804	0.0750	0.0656	0.0243
4	0.2234	0.1596	0.1269	0.1077	0.0758	0.0703	0.0617	0.0237
3	0.2669	0.1694	0.1150	0.0955	0.0695	0.0653	0.0568	0.0236
2	0.2747	0.1477	0.0952	0.0725	0.0528	0.0499	0.0437	0.0193
1	0.1744	0.0814	0.0543	0.0378	0.0289	0.0275	0.0239	0.0123
máximo	0.2747	0.1694	0.1406	0.1282	0.0820	0.0768	0.0672	0.0243
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1816	0.1313	0.1121	0.0975	0.0684	0.0636	0.0556	0.0214

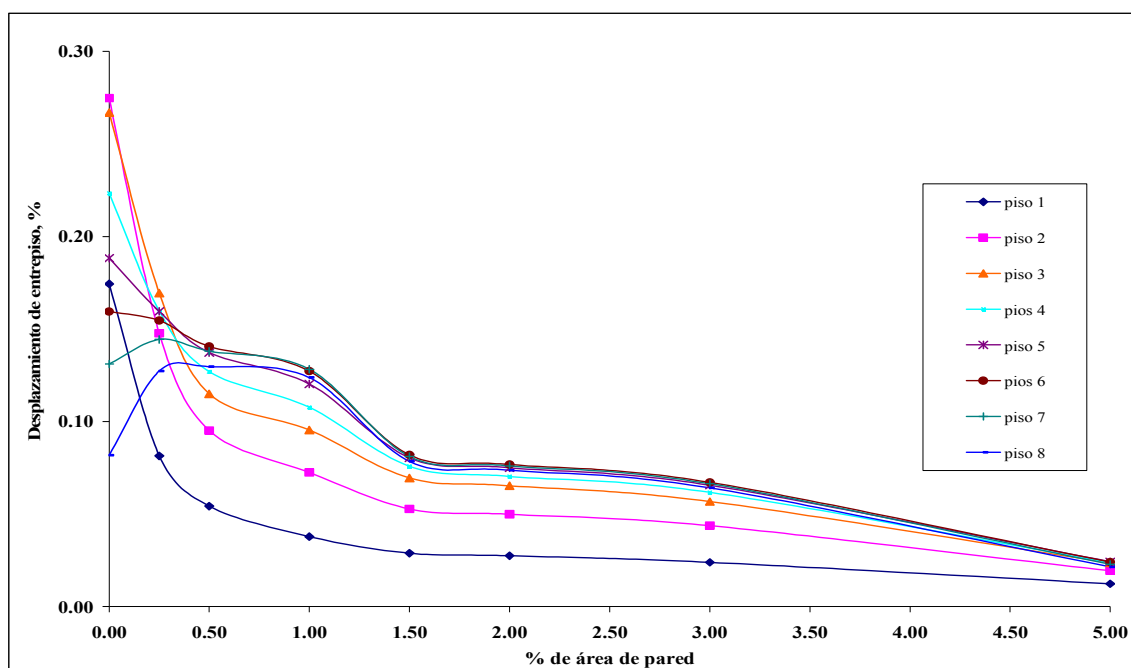


Figura 5.71. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

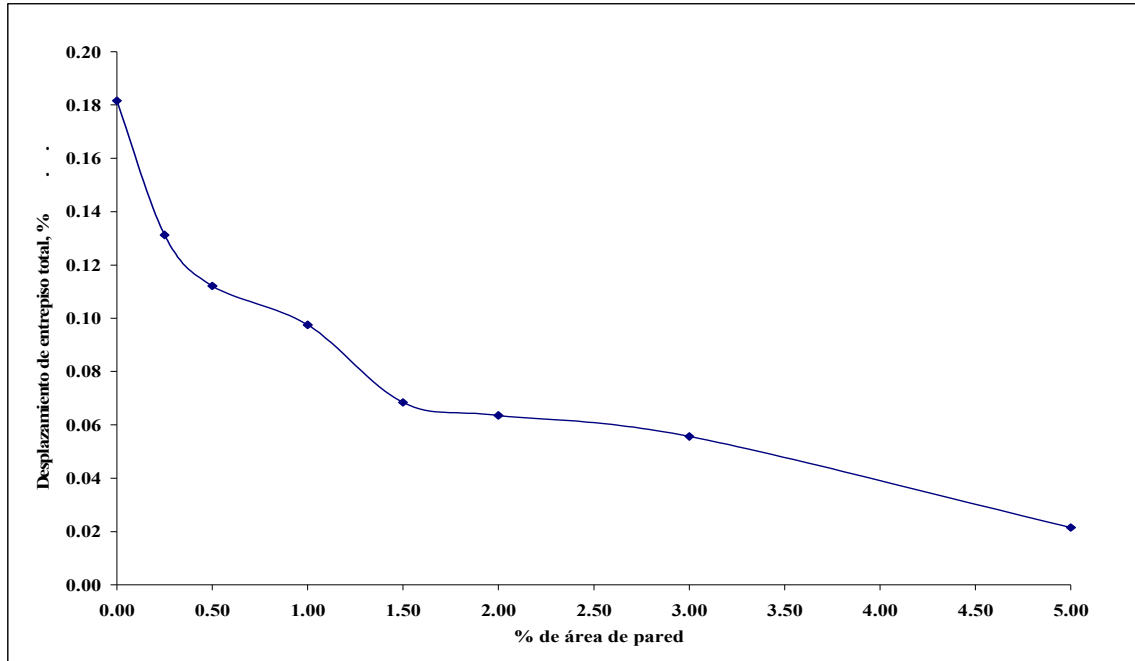


Figura 5.72. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

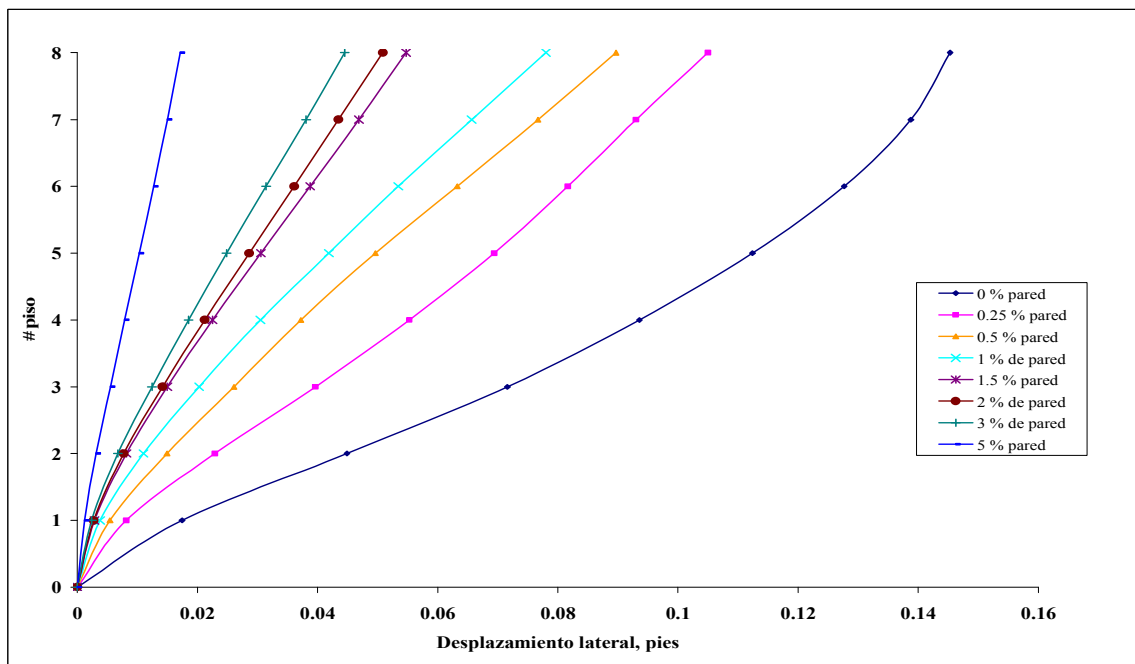


Figura 5.73. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.29 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
8	0.2446	0.6485	0.8157	0.5675	0.2628	0.2395	0.1808	0.0861
7	0.3881	0.7183	0.8671	0.5873	0.2693	0.2455	0.1854	0.0907
6	0.4860	0.7923	0.9010	0.5920	0.2707	0.2463	0.1855	0.0941
5	0.5196	0.8633	0.9098	0.5758	0.2642	0.2414	0.1791	0.0953
4	0.6166	0.9396	0.8823	0.5318	0.2479	0.2305	0.1688	0.0933
3	0.8047	0.9698	0.7940	0.4591	0.2233	0.2126	0.1533	0.0915
2	0.8355	0.8143	0.6324	0.3558	0.1659	0.1614	0.1146	0.0738
1	0.5393	0.4168	0.3491	0.1868	0.0863	0.0835	0.0583	0.0448
máximo	0.8355	0.9698	0.9098	0.5920	0.2707	0.2463	0.1855	0.0953
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.4718	0.7228	0.7654	0.4789	0.2233	0.2063	0.1515	0.0837

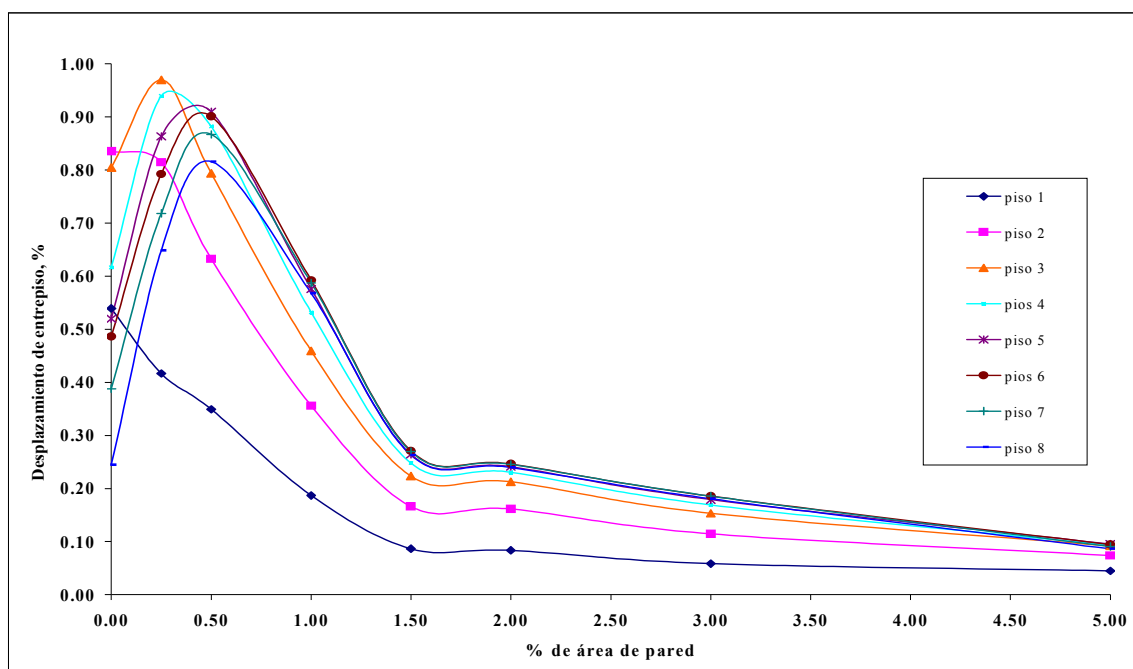


Figura 5.74. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

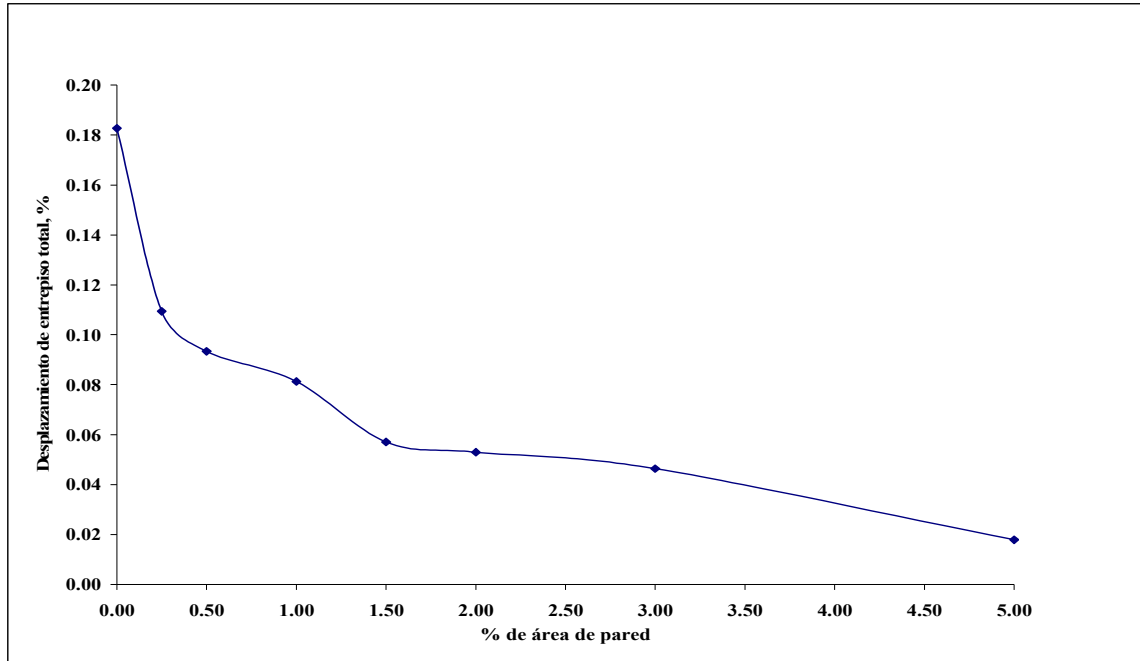


Figura 5.75. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

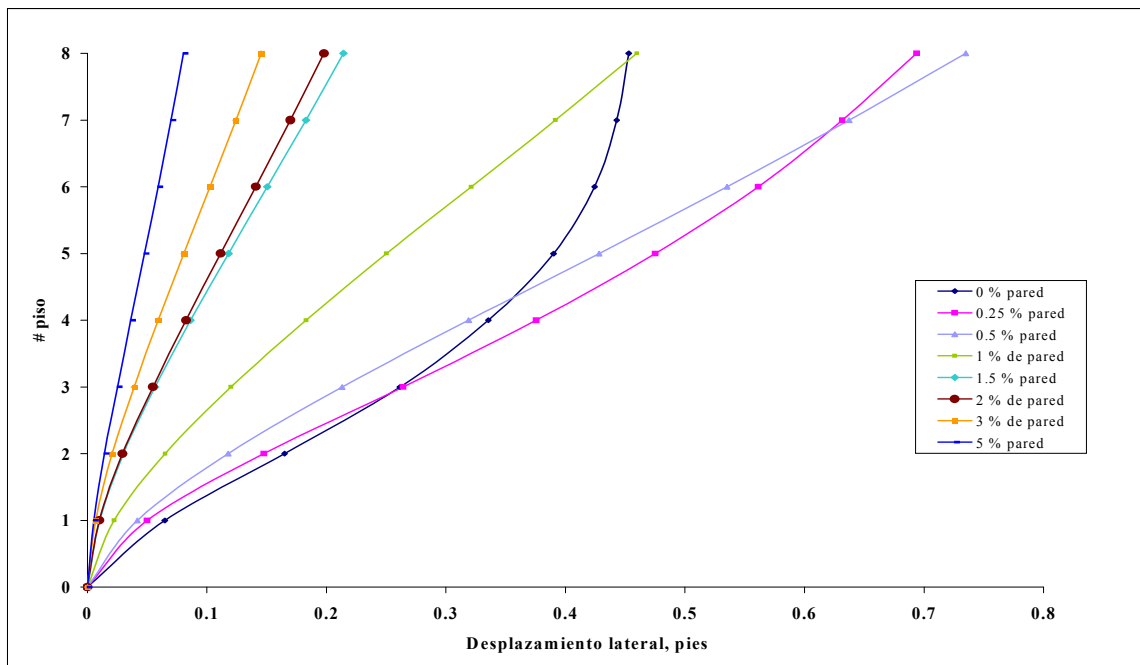


Figura 5.76. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.30 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.0531	0.1204	0.1109	0.1211	0.1098	0.0953	0.0829	0.0339
11	0.0869	0.1370	0.1188	0.1263	0.1124	0.0972	0.0846	0.0353
10	0.1173	0.1489	0.1241	0.1296	0.1141	0.0989	0.0861	0.0364
9	0.1431	0.1666	0.1283	0.1318	0.1151	0.0996	0.0865	0.0376
8	0.1589	0.1829	0.1300	0.1316	0.1145	0.0990	0.0860	0.0383
7	0.1793	0.1948	0.1299	0.1288	0.1124	0.0971	0.0843	0.0388
6	0.1968	0.2053	0.1344	0.1224	0.1083	0.0935	0.0810	0.0384
5	0.2093	0.2145	0.1339	0.1150	0.1020	0.0883	0.0764	0.0374
4	0.2333	0.2206	0.1343	0.1094	0.0961	0.0829	0.0715	0.0380
3	0.2394	0.2011	0.1224	0.0931	0.0799	0.0688	0.0594	0.0334
2	0.2261	0.1665	0.0981	0.0696	0.0588	0.0505	0.0434	0.0269
1	0.1335	0.0868	0.0550	0.0355	0.0313	0.0268	0.0230	0.0174
máximo	0.2394	0.2206	0.1344	0.1318	0.1151	0.0996	0.0865	0.0388
Desplazamiento Total, %	0.1598	0.1599	0.1083	0.1054	0.0962	0.0831	0.0721	0.0343

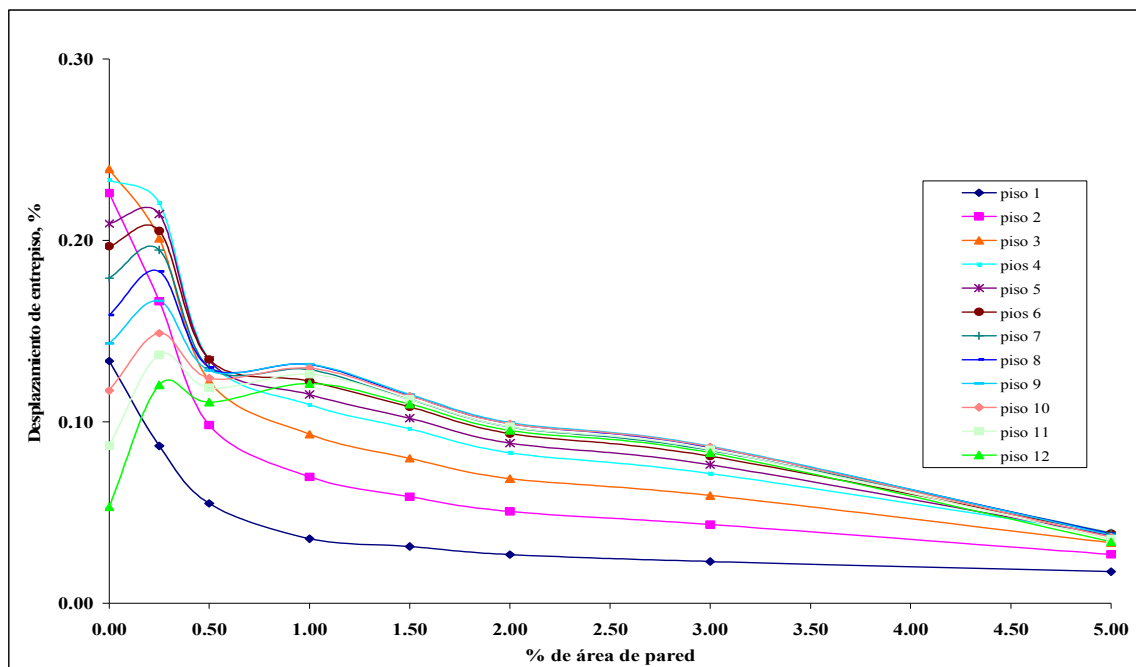


Figura 5.77. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

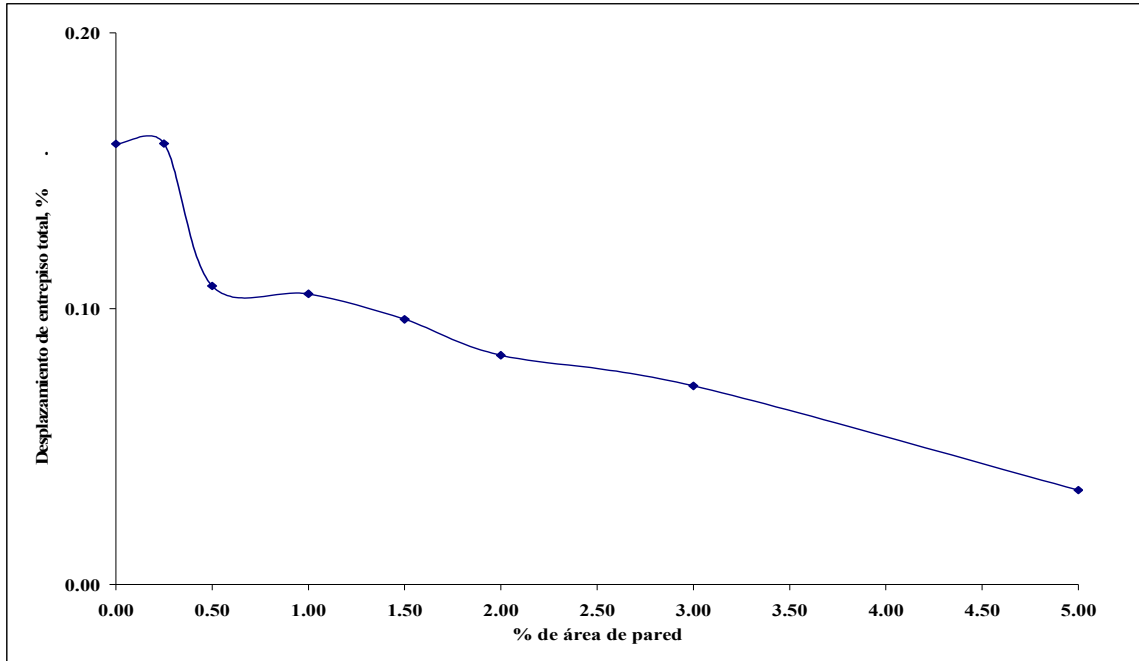


Figura 5.78. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

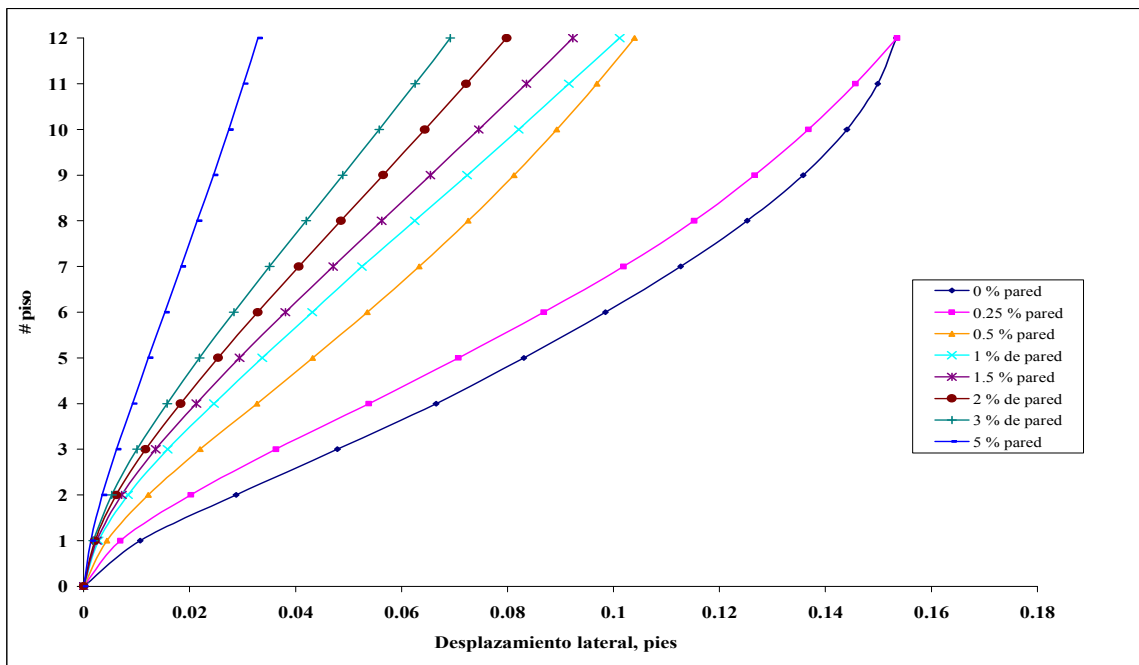


Figura 5.79. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.31 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.0872	0.1456	0.1525	0.1546	0.0905	0.0971	0.0918	0.0580
11	0.1422	0.1668	0.1638	0.1603	0.0923	0.0990	0.0937	0.0598
10	0.1840	0.1832	0.1675	0.1635	0.0930	0.0998	0.0943	0.0612
9	0.2029	0.1930	0.1713	0.1642	0.0925	0.0989	0.0930	0.0622
8	0.2035	0.2010	0.1762	0.1615	0.0902	0.0962	0.0898	0.0623
7	0.2041	0.2113	0.1777	0.1550	0.0863	0.0916	0.0846	0.0614
6	0.2250	0.2327	0.1769	0.1466	0.0807	0.0852	0.0775	0.0595
5	0.2524	0.2567	0.1719	0.1355	0.0756	0.0775	0.0691	0.0565
4	0.2967	0.2780	0.1642	0.1253	0.0726	0.0701	0.0616	0.0542
3	0.3211	0.2665	0.1414	0.1059	0.0620	0.0592	0.0509	0.0458
2	0.3265	0.2172	0.1073	0.0785	0.0465	0.0447	0.0378	0.0347
1	0.2052	0.1114	0.0574	0.0388	0.0245	0.0237	0.0198	0.0200
máximo	0.3265	0.2780	0.1777	0.1642	0.0930	0.0998	0.0943	0.0623
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1695	0.1720	0.1472	0.1270	0.0722	0.0764	0.0699	0.0530

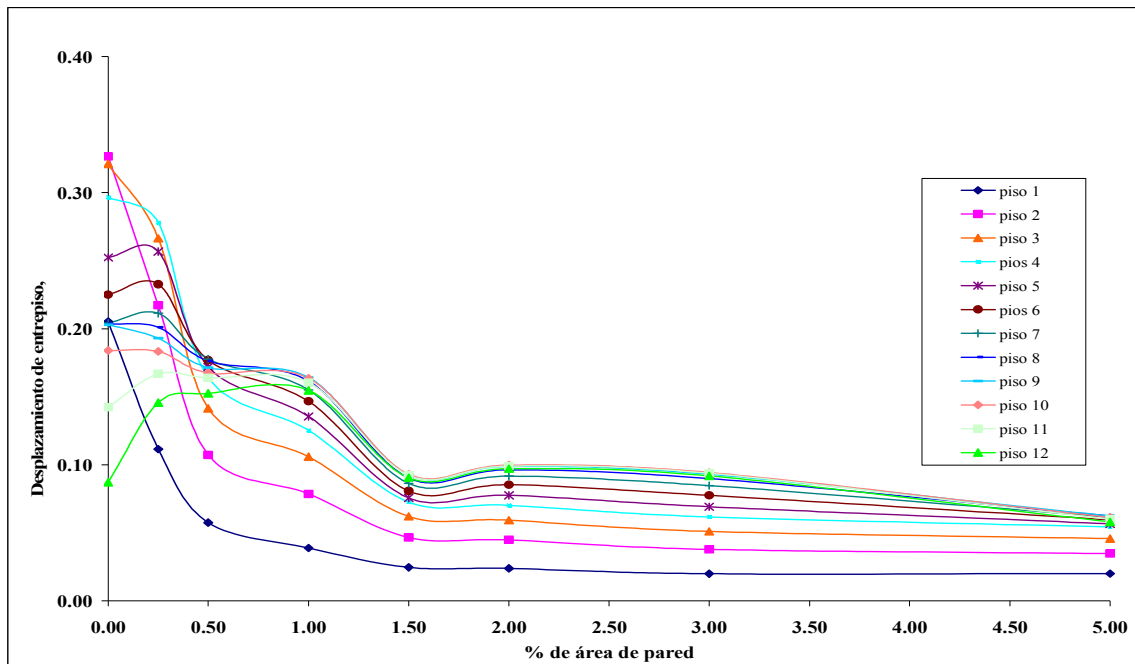


Figura 5.80. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

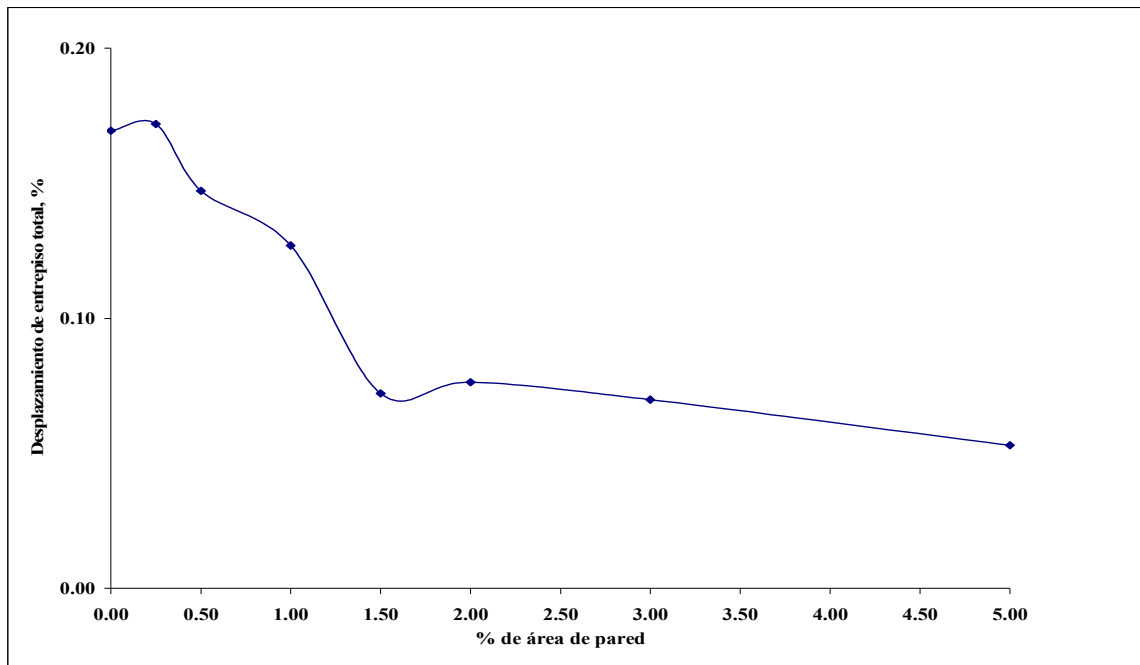


Figura 5.81. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 10'.

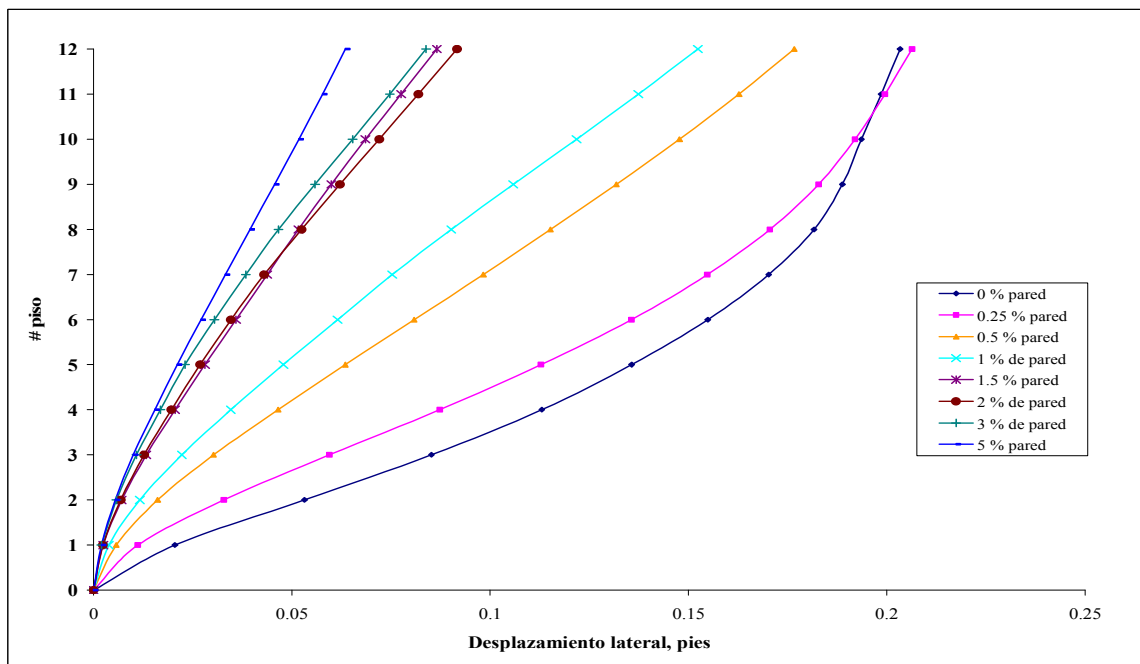


Figura 5.82. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos, altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.32 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
12	0.0546	0.1336	0.1281	0.1432	0.0796	0.0773	0.0806	0.0590
11	0.0909	0.1452	0.1339	0.1470	0.0823	0.0795	0.0823	0.0606
10	0.1142	0.1499	0.1374	0.1489	0.0837	0.0806	0.0831	0.0620
9	0.1222	0.1474	0.1386	0.1484	0.0835	0.0806	0.0824	0.0628
8	0.1239	0.1374	0.1369	0.1448	0.0812	0.0788	0.0800	0.0630
7	0.1361	0.1391	0.1319	0.1378	0.0770	0.0753	0.0759	0.0619
6	0.1634	0.1408	0.1240	0.1277	0.0708	0.0701	0.0699	0.0598
5	0.1856	0.1368	0.1149	0.1145	0.0631	0.0633	0.0625	0.0563
4	0.2023	0.1302	0.1093	0.1026	0.0586	0.0573	0.0548	0.0535
3	0.2211	0.1099	0.0951	0.0877	0.0513	0.0479	0.0451	0.0451
2	0.2243	0.0952	0.0731	0.0647	0.0403	0.0367	0.0338	0.0343
1	0.1461	0.0571	0.0391	0.0318	0.0238	0.0205	0.0180	0.0198
máximo	0.2243	0.1499	0.1386	0.1489	0.0837	0.0806	0.0831	0.0630
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1159	0.1123	0.1087	0.1129	0.0636	0.0627	0.0629	0.0531

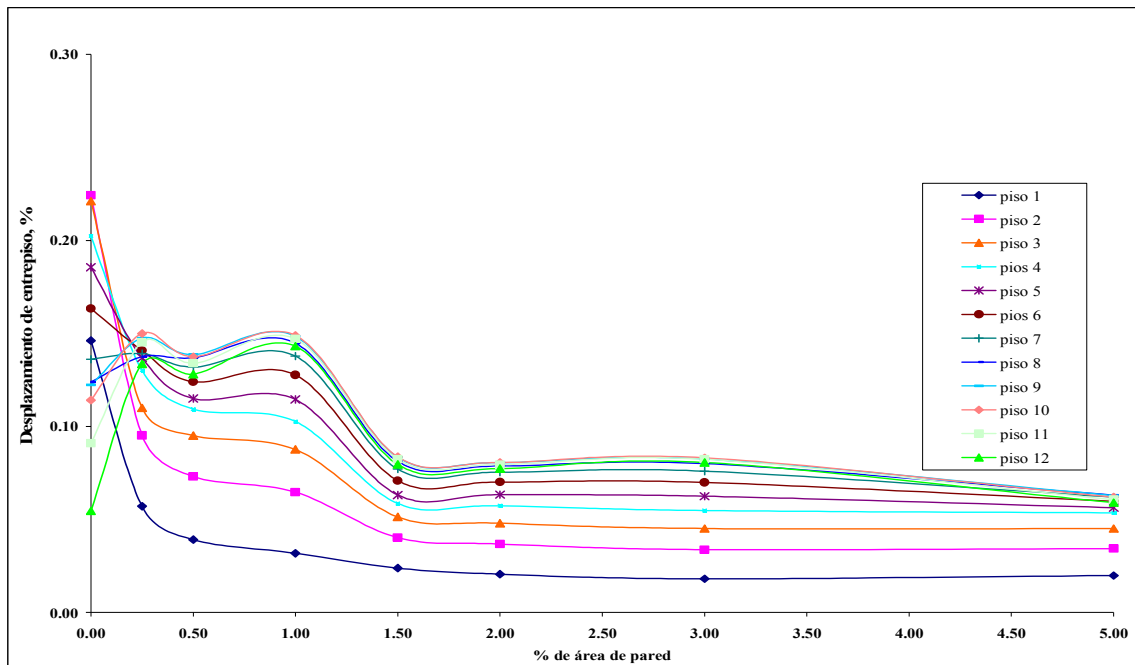


Figura 5.83. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

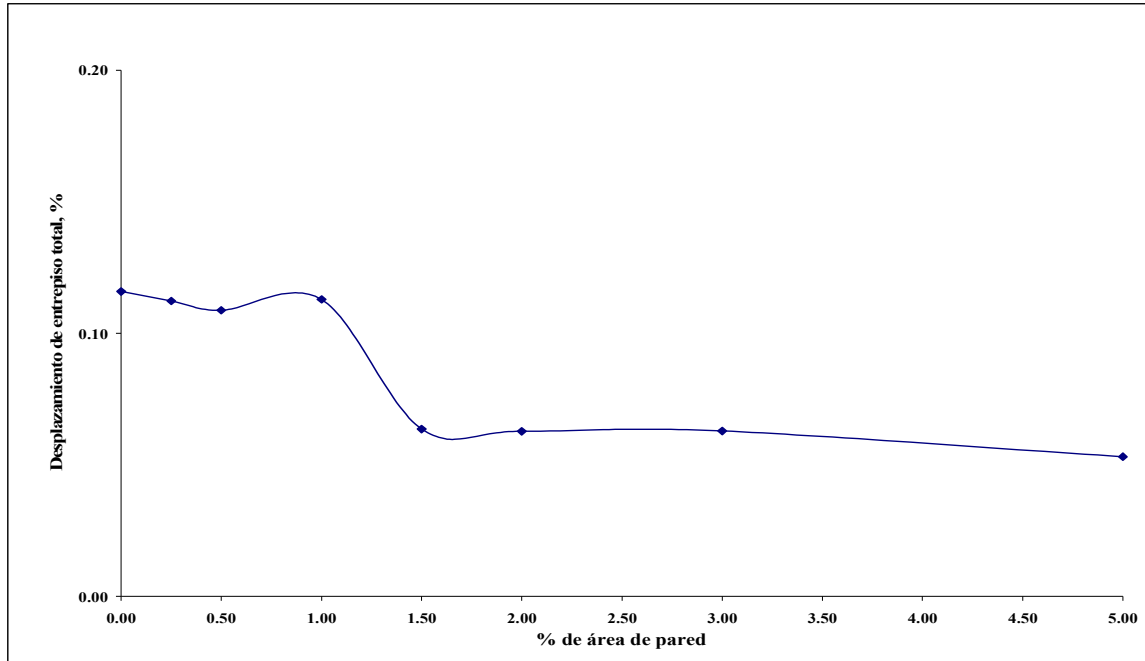


Figura 5.84. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12.

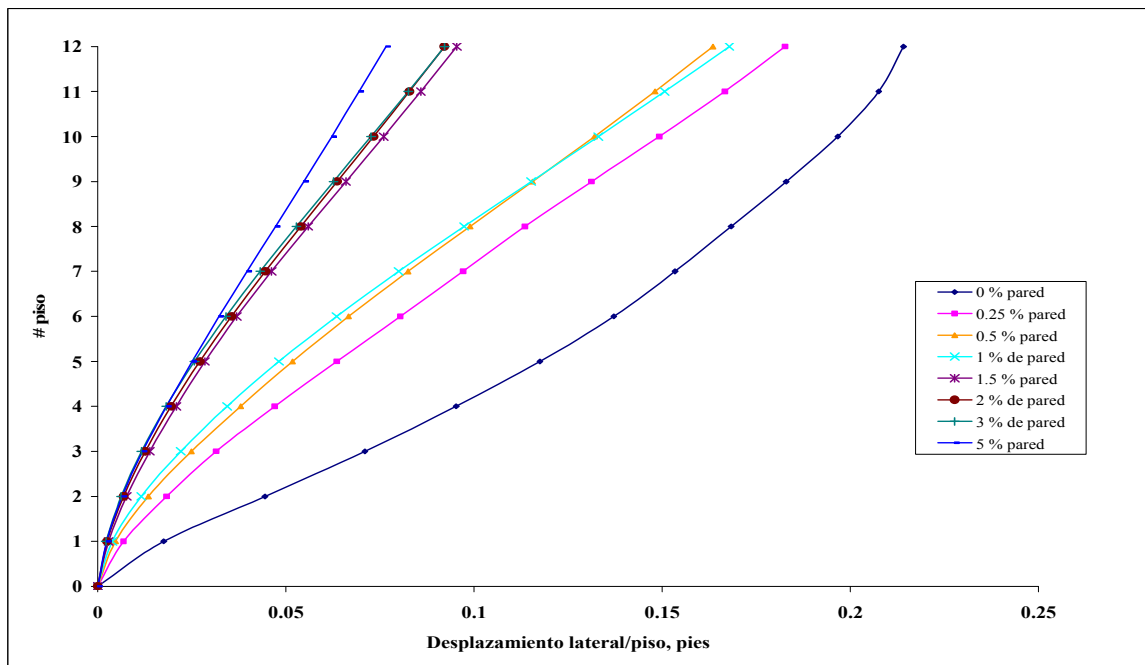


Figura 5.85. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 12 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.33 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.0578	0.1071	0.1449	0.1449	0.1379	0.1098	0.0991	0.0703
17	0.0846	0.1246	0.1566	0.1566	0.1398	0.1110	0.1000	0.0714
16	0.1098	0.1394	0.1601	0.1601	0.1411	0.1121	0.1009	0.0728
15	0.1266	0.1513	0.1608	0.1608	0.1421	0.1130	0.1016	0.0738
14	0.1328	0.1606	0.1591	0.1591	0.1421	0.1134	0.1016	0.0745
13	0.1286	0.1658	0.1543	0.1543	0.1414	0.1134	0.1011	0.0749
12	0.1299	0.1710	0.1459	0.1459	0.1395	0.1126	0.0999	0.0749
11	0.1404	0.1763	0.1434	0.1434	0.1364	0.1110	0.0980	0.0743
10	0.1525	0.1798	0.1460	0.1460	0.1321	0.1088	0.0954	0.0730
9	0.1713	0.1804	0.1484	0.1484	0.1268	0.1055	0.0929	0.0713
8	0.1848	0.1813	0.1494	0.1494	0.1203	0.1013	0.0894	0.0689
7	0.1943	0.2004	0.1470	0.1470	0.1131	0.0963	0.0858	0.0659
6	0.2064	0.2226	0.1438	0.1438	0.1059	0.0914	0.0828	0.0643
5	0.2109	0.2324	0.1314	0.1314	0.0926	0.0814	0.0750	0.0580
4	0.2269	0.2288	0.1196	0.1196	0.0809	0.0708	0.0649	0.0506
3	0.2400	0.2105	0.1024	0.1024	0.0664	0.0579	0.0526	0.0419
2	0.2208	0.1743	0.0799	0.0799	0.0485	0.0419	0.0376	0.0314
1	0.1169	0.0868	0.0436	0.0436	0.0253	0.0216	0.0193	0.0185
máximo	0.2400	0.2324	0.1608	0.1608	0.1421	0.1134	0.1016	0.0749
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1193	0.1292	0.1199	0.1199	0.1112	0.0922	0.0810	0.0626

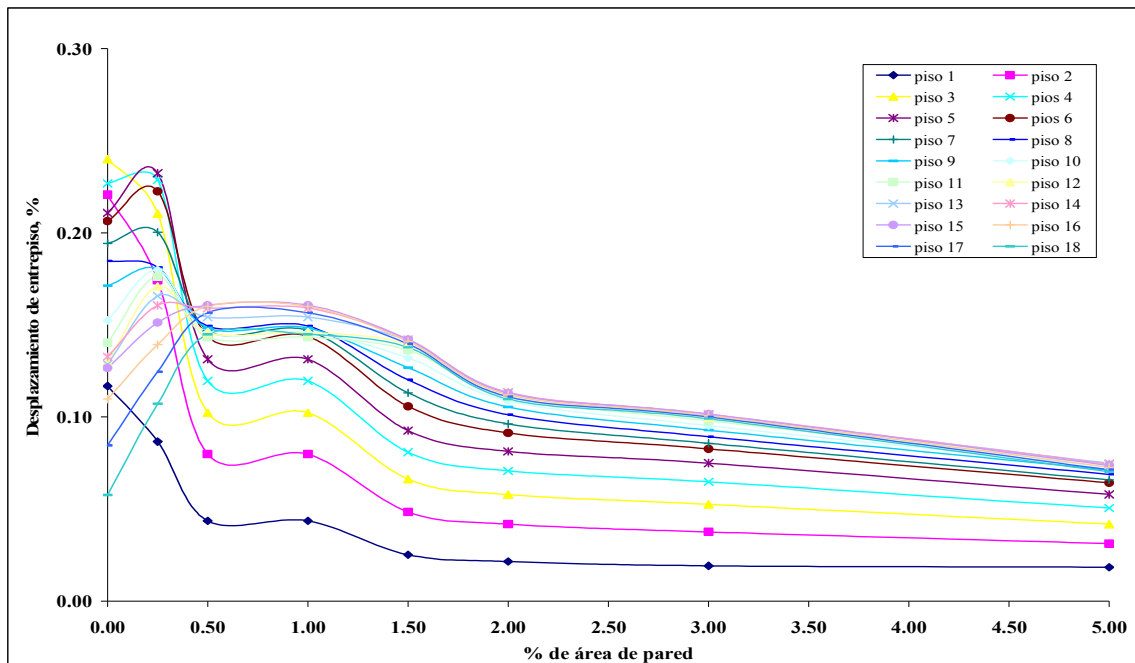


Figura 5.86. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

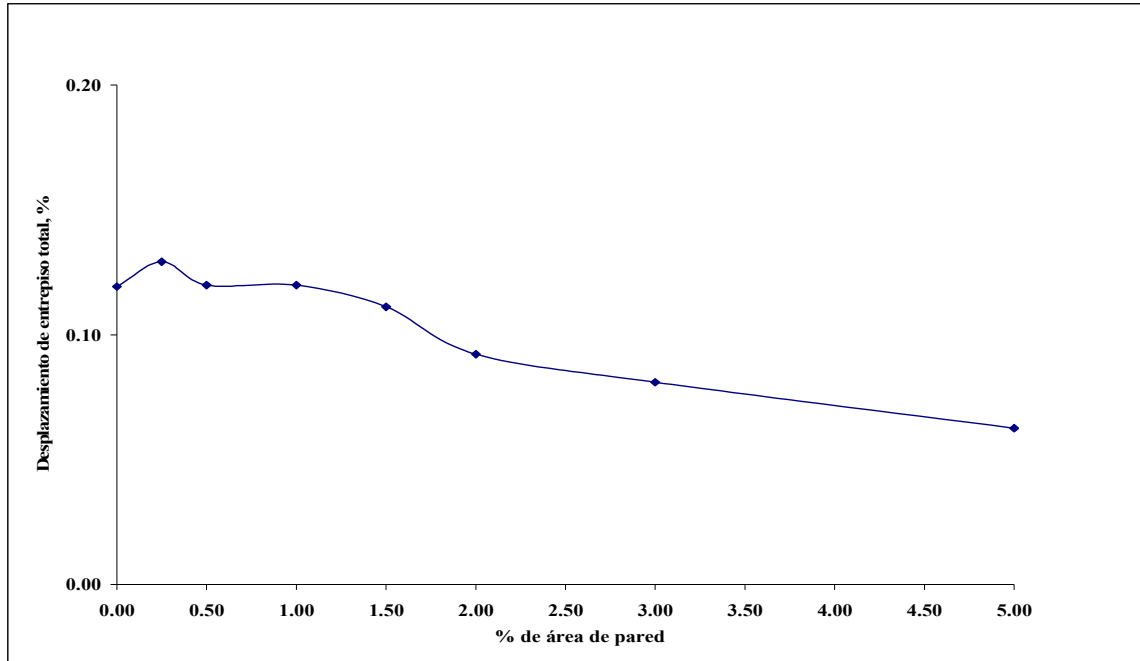


Figura 5.87. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

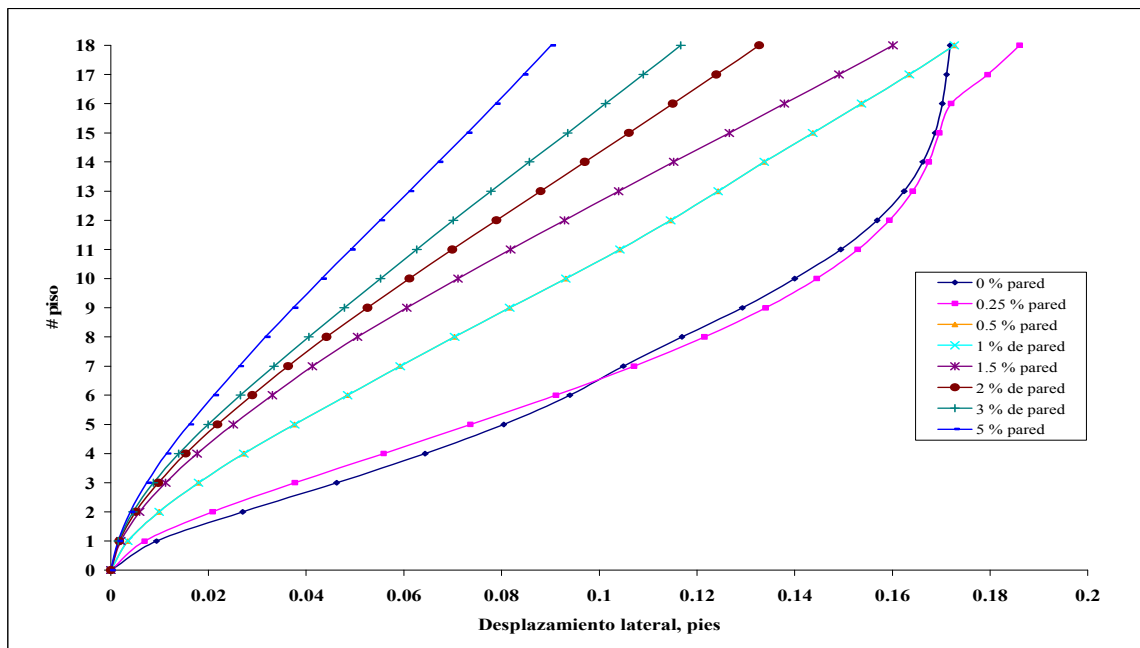


Figura 5.88. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.34 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.0775	0.1020	0.1250	0.1676	0.1759	0.1234	0.1362	0.0613
17	0.1175	0.1182	0.1336	0.1768	0.1779	0.1246	0.1374	0.0625
16	0.1567	0.1306	0.1387	0.1821	0.1790	0.1255	0.1384	0.0633
15	0.1874	0.1399	0.1409	0.1848	0.1789	0.1259	0.1391	0.0639
14	0.2062	0.1505	0.1442	0.1847	0.1772	0.1254	0.1391	0.0640
13	0.2129	0.1581	0.1498	0.1873	0.1738	0.1242	0.1384	0.0634
12	0.2119	0.1666	0.1521	0.1859	0.1684	0.1218	0.1367	0.0624
11	0.2129	0.1778	0.1527	0.1800	0.1614	0.1186	0.1340	0.0607
10	0.2310	0.1889	0.1603	0.1715	0.1543	0.1147	0.1303	0.0593
9	0.2568	0.2091	0.1629	0.1689	0.1481	0.1099	0.1255	0.0574
8	0.2795	0.2249	0.1600	0.1626	0.1415	0.1044	0.1196	0.0559
7	0.2942	0.2337	0.1517	0.1511	0.1357	0.0995	0.1126	0.0542
6	0.3131	0.2405	0.1395	0.1484	0.1313	0.0951	0.1046	0.0534
5	0.3154	0.2335	0.1370	0.1457	0.1236	0.0859	0.0915	0.0489
4	0.3278	0.2254	0.1284	0.1358	0.1114	0.0745	0.0767	0.0433
3	0.3534	0.2174	0.1107	0.1163	0.0938	0.0602	0.0599	0.0361
2	0.3346	0.1796	0.0865	0.0864	0.0697	0.0426	0.0412	0.0270
1	0.1832	0.0904	0.0462	0.0436	0.0362	0.0222	0.0191	0.0153
máximo	0.3534	0.2405	0.1629	0.1873	0.1790	0.1259	0.1391	0.0640
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1734	0.1577	0.1151	0.1282	0.1287	0.0965	0.1098	0.0503

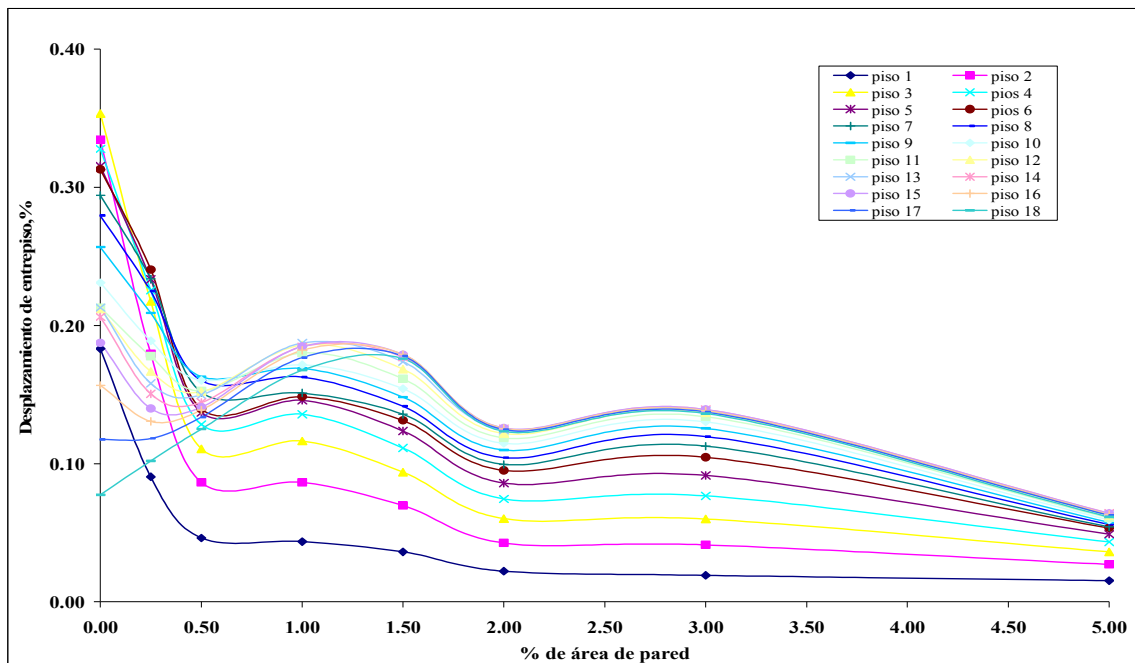


Figura 5.89. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

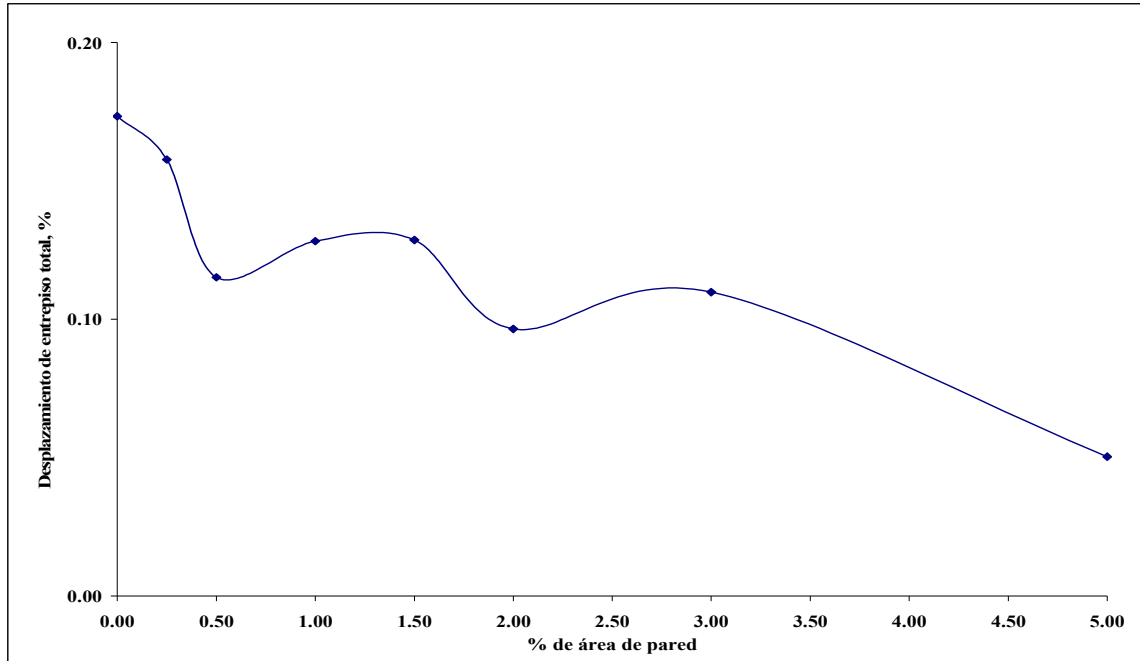


Figura 5.90. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

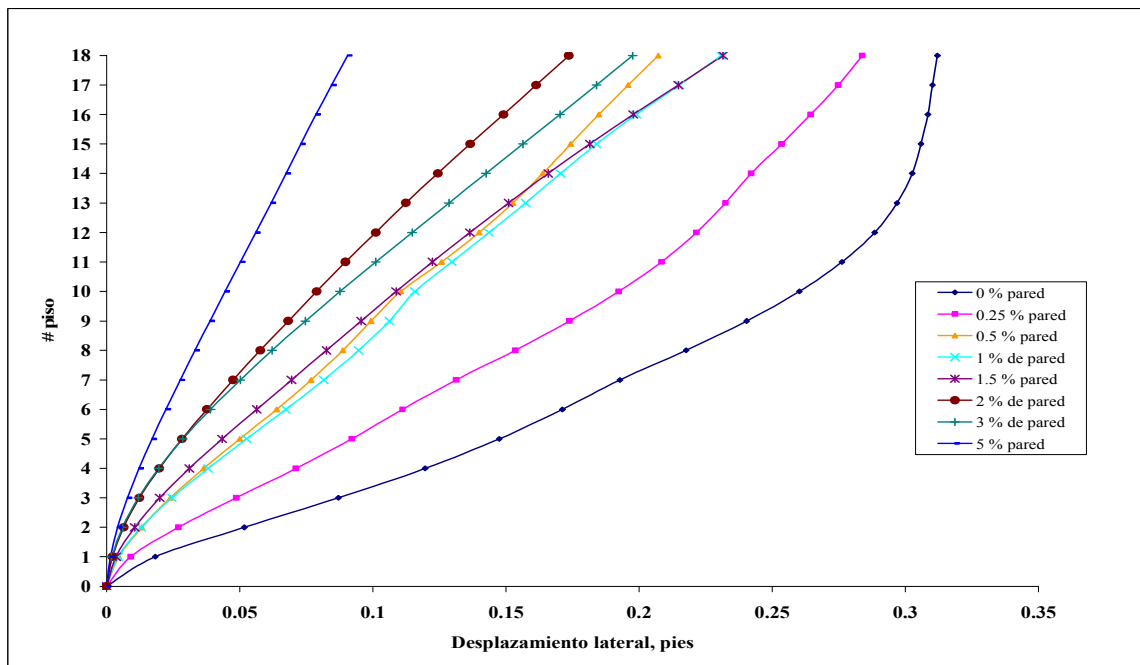


Figura 5.91. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.35 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
18	0.0687	0.1484	0.1377	0.1431	0.1456	0.1293	0.1800	0.0887
17	0.1058	0.1733	0.1472	0.1488	0.1470	0.1303	0.1818	0.0898
16	0.1429	0.1956	0.1560	0.1528	0.1476	0.1311	0.1829	0.0907
15	0.1727	0.2123	0.1659	0.1553	0.1468	0.1315	0.1823	0.0916
14	0.1924	0.2199	0.1759	0.1552	0.1447	0.1313	0.1801	0.0919
13	0.2020	0.2186	0.1900	0.1602	0.1408	0.1304	0.1756	0.0918
12	0.2039	0.2103	0.2062	0.1654	0.1358	0.1286	0.1689	0.0912
11	0.2057	0.2032	0.2193	0.1682	0.1295	0.1258	0.1602	0.0898
10	0.2203	0.2241	0.2281	0.1676	0.1219	0.1221	0.1493	0.0877
9	0.2438	0.2498	0.2313	0.1765	0.1133	0.1175	0.1370	0.0849
8	0.2653	0.2697	0.2286	0.1821	0.1095	0.1124	0.1292	0.0813
7	0.2835	0.2810	0.2215	0.1834	0.1107	0.1093	0.1243	0.0769
6	0.3162	0.2901	0.2140	0.1810	0.1110	0.1057	0.1196	0.0725
5	0.3438	0.2813	0.2043	0.1705	0.1048	0.0943	0.1095	0.0638
4	0.3710	0.2679	0.1888	0.1526	0.0938	0.0813	0.0957	0.0547
3	0.3852	0.2560	0.1623	0.1280	0.0778	0.0674	0.0776	0.0430
2	0.3584	0.2118	0.1211	0.0928	0.0562	0.0490	0.0770	0.0307
1	0.1985	0.1055	0.0577	0.0426	0.0276	0.0249	0.1233	0.0160
máximo	0.3852	0.2901	0.2313	0.1834	0.1476	0.1315	0.1829	0.0919
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1785	0.1743	0.1742	0.1371	0.1025	0.1027	0.1225	0.0741

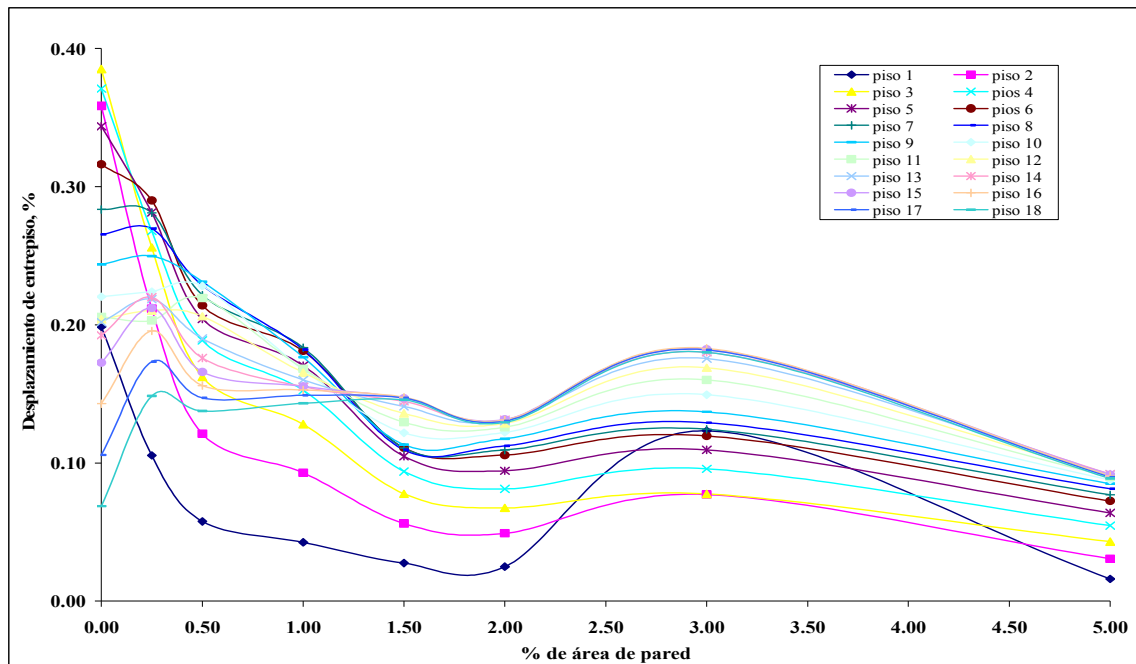


Figura 5.92. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

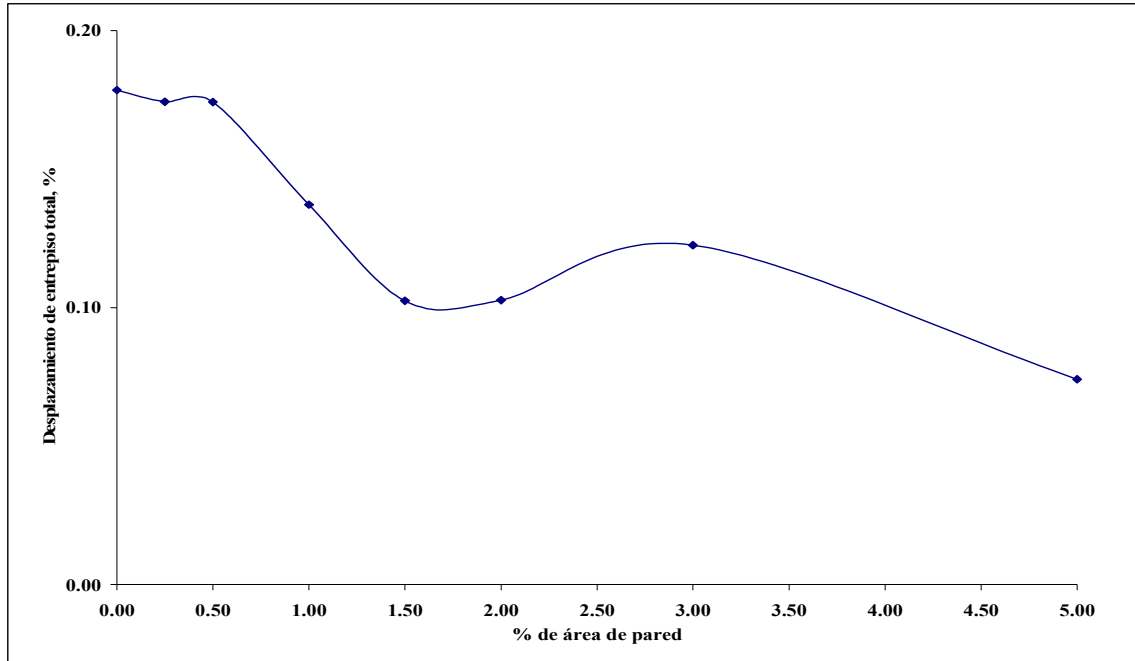


Figura 5.93. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

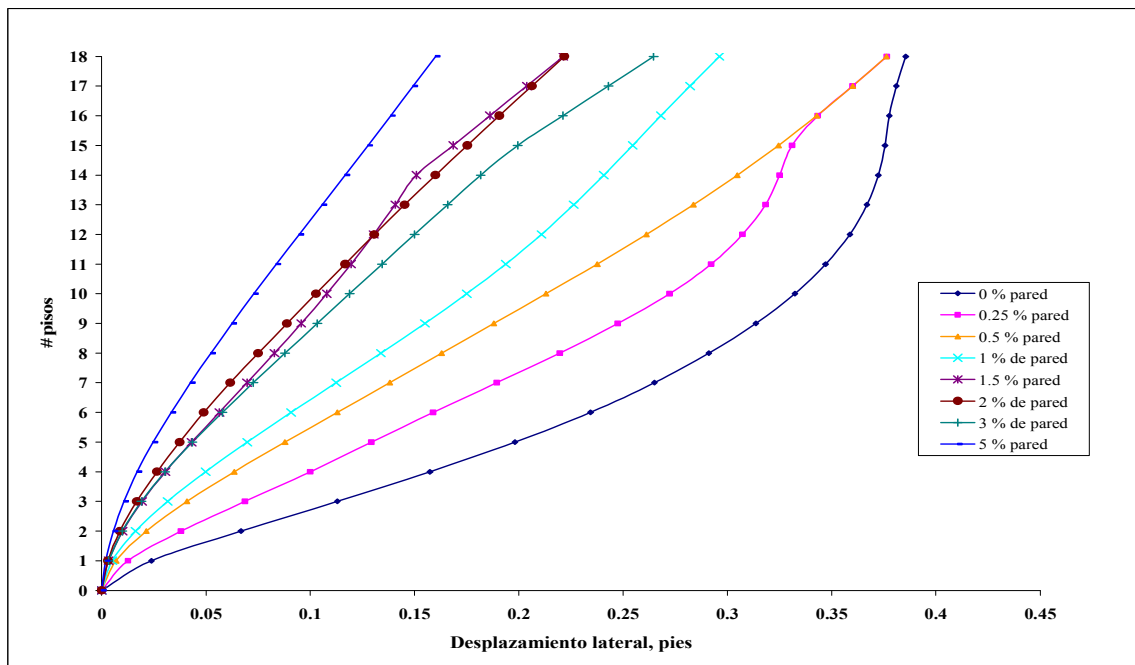


Figura 5.94. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 18 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.36 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.0796	0.0993	0.1126	0.1406	0.1845	0.1726	0.1143	0.0678
23	0.1073	0.1150	0.1213	0.1469	0.1863	0.1741	0.1151	0.0688
22	0.1384	0.1309	0.1269	0.1511	0.1888	0.1764	0.1164	0.0696
21	0.1673	0.1471	0.1309	0.1541	0.1901	0.1779	0.1175	0.0704
20	0.1904	0.1618	0.1324	0.1553	0.1904	0.1790	0.1184	0.0710
19	0.2068	0.1741	0.1346	0.1543	0.1880	0.1779	0.1183	0.0716
18	0.2161	0.1834	0.1350	0.1518	0.1849	0.1765	0.1179	0.0718
17	0.2185	0.1894	0.1339	0.1519	0.1804	0.1739	0.1173	0.0719
16	0.2168	0.1923	0.1306	0.1501	0.1744	0.1703	0.1166	0.0716
15	0.2145	0.1921	0.1253	0.1463	0.1678	0.1651	0.1153	0.0715
14	0.2216	0.1898	0.1345	0.1460	0.1603	0.1591	0.1129	0.0711
13	0.2385	0.2021	0.1484	0.1484	0.1526	0.1528	0.1096	0.0704
12	0.2571	0.2231	0.1593	0.1496	0.1505	0.1478	0.1055	0.0695
11	0.2729	0.2401	0.1660	0.1489	0.1474	0.1465	0.1006	0.0680
10	0.2859	0.2531	0.1686	0.1455	0.1434	0.1461	0.0948	0.0666
9	0.2939	0.2613	0.1671	0.1393	0.1390	0.1446	0.0889	0.0651
8	0.3036	0.2616	0.1644	0.1336	0.1353	0.1440	0.0876	0.0643
7	0.3049	0.2594	0.1523	0.1253	0.1266	0.1384	0.0826	0.0604
6	0.3076	0.2568	0.1369	0.1243	0.1160	0.1296	0.0761	0.0553
5	0.3169	0.2561	0.1329	0.1186	0.1046	0.1178	0.0690	0.0495
4	0.3314	0.2490	0.1264	0.1076	0.0929	0.1025	0.0601	0.0428
3	0.3238	0.2259	0.1116	0.0905	0.0779	0.0838	0.0490	0.0349
2	0.2763	0.1816	0.0879	0.0685	0.0583	0.0609	0.0359	0.0263
1	0.1344	0.0855	0.0443	0.0350	0.0319	0.0318	0.0190	0.0154
máximo	0.3314	0.2616	0.1686	0.1553	0.1904	0.1790	0.1184	0.0719
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1711	0.1613	0.1013	0.1100	0.1293	0.1278	0.0886	0.0601

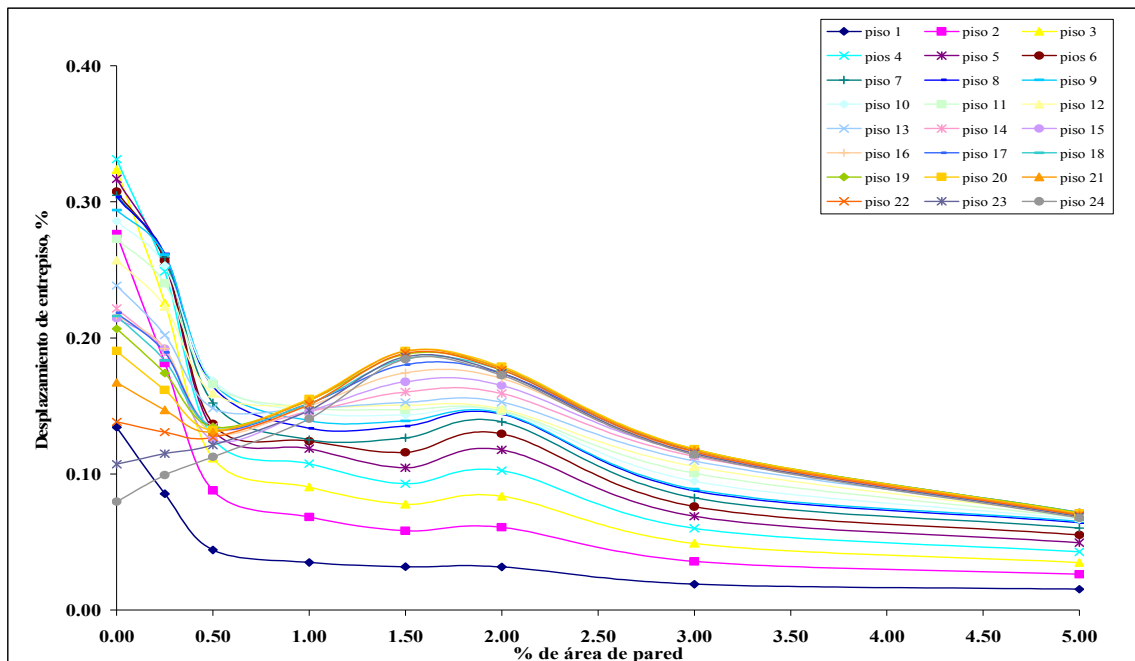


Figura 5.95. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

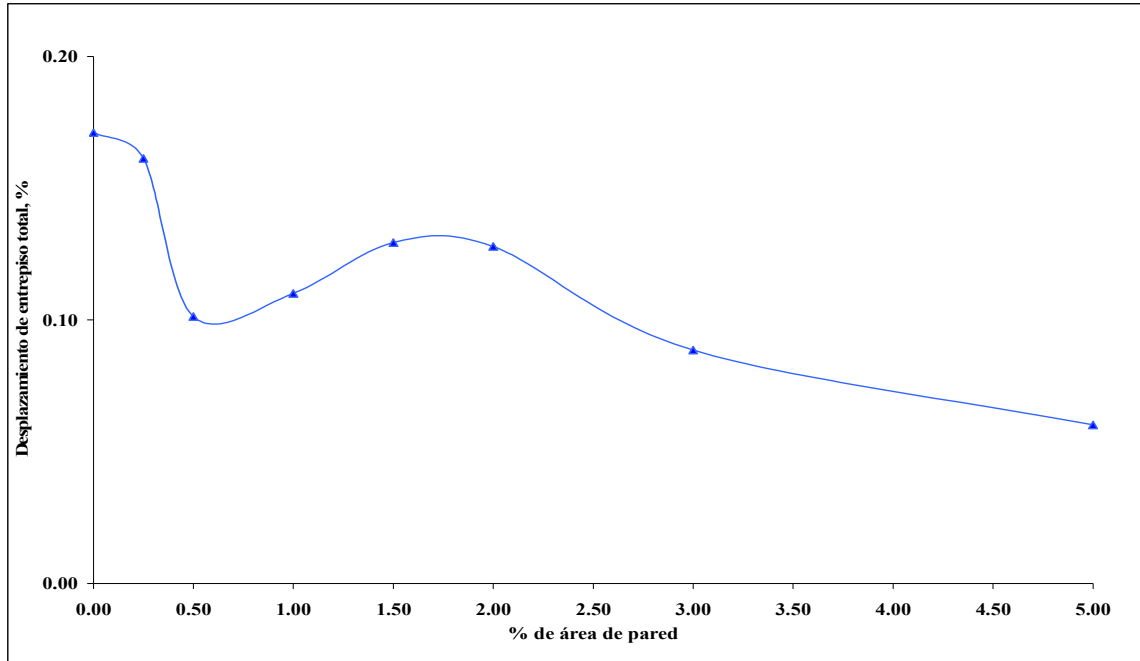


Figura 5.96. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

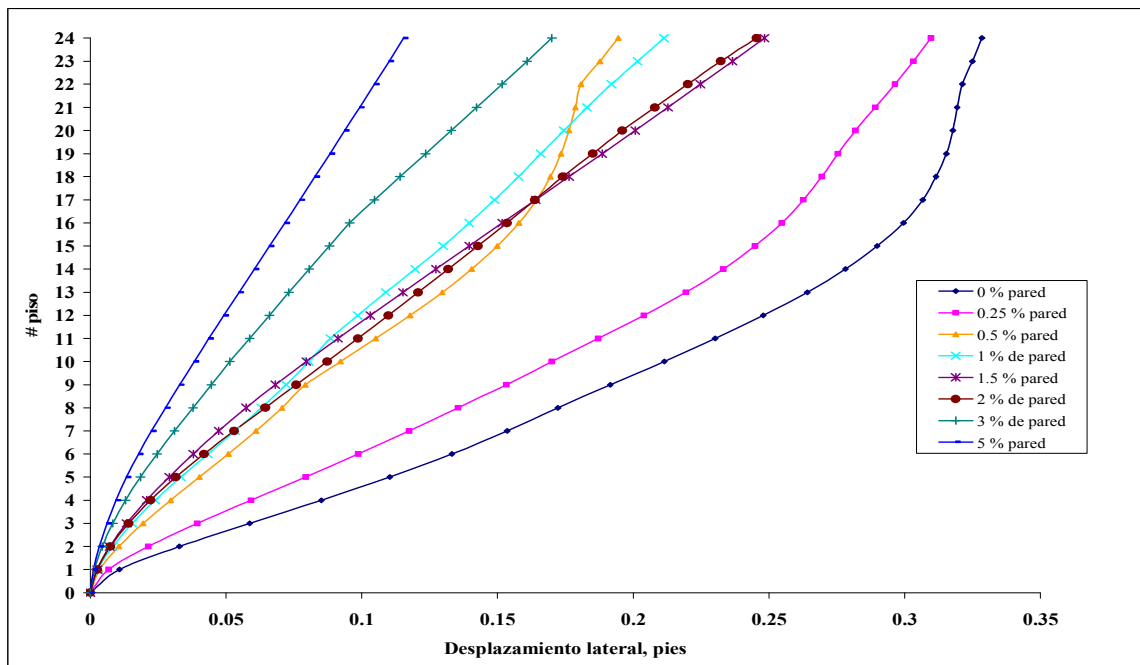


Figura 5.97. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.37 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.0703	0.1348	0.1442	0.1551	0.1726	0.1195	0.1228	0.0950
23	0.0958	0.1562	0.1546	0.1619	0.1748	0.1207	0.1241	0.0960
22	0.1254	0.1786	0.1644	0.1678	0.1757	0.1216	0.1249	0.0971
21	0.1535	0.2000	0.1750	0.1742	0.1762	0.1224	0.1257	0.0979
20	0.1779	0.2176	0.1855	0.1801	0.1751	0.1227	0.1262	0.0988
19	0.1970	0.2298	0.1959	0.1866	0.1713	0.1218	0.1258	0.0993
18	0.2109	0.2363	0.2049	0.1942	0.1661	0.1203	0.1248	0.0995
17	0.2228	0.2377	0.2127	0.2032	0.1595	0.1181	0.1232	0.0995
16	0.2341	0.2352	0.2181	0.2116	0.1515	0.1152	0.1210	0.0990
15	0.2416	0.2322	0.2208	0.2181	0.1428	0.1114	0.1182	0.0981
14	0.2452	0.2457	0.2206	0.2220	0.1345	0.1067	0.1147	0.0967
13	0.2702	0.2704	0.2172	0.2227	0.1273	0.1014	0.1111	0.0949
12	0.2971	0.2949	0.2111	0.2203	0.1200	0.0981	0.1078	0.0927
11	0.3208	0.3159	0.2022	0.2153	0.1182	0.1007	0.1042	0.0900
10	0.3407	0.3322	0.2120	0.2074	0.1159	0.1018	0.0999	0.0871
9	0.3555	0.3429	0.2191	0.1968	0.1168	0.1016	0.0958	0.0835
8	0.3762	0.3555	0.2251	0.1870	0.1221	0.1014	0.0953	0.0806
7	0.3868	0.3623	0.2227	0.1769	0.1214	0.0968	0.0917	0.0746
6	0.3997	0.3675	0.2150	0.1690	0.1172	0.0901	0.0859	0.0676
5	0.4116	0.3653	0.2021	0.1560	0.1100	0.0808	0.0778	0.0597
4	0.4169	0.3510	0.1837	0.1385	0.0996	0.0711	0.0676	0.0509
3	0.4012	0.3146	0.1558	0.1138	0.0838	0.0580	0.0543	0.0406
2	0.3385	0.2438	0.1163	0.0816	0.0620	0.0416	0.0384	0.0289
1	0.1636	0.1127	0.0553	0.0380	0.0320	0.0223	0.0198	0.0152
máximo	0.4169	0.3675	0.2251	0.2227	0.1762	0.1227	0.1262	0.0995
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.2232	0.2076	0.1624	0.1631	0.1081	0.0837	0.0938	0.0801

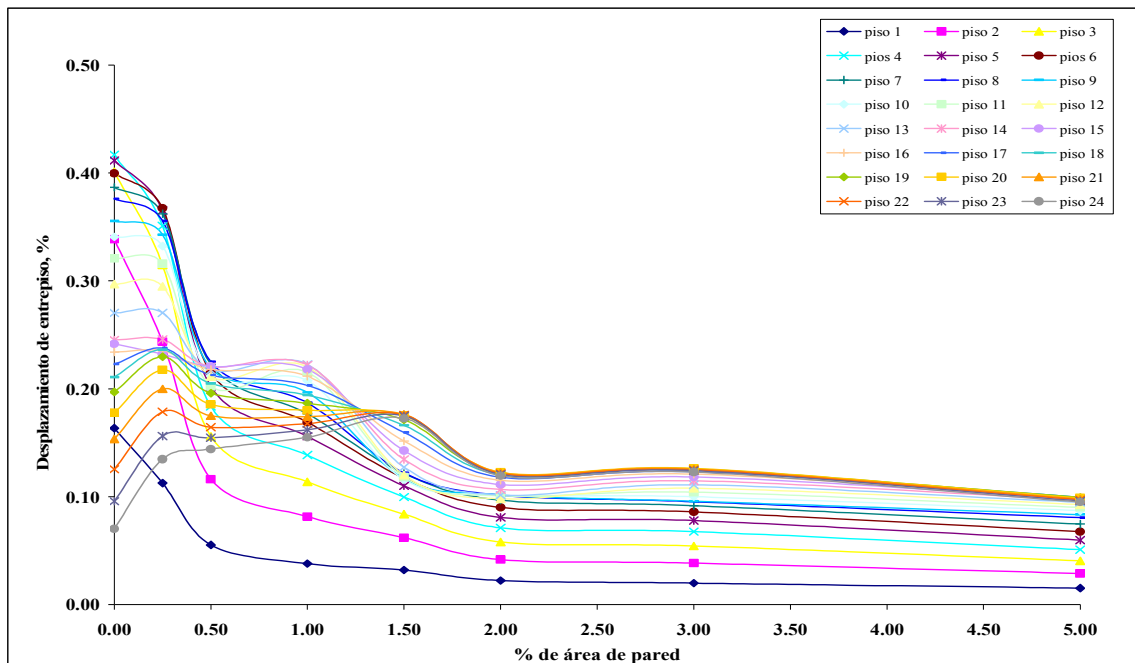


Figura 5.98. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

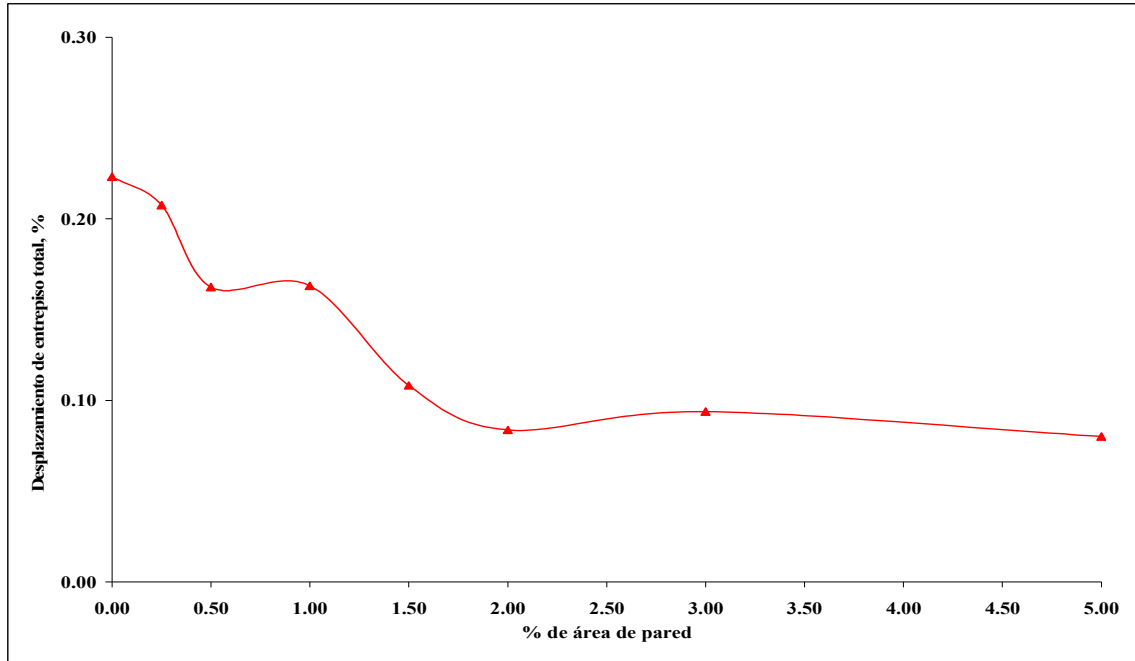


Figura 5.99. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

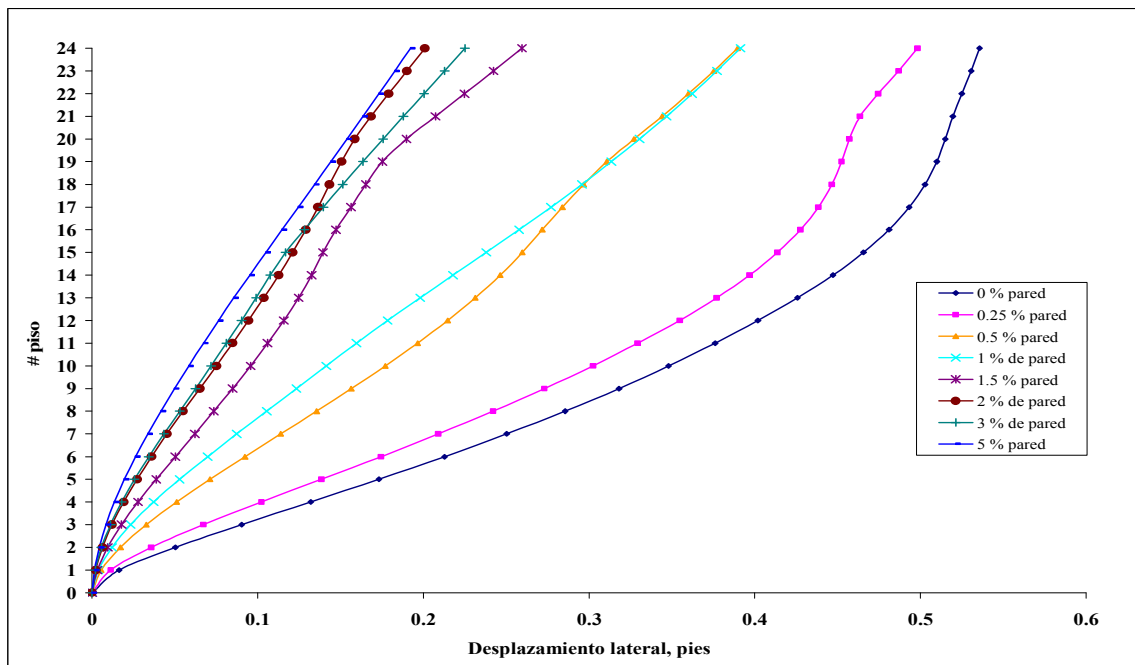


Figura 5.100. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.38 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
24	0.0761	0.1233	0.2257	0.2277	0.1993	0.2038	0.1853	0.1203
23	0.1033	0.1441	0.2418	0.2375	0.2013	0.2054	0.1869	0.1218
22	0.1370	0.1673	0.2568	0.2472	0.2030	0.2072	0.1887	0.1231
21	0.1703	0.1906	0.2722	0.2579	0.2033	0.2078	0.1898	0.1239
20	0.2007	0.2113	0.2859	0.2688	0.2023	0.2078	0.1903	0.1243
19	0.2305	0.2356	0.2972	0.2789	0.1998	0.2065	0.1901	0.1243
18	0.2579	0.2639	0.3067	0.2879	0.1967	0.2039	0.1888	0.1234
17	0.2831	0.2957	0.3148	0.2957	0.1929	0.2007	0.1865	0.1220
16	0.3059	0.3278	0.3254	0.3016	0.1899	0.1968	0.1834	0.1198
15	0.3265	0.3584	0.3407	0.3053	0.1874	0.1917	0.1791	0.1168
14	0.3445	0.3863	0.3555	0.3062	0.1837	0.1862	0.1733	0.1133
13	0.3725	0.4110	0.3663	0.3043	0.1793	0.1799	0.1669	0.1088
12	0.4051	0.4318	0.3723	0.2994	0.1734	0.1725	0.1596	0.1046
11	0.4341	0.4483	0.3726	0.2915	0.1657	0.1649	0.1510	0.1005
10	0.4589	0.4604	0.3713	0.3004	0.1569	0.1568	0.1426	0.0969
9	0.4791	0.4673	0.3773	0.3053	0.1476	0.1487	0.1403	0.0940
8	0.5103	0.4843	0.3818	0.3085	0.1394	0.1393	0.1407	0.0918
7	0.5360	0.5058	0.3711	0.3007	0.1314	0.1353	0.1358	0.0866
6	0.5573	0.5200	0.3512	0.2863	0.1225	0.1299	0.1276	0.0798
5	0.5713	0.5207	0.3238	0.2628	0.1108	0.1216	0.1157	0.0713
4	0.5742	0.4993	0.2932	0.2308	0.0958	0.1093	0.1000	0.0612
3	0.5526	0.4443	0.2476	0.1877	0.0769	0.0911	0.0802	0.0491
2	0.4706	0.3410	0.1835	0.1315	0.0537	0.0661	0.0558	0.0354
1	0.2312	0.1555	0.0858	0.0573	0.0255	0.0320	0.0254	0.0188
máximo	0.5742	0.5207	0.3818	0.3085	0.2033	0.2078	0.1903	0.1243
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.3294	0.3273	0.2858	0.2386	0.1409	0.1454	0.1349	0.0909

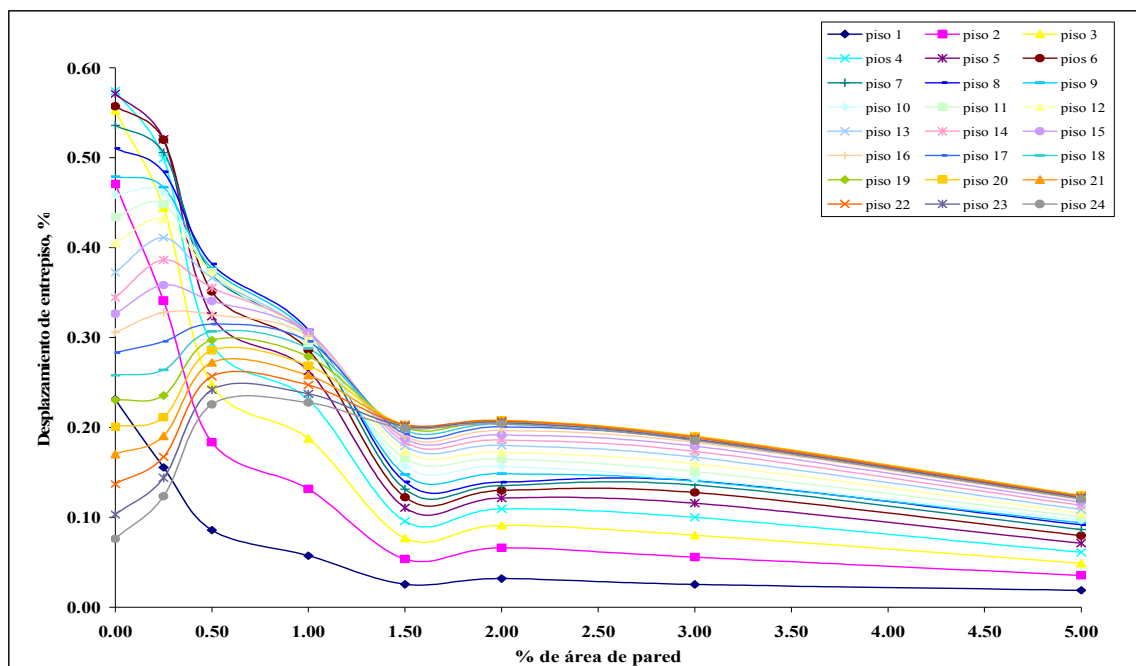


Figura 5.101. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

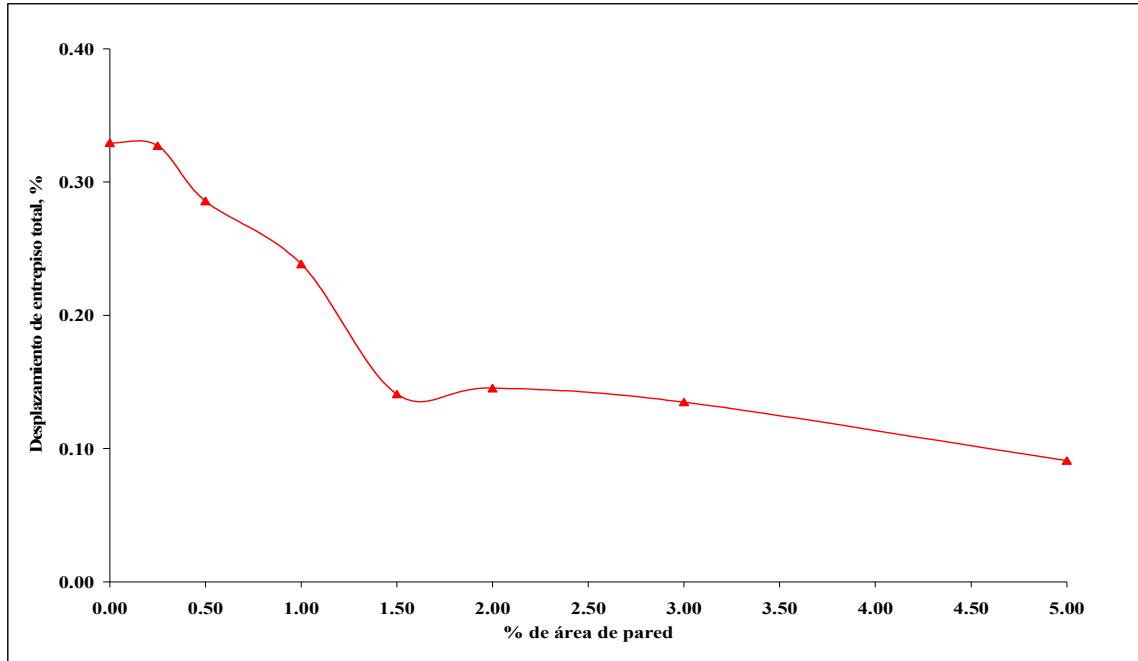


Figura 5.102. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

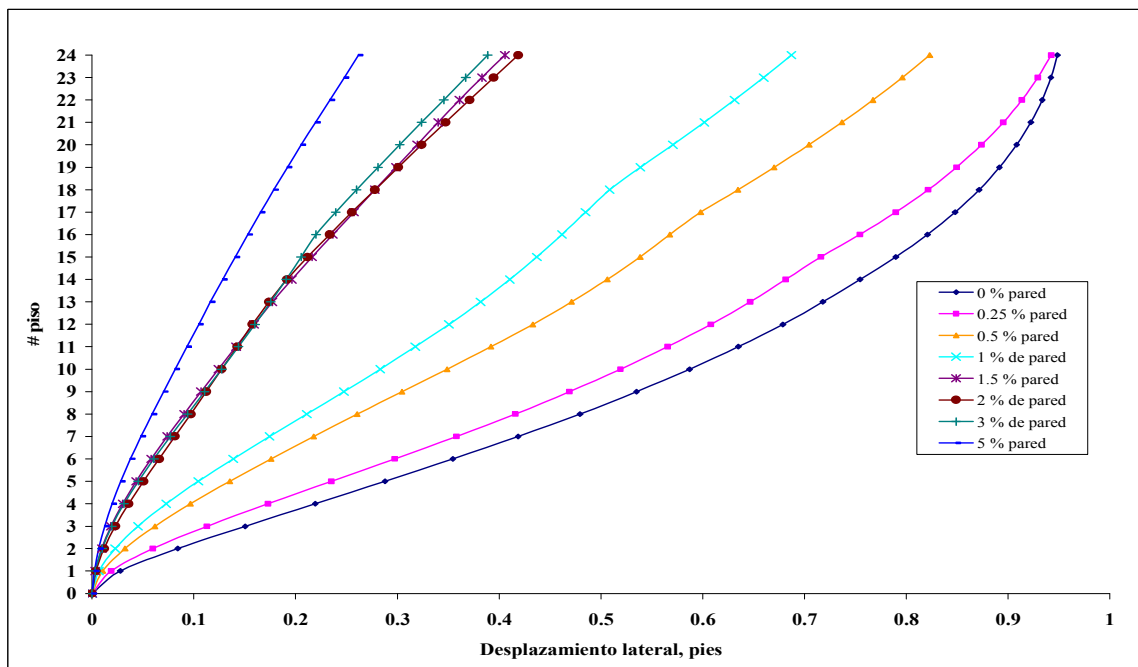


Figura 5.103. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 24 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Tabla 5.39 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.0650	0.1208	0.1388	0.1500	0.1631	0.1288	0.1175	0.0938
29	0.0824	0.1373	0.1481	0.1561	0.1650	0.1305	0.1186	0.0946
28	0.1036	0.1551	0.1566	0.1616	0.1665	0.1316	0.1198	0.0956
27	0.1256	0.1738	0.1659	0.1678	0.1679	0.1323	0.1206	0.0964
26	0.1461	0.1908	0.1751	0.1743	0.1685	0.1320	0.1214	0.0974
25	0.1641	0.2051	0.1840	0.1814	0.1688	0.1306	0.1215	0.0980
24	0.1788	0.2159	0.1916	0.1881	0.1680	0.1283	0.1213	0.0986
23	0.1902	0.2228	0.1985	0.1953	0.1658	0.1243	0.1200	0.0991
22	0.1983	0.2260	0.2045	0.2019	0.1648	0.1201	0.1190	0.0992
21	0.2033	0.2254	0.2086	0.2083	0.1629	0.1150	0.1186	0.0994
20	0.2056	0.2223	0.2111	0.2136	0.1608	0.1108	0.1183	0.0990
19	0.2100	0.2184	0.2124	0.2176	0.1564	0.1069	0.1169	0.0985
18	0.2139	0.2199	0.2120	0.2200	0.1516	0.1031	0.1155	0.0977
17	0.2194	0.2341	0.2100	0.2214	0.1460	0.0992	0.1135	0.0965
16	0.2369	0.2521	0.2065	0.2208	0.1395	0.0953	0.1113	0.0953
15	0.2554	0.2703	0.2013	0.2181	0.1328	0.0958	0.1084	0.0935
14	0.2731	0.2864	0.1975	0.2139	0.1258	0.0974	0.1051	0.0914
13	0.2890	0.3000	0.2086	0.2081	0.1274	0.0980	0.1016	0.0891
12	0.3031	0.3103	0.2173	0.2015	0.1316	0.0979	0.0978	0.0869
11	0.3149	0.3176	0.2229	0.1946	0.1348	0.0971	0.0975	0.0839
10	0.3305	0.3273	0.2299	0.1921	0.1399	0.0971	0.0981	0.0828
9	0.3424	0.3335	0.2290	0.1885	0.1401	0.0954	0.0954	0.0789
8	0.3553	0.3403	0.2240	0.1839	0.1374	0.0924	0.0911	0.0735
7	0.3670	0.3449	0.2156	0.1759	0.1321	0.0875	0.0855	0.0680
6	0.3765	0.3456	0.2036	0.1646	0.1238	0.0836	0.0786	0.0618
5	0.3795	0.3386	0.1876	0.1495	0.1125	0.0775	0.0701	0.0546
4	0.3714	0.3180	0.1664	0.1299	0.0980	0.0688	0.0599	0.0466
3	0.3438	0.2773	0.1389	0.1053	0.0798	0.0570	0.0485	0.0375
2	0.2755	0.2128	0.1060	0.0754	0.0576	0.0425	0.0371	0.0271
1	0.1248	0.0953	0.0506	0.0350	0.0295	0.0234	0.0206	0.0151
máximo	0.3795	0.3456	0.2299	0.2214	0.1688	0.1323	0.1215	0.0994
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.1930	0.1892	0.1602	0.1635	0.1126	0.0822	0.0923	0.0804

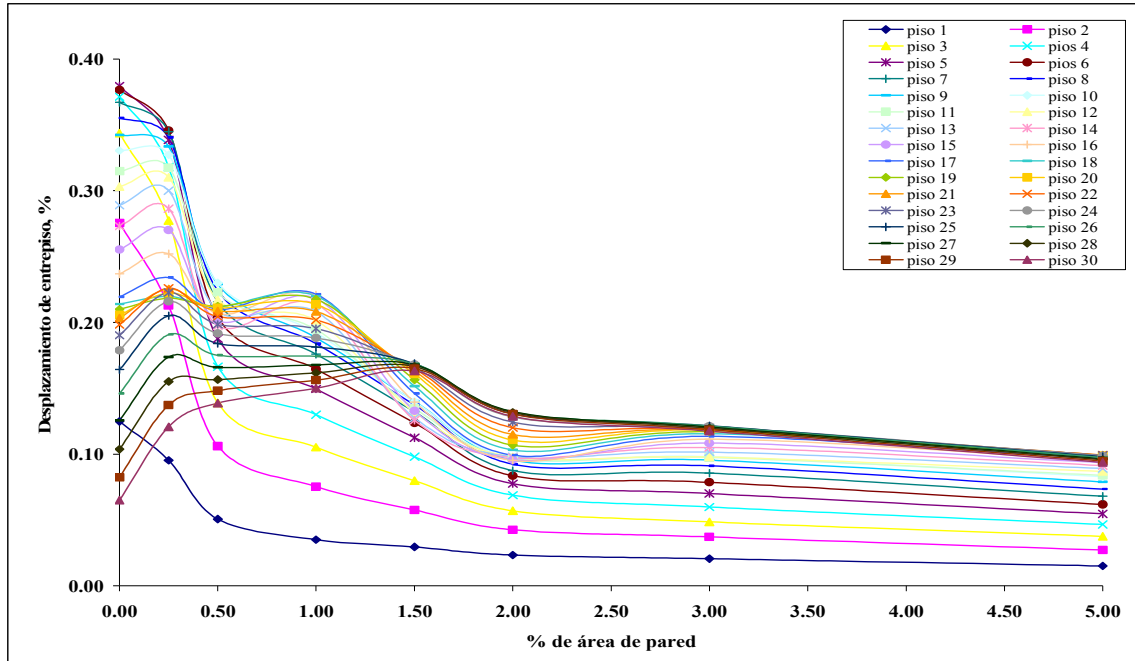


Figura 5.104. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

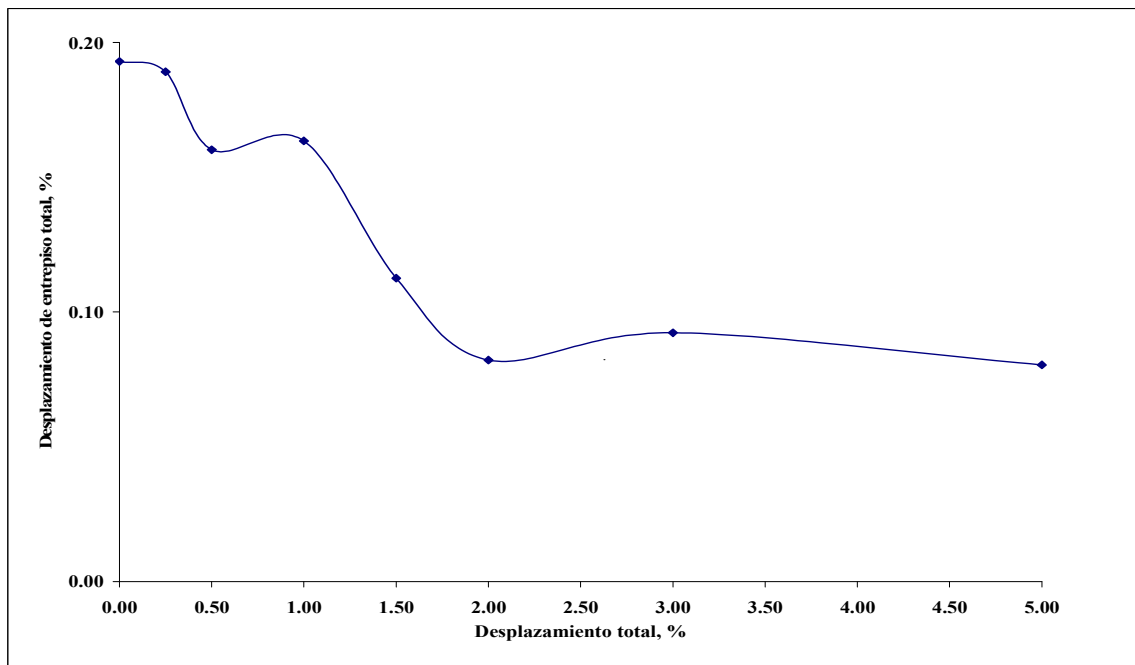


Figura 5.105. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

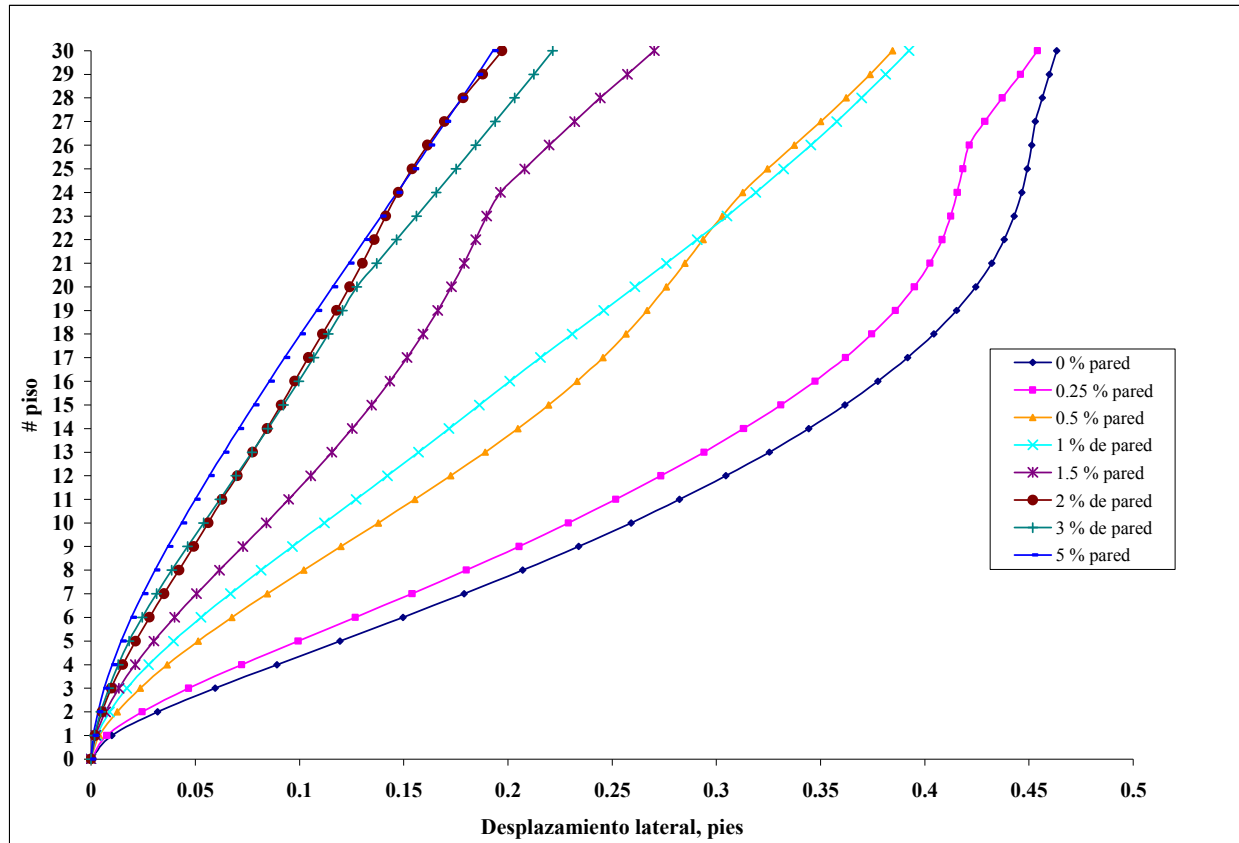


Figura 5.106. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 8'.

Tabla 5.40 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Piso	Desplazamiento de entrepiso, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.0790	0.1139	0.2063	0.2453	0.2050	0.1855	0.2034	0.1084
29	0.0993	0.1302	0.2200	0.2557	0.2069	0.1872	0.2054	0.1094
28	0.1249	0.1494	0.2331	0.2647	0.2084	0.1885	0.2070	0.1106
27	0.1523	0.1703	0.2474	0.2745	0.2098	0.1897	0.2081	0.1117
26	0.1799	0.1912	0.2615	0.2837	0.2105	0.1903	0.2086	0.1124
25	0.2068	0.2108	0.2747	0.2918	0.2108	0.1901	0.2080	0.1128
24	0.2322	0.2280	0.2864	0.2981	0.2105	0.1892	0.2066	0.1130
23	0.2562	0.2433	0.2968	0.3037	0.2094	0.1877	0.2040	0.1125
22	0.2785	0.2566	0.3061	0.3079	0.2073	0.1860	0.2009	0.1117
21	0.2993	0.2752	0.3149	0.3119	0.2056	0.1846	0.1982	0.1103
20	0.3182	0.2948	0.3254	0.3172	0.2035	0.1835	0.1953	0.1083
19	0.3354	0.3169	0.3390	0.3245	0.2010	0.1819	0.1915	0.1056
18	0.3508	0.3411	0.3535	0.3323	0.1985	0.1799	0.1872	0.1026
17	0.3641	0.3643	0.3672	0.3385	0.1956	0.1768	0.1830	0.1003
16	0.3754	0.3861	0.3782	0.3422	0.1919	0.1727	0.1779	0.0994
15	0.3977	0.4061	0.3859	0.3429	0.1879	0.1682	0.1716	0.0983
14	0.4221	0.4240	0.3903	0.3401	0.1829	0.1626	0.1647	0.0966
13	0.4442	0.4398	0.3912	0.3369	0.1776	0.1559	0.1577	0.0944
12	0.4631	0.4538	0.3888	0.3432	0.1719	0.1483	0.1498	0.0918
11	0.4788	0.4655	0.3827	0.3456	0.1674	0.1412	0.1430	0.0889
10	0.5018	0.4825	0.3848	0.3476	0.1651	0.1349	0.1422	0.0868
9	0.5196	0.4951	0.3774	0.3397	0.1591	0.1291	0.1396	0.0817
8	0.5387	0.5100	0.3697	0.3259	0.1510	0.1227	0.1347	0.0767
7	0.5538	0.5177	0.3645	0.3061	0.1409	0.1147	0.1274	0.0715
6	0.5644	0.5160	0.3556	0.2804	0.1285	0.1048	0.1179	0.0656
5	0.5670	0.5003	0.3355	0.2479	0.1137	0.0929	0.1057	0.0586
4	0.5568	0.4675	0.3037	0.2157	0.0962	0.0789	0.0910	0.0504
3	0.5183	0.4064	0.2553	0.1751	0.0759	0.0627	0.0726	0.0407
2	0.4205	0.3059	0.1885	0.1243	0.0523	0.0441	0.0508	0.0300
1	0.1938	0.1360	0.0871	0.0577	0.0238	0.0210	0.0240	0.0171
máximo	0.5670	0.5177	0.3912	0.3476	0.2108	0.1903	0.2086	0.1130
Desplazamiento Total, %	0.3315	0.3218	0.2971	0.2632	0.1545	0.1355	0.1398	0.0833

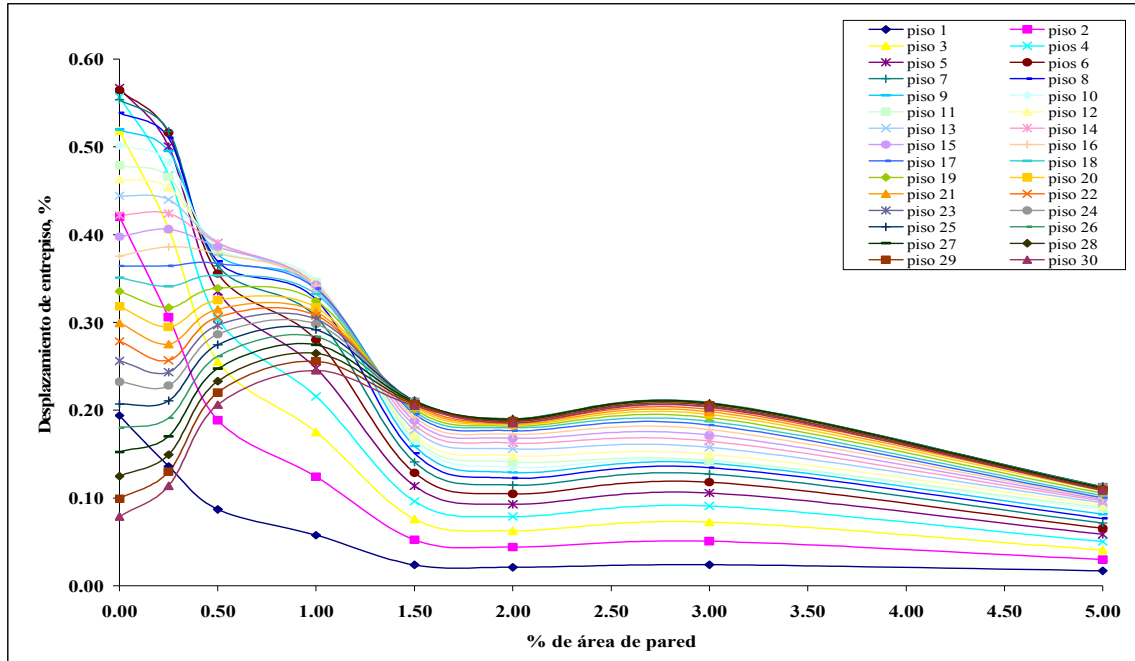


Figura 5.107. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

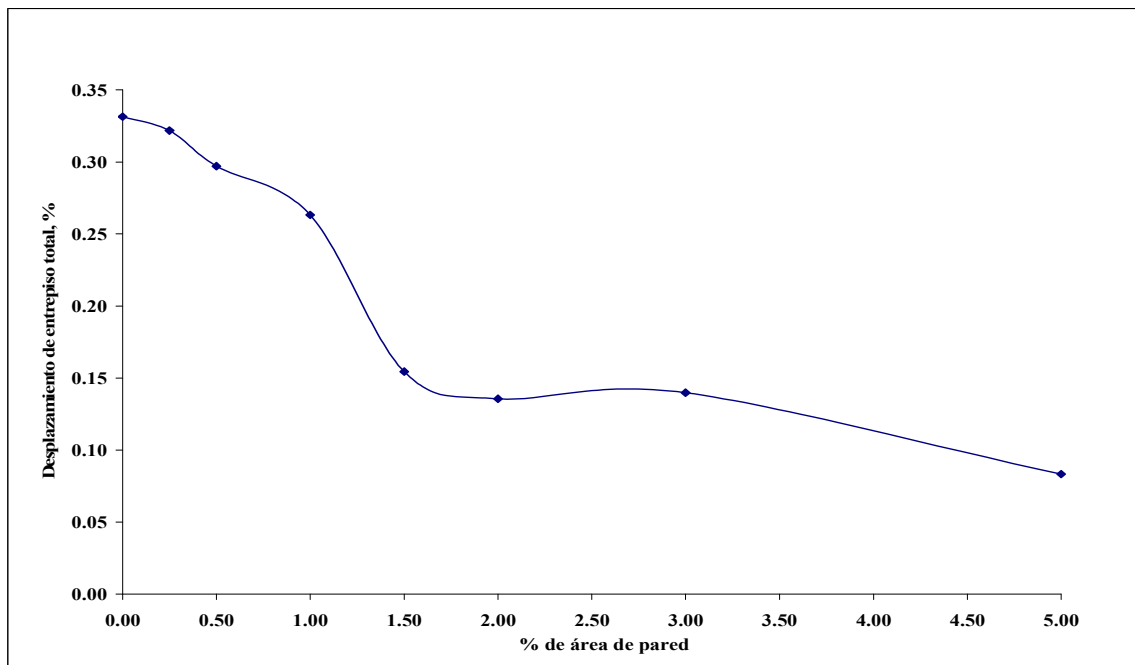


Figura 5.108. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

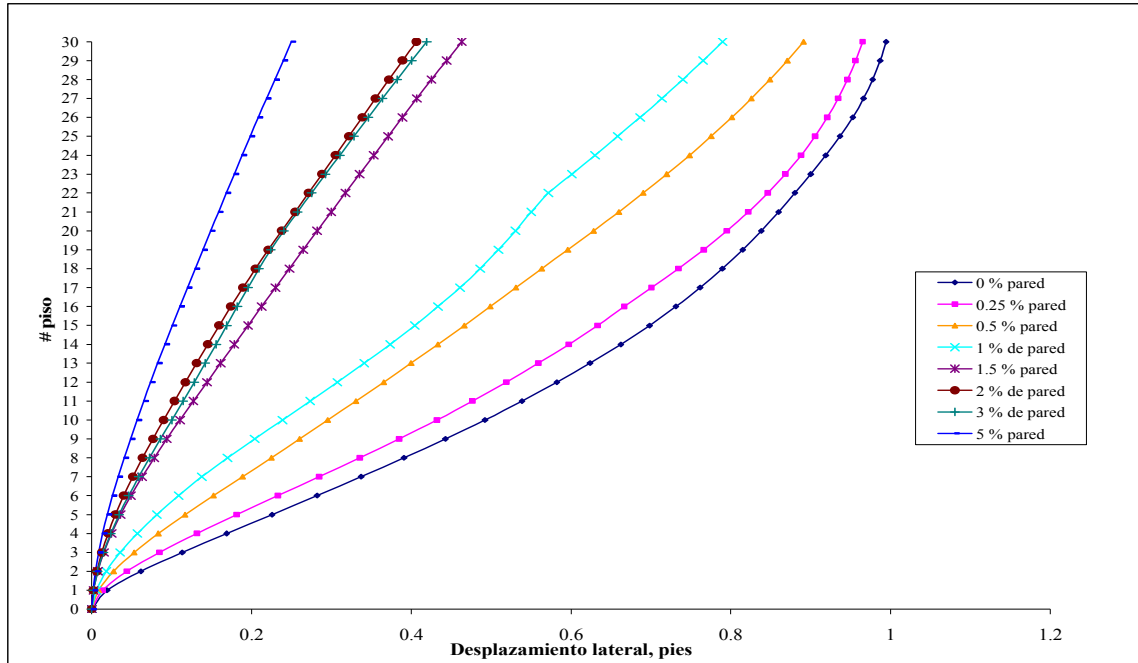


Figura 5.109. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de piso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 10'.

Tabla 5.41 Registro de San Juan. Desplazamiento de entrepiso. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12’.

Piso	Desplazamiento de entrepisos, %							
	% de área de pared							
	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	5
30	0.0843	0.1210	0.2193	0.2483	0.3619	0.3415	0.2548	0.1134
29	0.1086	0.1383	0.2334	0.2582	0.3652	0.3443	0.2567	0.1148
28	0.1379	0.1595	0.2488	0.2693	0.3679	0.3468	0.2586	0.1159
27	0.1677	0.1830	0.2671	0.2831	0.3700	0.3487	0.2603	0.1166
26	0.1953	0.2068	0.2870	0.2987	0.3711	0.3497	0.2616	0.1167
25	0.2194	0.2297	0.3076	0.3153	0.3708	0.3493	0.2623	0.1160
24	0.2396	0.2508	0.3283	0.3324	0.3692	0.3477	0.2623	0.1145
23	0.2553	0.2698	0.3481	0.3495	0.3658	0.3446	0.2613	0.1124
22	0.2670	0.2863	0.3669	0.3660	0.3612	0.3399	0.2594	0.1095
21	0.2747	0.3005	0.3842	0.3813	0.3559	0.3340	0.2567	0.1060
20	0.2793	0.3128	0.3998	0.3954	0.3502	0.3268	0.2528	0.1023
19	0.2817	0.3234	0.4134	0.4077	0.3457	0.3188	0.2485	0.0984
18	0.2841	0.3328	0.4252	0.4178	0.3436	0.3103	0.2432	0.0943
17	0.3091	0.3410	0.4348	0.4258	0.3421	0.3018	0.2372	0.0906
16	0.3328	0.3482	0.4424	0.4313	0.3398	0.2973	0.2308	0.0863
15	0.3542	0.3633	0.4481	0.4343	0.3363	0.2945	0.2238	0.0814
14	0.3732	0.3793	0.4518	0.4348	0.3313	0.2914	0.2166	0.0794
13	0.3927	0.3949	0.4537	0.4329	0.3248	0.2871	0.2095	0.0791
12	0.4092	0.4097	0.4548	0.4348	0.3168	0.2817	0.2024	0.0785
11	0.4214	0.4231	0.4557	0.4383	0.3077	0.2748	0.1947	0.0800
10	0.4390	0.4480	0.4595	0.4421	0.2989	0.2678	0.1888	0.0836
9	0.4431	0.4639	0.4544	0.4358	0.2881	0.2555	0.1822	0.0837
8	0.4424	0.4737	0.4464	0.4228	0.2762	0.2419	0.1734	0.0819
7	0.4381	0.4760	0.4335	0.4028	0.2602	0.2263	0.1620	0.0786
6	0.4354	0.4696	0.4133	0.3752	0.2394	0.2077	0.1478	0.0733
5	0.4380	0.4518	0.3829	0.3388	0.2134	0.1850	0.1305	0.0666
4	0.4369	0.4184	0.3398	0.2921	0.1818	0.1574	0.1101	0.0585
3	0.4142	0.3618	0.2804	0.2335	0.1438	0.1243	0.0862	0.0483
2	0.3427	0.2706	0.2011	0.1623	0.0988	0.0853	0.0584	0.0354
1	0.1609	0.1192	0.0897	0.0703	0.0438	0.0378	0.0258	0.0189
máximo	0.4431	0.4760	0.4595	0.4421	0.3711	0.3497	0.2623	0.1167
Desplazamiento de entrepiso total, %	0.2860	0.3036	0.3511	0.3351	0.2735	0.2522	0.1939	0.0726

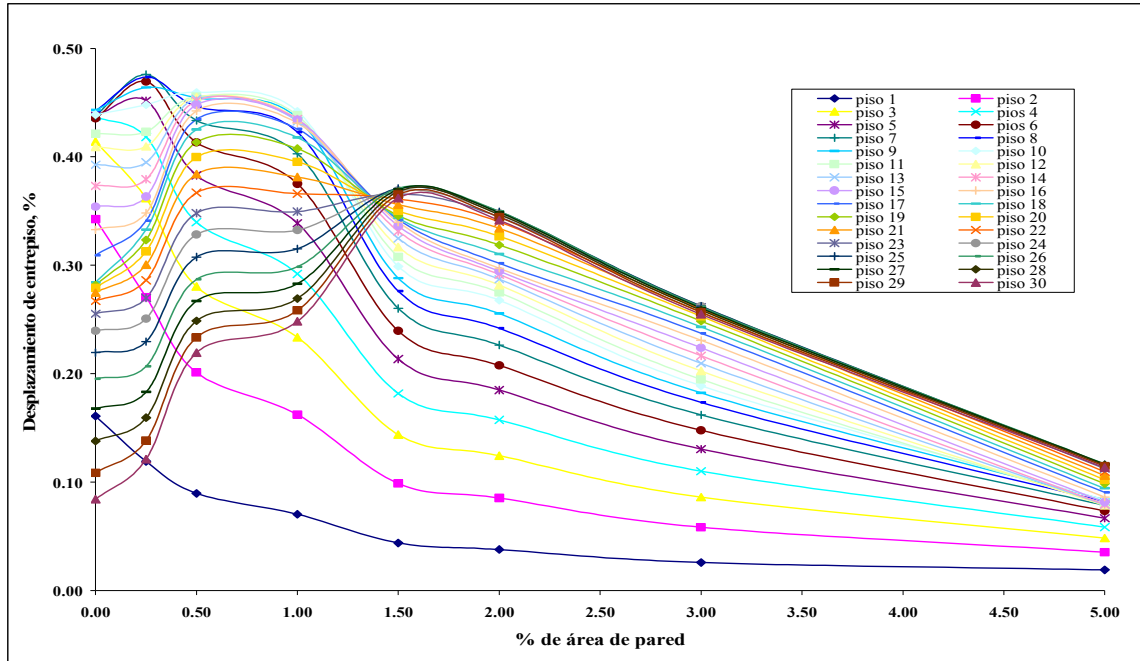


Figura 5.110. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

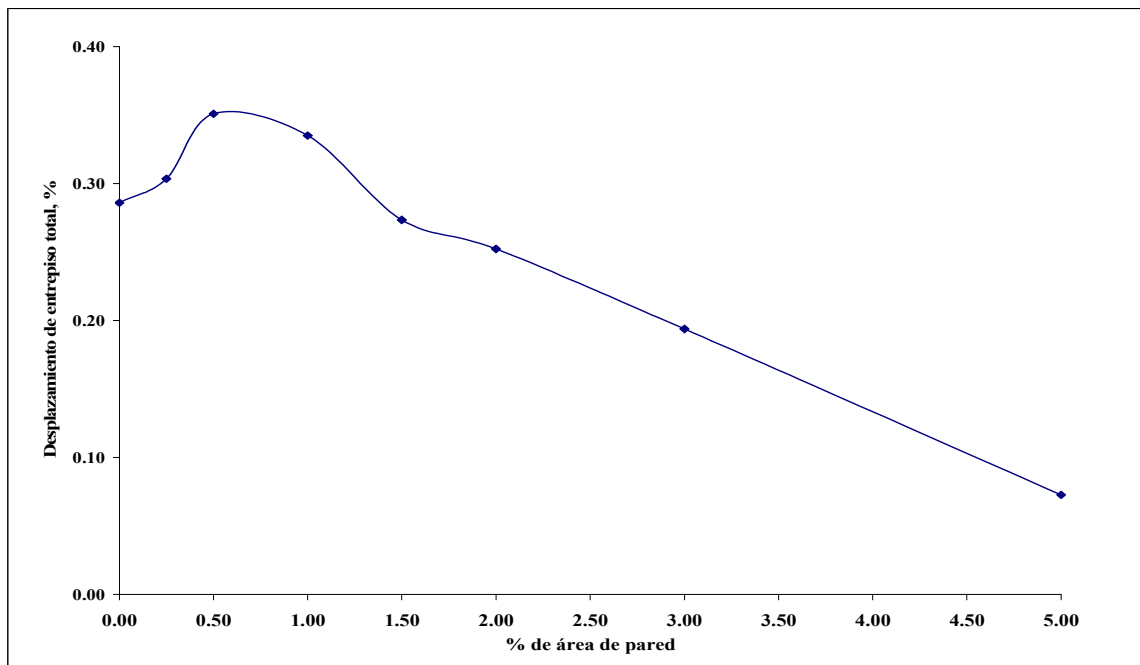


Figura 5.111. Registro de San Juan. Desplazamiento de Entrepiso Total vs. % de Área de Pared. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

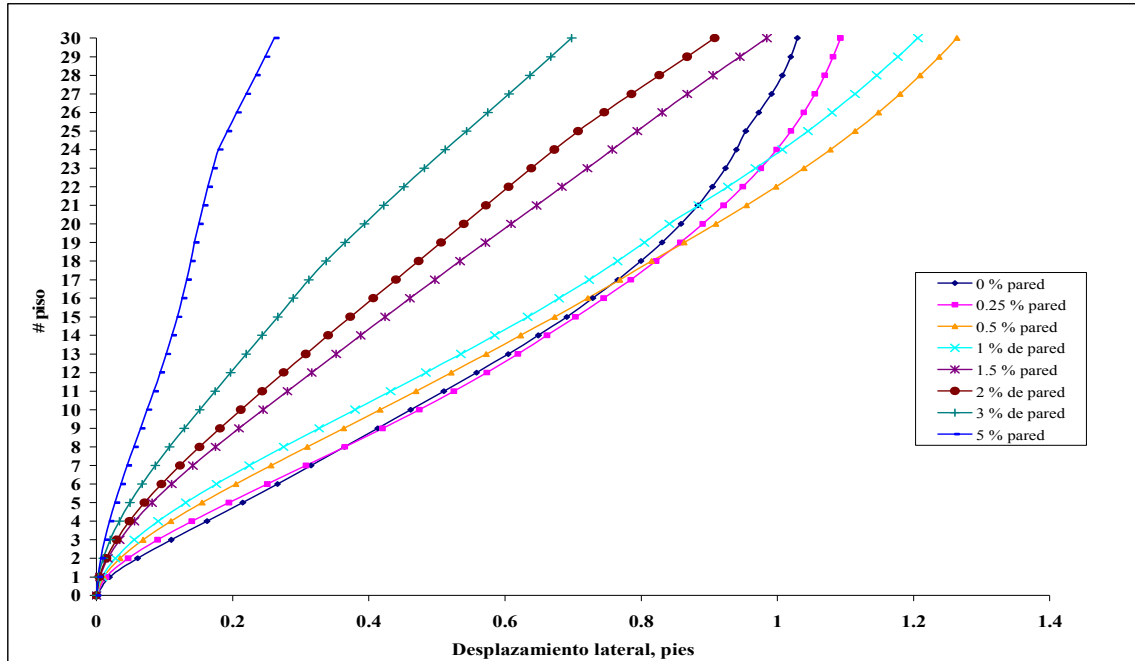


Figura 5.112. Registro de San Juan. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Edificio de 30 pisos. Altura de piso igual a 12'.

Dado que las gráficas de desplazamiento lateral vs. # de pisos corresponden a la deformada del edificio en el instante de tiempo en donde ocurrió el máximo para cada piso y no necesariamente esto ocurre en el mismo instante de tiempo. Por lo tanto, a modo de ejemplo vea la Figura 5.113 en donde se muestra el desplazamiento lateral vs. # de piso para el caso del edificio de 8 pisos, una altura de piso igual a 8' y el registro de Mayagüez/Ponce. En este caso se seleccionó el instante de tiempo en que ocurrió el máximo desplazamiento lateral en el techo y por consiguiente se seleccionó el desplazamiento lateral en ese mismo instante de tiempo para los demás pisos. De esta manera la deformada que se observa es la real ya que los desplazamientos laterales ocurren al mismo tiempo. No obstante comparando con la Figura 5.16 note que prácticamente no hay diferencia.

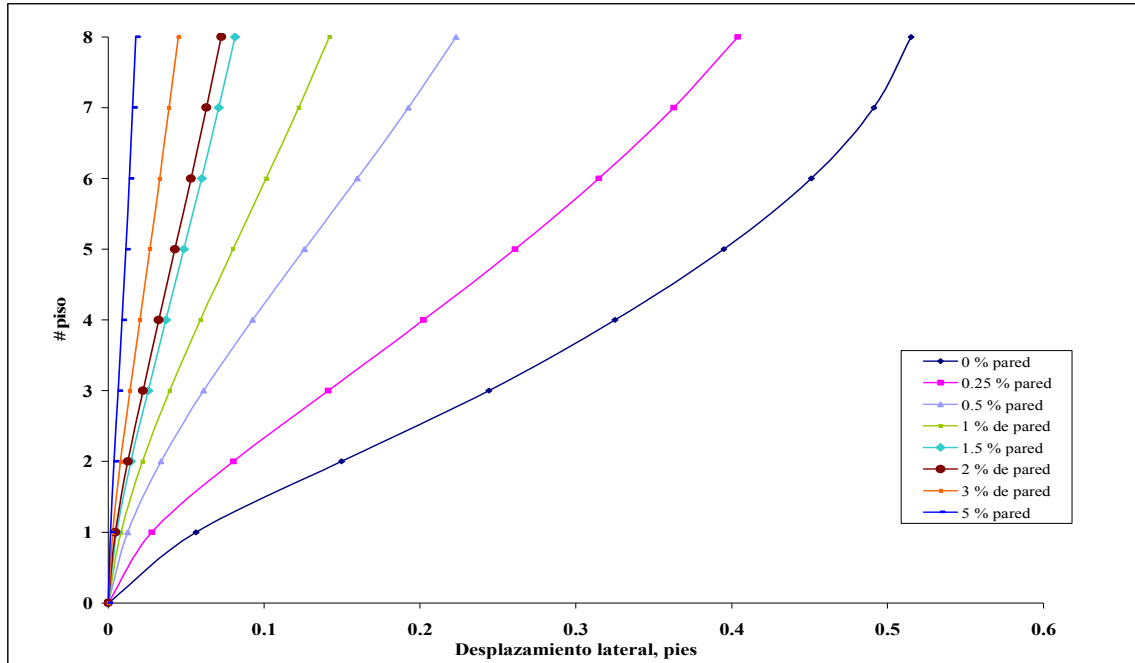


Figura 5.113. Registro de Mayagüez/Ponce. Desplazamiento Lateral vs. # de pisos. Deformada real del edificio. Edificio de 8 pisos. Altura de piso igual a 8'.

5.3. Estimación del Máximo Desplazamiento de Entrepiso

Se ha obtenido una fórmula para estimar el periodo fundamental de vibración. También, se cuenta con los desplazamientos de entrepiso máximos y desplazamientos de entrepiso promedios tabulado obtenido del análisis dinámico de los edificios con el programa Sap 2000 [19] y considerando secciones agrietadas. El próximo paso será aplicar la metodología previamente establecida para estimar el máximo desplazamiento de entrepiso. Para ello hemos de utilizar la ecuación 3.5 que aquí se rescribe

$$Drift_{\max} = \beta \alpha \left(\frac{S_D}{H_{efe}} \right) * 100 \quad (5.1)$$

Donde β relaciona el máximo desplazamiento de entrepiso con el desplazamiento de entrepiso promedio por medio de

$$\beta = \frac{Drift_{\max}}{Drift_{ave}} \quad (5.2)$$

El desplazamiento de entrepiso promedio ($Drift_{ave}$) se obtiene dividiendo el desplazamiento lateral en el techo calculado por medio del programa Sap 2000 entre la altura total del edificio y multiplicando por cien. De modo que

$$Drift_{ave} = \frac{\delta_R}{H} * 100 \quad (5.3)$$

Mientras que (α) establece la razón del desplazamiento lateral en el techo o piso superior calculado por medio del programa Sap 2000[19] (δ_R) y el desplazamiento en el techo obtenido por una relación lineal (δ_{RL}) considerando el desplazamiento espectral a una altura efectiva (H_{efe})

$$\alpha = \frac{\delta_R}{\delta_{RL}} \quad (5.4)$$

A sus vez el desplazamiento en el techo obtenido por una relación lineal (δ_{RL}) se obtiene utilizando

$$\delta_{RL} = \frac{H}{H_{efe}} * S_D \quad (5.5)$$

Donde H es la altura total del edificio, H_{efe} es la altura efectiva del edificio considerando un sistema de un grado de libertad el cual para efecto de esta proyecto se tomó como el 72 por ciento de la altura total del edificio (ver sección 5.3.2) o

$$H_{efe} = 0.72H \quad (5.6)$$

y (δ_D) es el desplazamiento espectral del edificio obtenido del espectro de desplazamiento para el registro sísmico en consideración.

5.3.1. Desplazamiento Espectral

En las Figuras 5.114 se muestra el espectro de desplazamiento correspondiente para los registros de aceleración de Mayagüez/Ponce y San Juan. El espectro de desplazamiento se realizó con un programa desarrollado en Matlab. Este programa también calcula el periodo de vibración fundamental con las ecuaciones anteriormente determinadas y busca en el espectro de desplazamiento el desplazamiento espectral correspondiente.

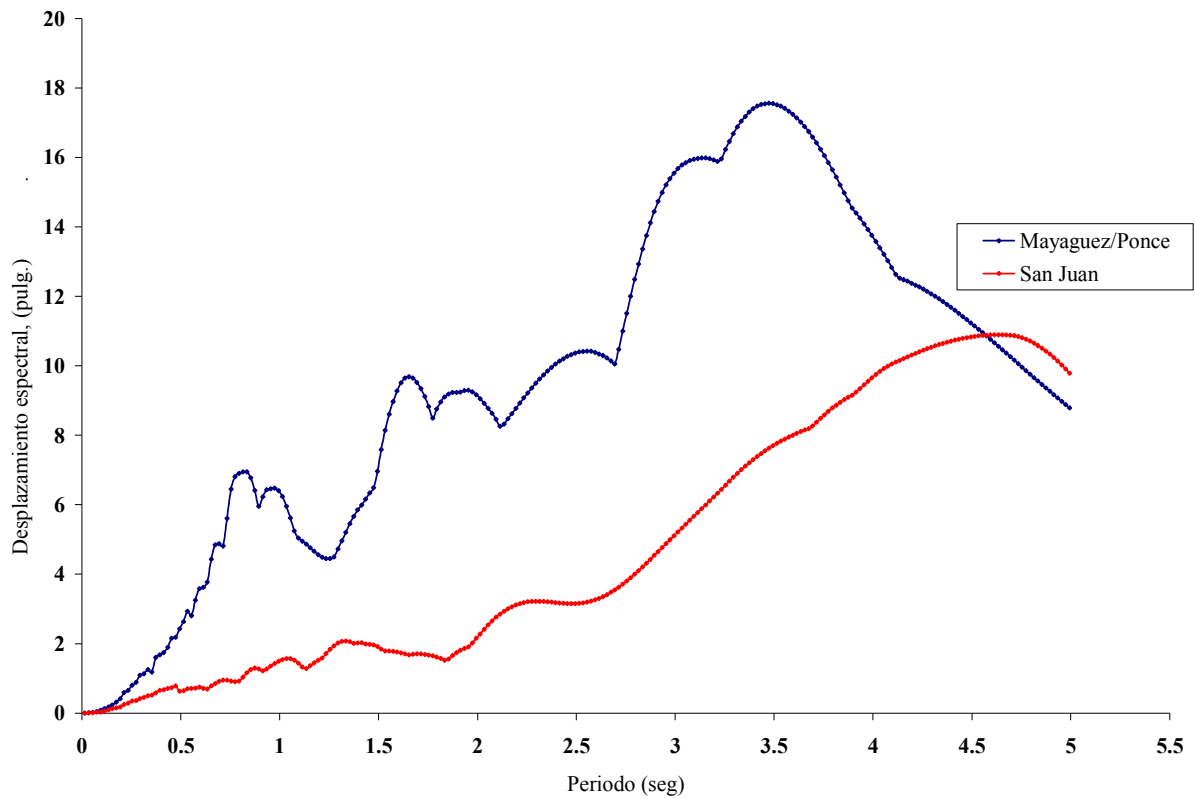


Figura 5.114. Espectro de desplazamiento para el registro de Mayagüez/Ponce y San Juan

5.3.2. Altura Efectiva de los Edificios

Se puede establecer una correlación entre el desplazamiento espectral (S_D) y el desplazamiento en el techo (δ_R). El desplazamiento espectral (S_D) ocurre a una altura efectiva la cual se puede determinar mediante un método simple. Un sistema de múltiples grados de libertad se puede representar mediante un sistema equivalente de un grado de libertad. En el sistema equivalente se concentra la masa de todos los pisos a un solo piso, la cual se conoce como la masa modal equivalente, a una altura modal equivalente (H_{efe}) (ver Figura 5.115)

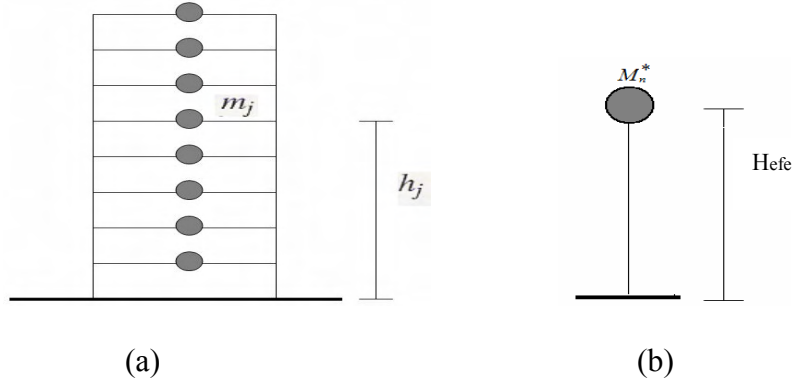


Figura 5.115. (a) Sistema original con j pisos. (b) Sistema de un piso con masa modal efectiva y altura modal efectiva

La altura efectiva se calcula con la siguiente ecuación:

$$H_{efe} = \frac{L_n^\phi}{L_n^h} \quad (5.9)$$

donde L_n^h y L_n^ϕ son propiedades modales:

$$L_n^h = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn} \quad (5.10)$$

$$L_n^\phi = \sum_{j=1}^N h_j m_j \phi_{jn} \quad (5.11)$$

donde ϕ_{jn} es el modo del piso j del modo n , m_j es la masa del piso j y h_j es la altura hasta el peso j . [6]

A continuación se presente un ejemplo de cómputo para calcular la altura efectiva para el Modo 1. Se considera el edificio de 8 pisos con 0 por ciento de área de pared por dirección y una altura de piso igual a 8'. En la Tabla 5.42 tenemos el primer modo de cada piso. La Figura 5.116 muestra la deformada del primero modo según aumenta la altura del edificio. La Tabla 5.43 tiene los valores necesarios para aplicar el procedimiento y calcular la altura efectiva.

Tabla 5.42 Deformada del 1^{er} modo para el edificio de 8 pisos.

# Piso	Modo (Φ)
8	0.10761
7	0.10302
6	0.09511
5	0.08371
4	0.06915
3	0.05201
2	0.03187
1	0.01197

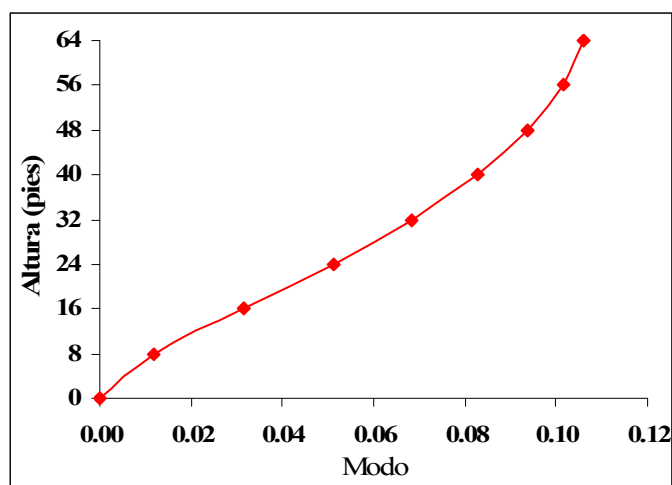


Figura 5.116. Modo 1. Edificio de 8 pisos

Tabla 5.43 Tabla para calcular altura efectiva.

# piso	altura (pies)	Modo	m	# piso(h)	$L_1^h = \sum_{j=1}^h m_j \phi_j$	$L_1^\phi = \sum_{j=1}^N h_j m_j \phi_j$
8	64	0.108	1m	8h	0.108m	0.861h m
7	56	0.103	1m	7h	0.103m	0.721h m
6	48	0.095	1m	6h	0.095m	0.571h m
5	40	0.084	1m	5h	0.095m	0.419h m
4	32	0.069	1m	4h	0.069m	0.277h m
3	24	0.052	1m	3h	0.052m	0.156h m
2	16	0.032	1m	2h	0.032m	0.064h m
1	8	0.012	1m	1h	0.012m	0.012h m
		0.554			0.554m	3.080h m

$$H_{efe} = \frac{L_n^\phi}{L_n^h} = \frac{3.080hm}{0.554m} = 5.55h$$

$$h = 8'$$

$$H_{efe} = 5.55 * 8' = 44.4'$$

$$H_T = 64'$$

$$\frac{H_{efe}}{H_T} = \frac{44.4}{64} = 0.69$$

$$H_{efe} = 0.69H_T$$

En resumen se realizó el mismo procedimiento para cada edificio y se preparó una tabla con todos los valores de H_{efe} / H . En la Tabla 5.44 se puede observar cómo varía el valor de la altura efectiva para cada caso. En términos generales la razón de la altura efectiva con la altura total de los edificios fluctúa entre 0.67 y 0.80. No obstante la mayoría de los puntos son o están más cerca de 0.72, por lo tanto y para simplificar el procedimiento se determinó utilizar 0.72 para todos los casos.

Tabla 5.44 Resumen razón de la altura efectiva a la altura total

H(pies)	24	30	36	64	80	96	96	120	144	144	180	216	192	240	288	240	300	360				
#pisos	3	3	3	8	8	8	12	12	12	18	18	18	24	24	24	30	30	30				
%ΔV	Hefectivo/H																		max	min	ave	σ
0	0.75	0.74	0.74	0.69	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.75	0.66	0.68	0.03
0.25	0.80	0.80	0.81	0.73	0.73	0.72	0.70	0.70	0.73	0.68	0.68	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.81	0.67	0.71	0.05
0.5	0.78	0.79	0.80	0.74	0.74	0.74	0.72	0.72	0.72	0.70	0.69	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.80	0.68	0.72	0.04
1	0.79	0.79	0.80	0.74	0.75	0.75	0.73	0.73	0.73	0.71	0.70	0.71	0.70	0.70	0.69	0.70	0.69	0.69	0.80	0.69	0.73	0.04
1.5	0.77	0.78	0.79	0.74	0.74	0.75	0.73	0.73	0.74	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.79	0.72	0.74	0.02
2	0.77	0.78	0.78	0.70	0.74	0.75	0.73	0.73	0.74	0.72	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.78	0.70	0.74	0.02
3	0.77	0.78	0.78	0.74	0.74	0.75	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.78	0.72	0.74	0.02
5	0.77	0.80	0.79	0.74	0.74	0.75	0.73	0.73	0.73	0.72	0.73	0.74	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.80	0.72	0.74	0.02
max	0.80	0.80	0.81	0.74	0.75	0.75	0.73	0.73	0.74	0.73	0.73	0.74	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73				
min	0.75	0.74	0.74	0.69	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66				
ave	0.78	0.78	0.79	0.73	0.73	0.74	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70				
σ	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03				

5.3.3. Determinación de los Valores de α y β

En la Tabla 5.45 tenemos resumido todos los datos necesarios para determinar α y β . La tabla contiene los valores para el edificio de 8 pisos y el registro de Mayagüez/Ponce. En la tabla H_{efe} es la altura efectiva, T_{ec} es el periodo fundamental de vibración calculado con las ecuaciones derivadas en la sección 5.1.2, $S_{D(ec)}$ es el desplazamiento espectral obtenido con el periodo fundamental de vibración (T_{ec}), δ_R , $Drift_{ave}$ y $Drift_{max}$ son el desplazamiento máximo en el techo, el desplazamiento de entrepiso promedio y el máximo desplazamiento de entrepiso respectivamente obtenidos con el programa Sap 2000.

Tabla 5.45 Valores de α y β . Edificio de 8 pisos. Registro de Mayagüez/Ponce

% W	h (ft)	H_{efe} (ft.)	T_{ec} (seg)	$S_{D(ec)}$ (in)	δ_R (in)	δ_{RL} (in)	α	$Drift_{ave}$	$Drift_{max}$	β
0	8	46.08	0.817	6.934	6.180	9.631	0.642	0.805	1.1880	1.48
0.25	8	46.08	0.615	3.621	4.847	5.029	0.964	0.631	0.7698	1.22
0.5	8	46.08	0.479	2.264	2.678	3.144	0.852	0.349	0.4229	1.21
1	8	46.08	0.403	1.690	1.705	2.347	0.726	0.222	0.2709	1.22
1.5	8	46.08	0.271	0.908	0.977	1.261	0.775	0.127	0.1443	1.13
2	8	46.08	0.249	0.741	0.870	1.029	0.846	0.113	0.1294	1.14
3	8	46.08	0.217	0.620	0.540	0.862	0.626	0.070	0.0799	1.14
5	8	46.08	0.181	0.302	0.213	0.420	0.507	0.028	0.0325	1.17
0	10	57.60	0.982	6.470	16.013	8.986	1.782	1.668	2.6144	1.57
0.25	10	57.60	0.790	6.901	9.460	9.585	0.987	0.985	1.2127	1.23
0.5	10	57.60	0.633	3.763	5.180	5.226	0.991	0.540	0.6452	1.20
1	10	57.60	0.543	2.914	3.583	4.047	0.885	0.373	0.4530	1.21
1.5	10	57.60	0.371	1.618	1.697	2.247	0.755	0.177	0.2145	1.21
2	10	57.60	0.343	1.281	1.574	1.779	0.885	0.164	0.1930	1.18
3	10	57.60	0.300	1.095	1.224	1.521	0.805	0.128	0.1517	1.19
5	10	57.60	0.249	0.782	0.388	1.086	0.357	0.040	0.0464	1.15
0	12	69.12	1.154	4.759	5.435	6.609	0.822	0.472	0.8355	1.77
0.25	12	69.12	0.971	6.473	8.326	8.990	0.926	0.723	0.9698	1.34
0.5	12	69.12	0.794	6.902	8.818	9.586	0.920	0.765	0.9098	1.19
1	12	69.12	0.691	4.886	5.517	6.786	0.813	0.479	0.5920	1.24
1.5	12	69.12	0.480	2.264	2.572	3.144	0.818	0.223	0.2707	1.21
2	12	69.12	0.446	1.929	2.376	2.680	0.887	0.206	0.2463	1.19
3	12	69.12	0.392	1.675	1.745	2.327	0.750	0.151	0.1855	1.22
5	12	69.12	0.322	1.175	0.964	1.632	0.591	0.084	0.0953	1.14

Se intentó de varias formas buscar alguna relación entre los valores de α y β . Sin embargo estos valores no mostraban ninguna tendencia en particular. Se separaron los valores por porciento de área de pared y se graficó la altura vs. α así como altura vs. β para cada caso. Se intentó hacer una regresión con un polinomio de grado 9. Todas las demás alternativas daban un porciento de error muy grande para varios de los casos. El polinomio de grado 9, aunque mejoraba muchísimo los resultados, dejaba de ser coherente para el último tramo. Si se quiere estimar máximo desplazamiento de entrepiso para edificio con alturas que no están dentro de aquellos analizados en este estudio, se obtendrían unos valores poco reales si están dentro del último tramo por ejemplo. Básicamente este tramo correspondía a una altura de 300 a 360 pie. En la Figura 5.117 se muestra lo explicado anteriormente.

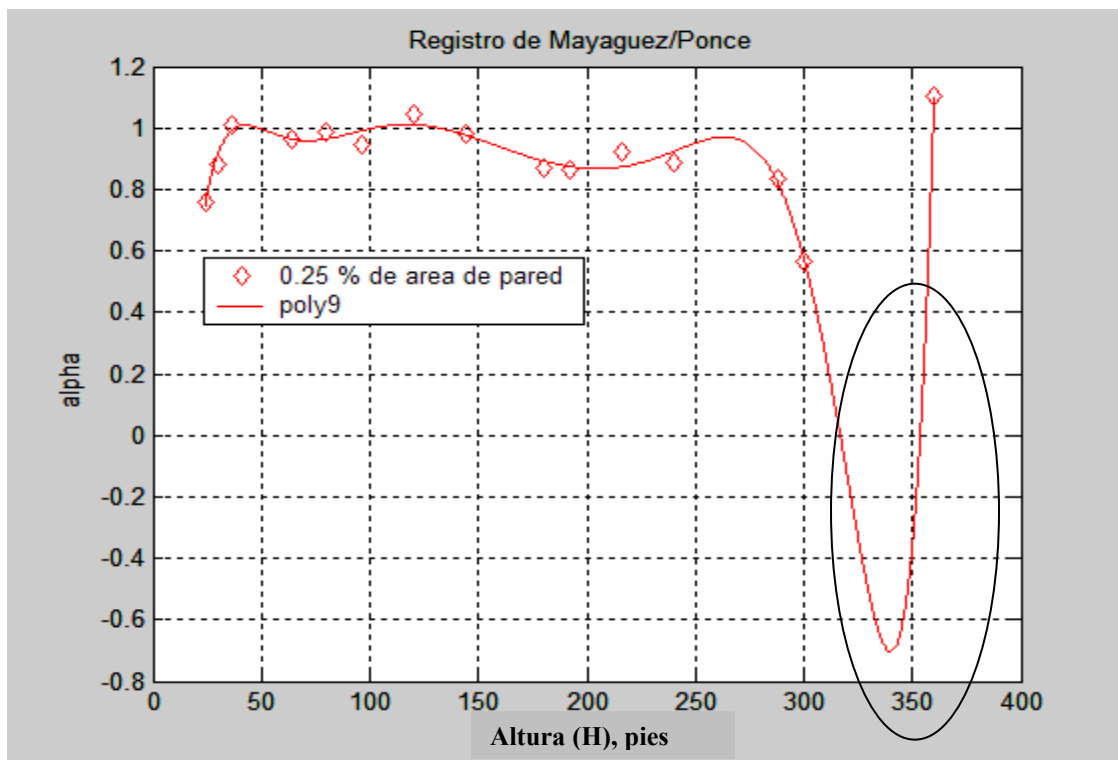
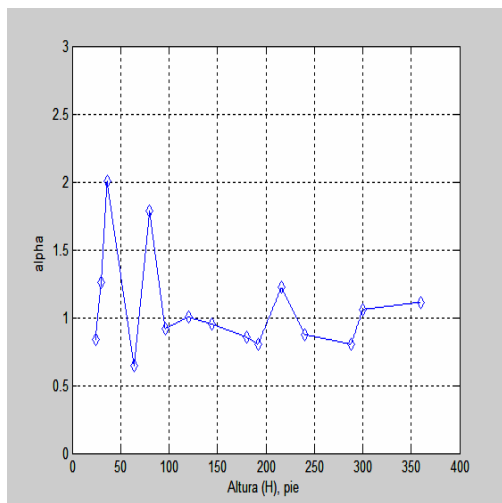


Figura 5.117. Alpha vs. Altura. Edificio con 0.25 % de área de pared

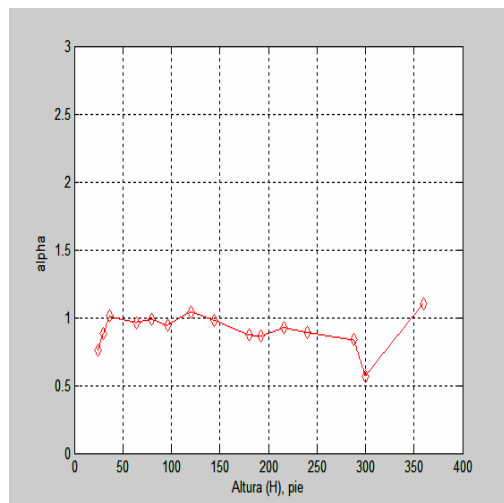
Finalmente se concluyó que la mejor alternativa era unir los puntos mediante líneas rectas. De esta manera para nuestros edificios los valores de α y β son básicamente muy similares. Solo en los casos en donde se repite la altura total del edificio se promedia el valor de α y β por lo que en estos casos el porcentaje de error es mayor. Para cualquier otro caso, el programa busca el valor de α y β interpolando los puntos originales, sin desviarse drásticamente del posible valor esperado. En las Tablas 5.46 a 5.49 se encuentra resumido los valores de α y β para los registros de aceleración de Mayagüez/Ponce y San Juan. La Figura 5.118 a 5.121 muestran las gráficas con los valores de α y β vs. altura del edificio.

Tabla 5.46 Registro de Mayagüez/Ponce. Resumen valores de α .

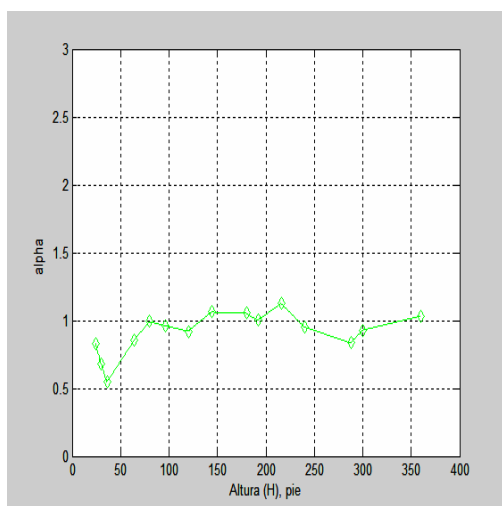
# pisos	3		8		12		18		24		30	
	H	α	H	α	H	α	H	α	H	α	H	α
W (%)	(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)	
0	24	0.84	64	1.19	96	1.01	144	0.98	192	0.81	240	0.91
0.25	24	0.76	64	0.77	96	0.96	144	0.89	192	0.86	240	0.94
0.5	24	0.83	64	0.42	96	1.01	144	0.99	192	1.00	240	1.08
1	24	0.92	64	0.27	96	1.02	144	1.05	192	1.02	240	1.08
1.5	24	0.86	64	0.14	96	0.98	144	0.99	192	1.28	240	1.14
2	24	0.91	64	0.13	96	0.93	144	1.08	192	1.20	240	1.10
3	24	0.99	64	0.08	96	0.96	144	1.23	192	1.00	240	1.18
5	24	0.94	64	0.03	96	0.57	144	0.72	192	0.83	240	1.53
0	30	1.26	80	2.61	120	1.00	180	0.86	240	0.84	300	1.06
0.25	30	0.88	80	1.21	120	1.04	180	0.87	240	0.84	300	0.57
0.5	30	0.68	80	0.65	120	0.92	180	1.05	240	0.82	300	0.93
1	30	0.78	80	0.45	120	1.03	180	1.03	240	0.81	300	0.94
1.5	30	0.59	80	0.21	120	0.84	180	1.06	240	0.75	300	1.26
2	30	0.71	80	0.19	120	0.97	180	1.04	240	0.76	300	1.09
3	30	0.73	80	0.15	120	0.55	180	1.02	240	0.79	300	1.13
5	30	0.53	80	0.05	120	0.62	180	0.62	240	1.06	300	0.79
0	36	2.00	96	0.84	144	0.92	216	1.22	288	0.80	360	1.11
0.25	36	1.01	96	0.97	144	1.07	216	0.92	288	0.83	360	1.10
0.5	36	0.55	96	0.91	144	1.14	216	1.13	288	0.83	360	1.03
1	36	0.67	96	0.59	144	1.02	216	1.06	288	0.81	360	1.12
1.5	36	0.50	96	0.27	144	1.14	216	1.09	288	0.76	360	1.25
2	36	0.60	96	0.25	144	1.03	216	0.99	288	0.77	360	1.10
3	36	0.57	96	0.19	144	1.08	216	1.26	288	0.77	360	1.16
5	36	0.43	96	0.10	144	0.62	216	1.30	288	0.43	360	1.05



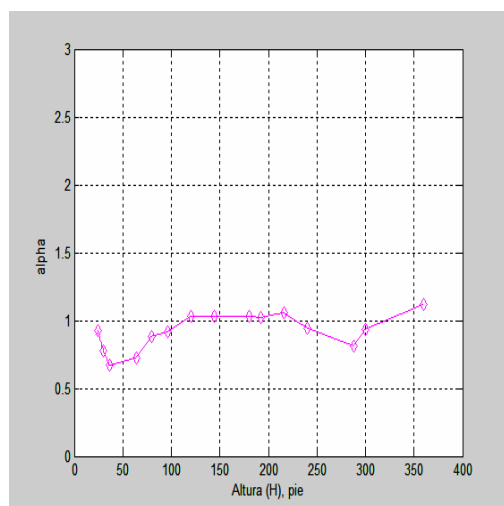
(a)



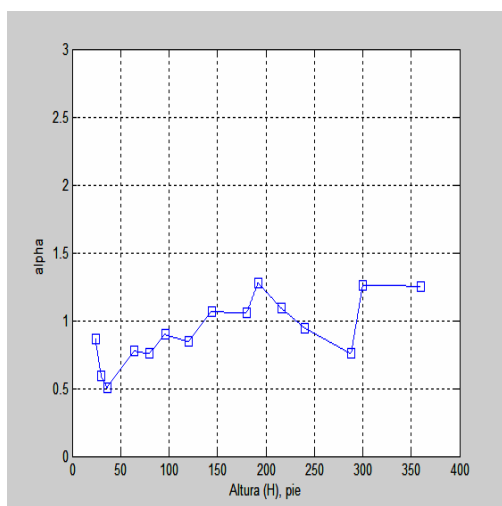
(b)



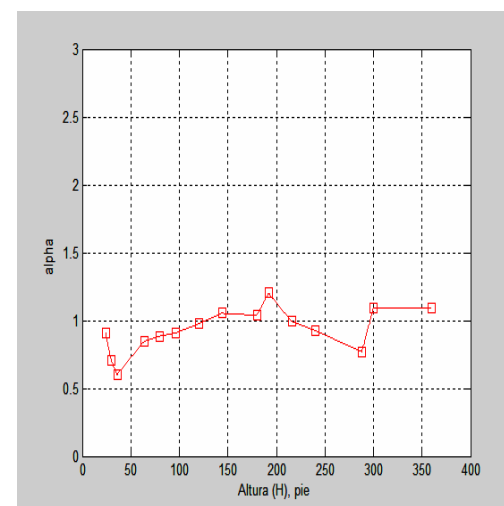
(b)



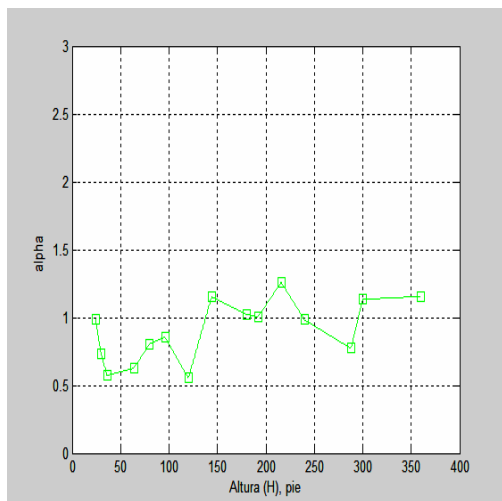
(d)



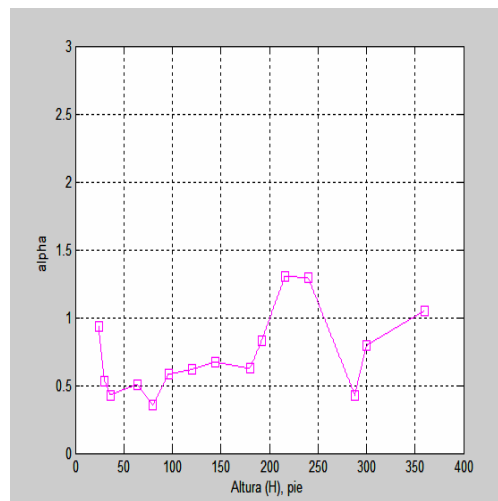
(e)



(f)



(g)

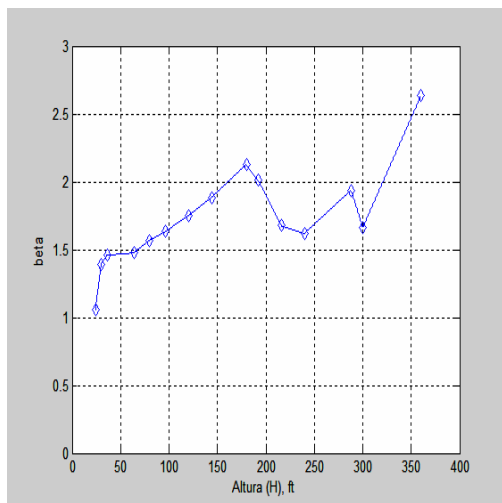


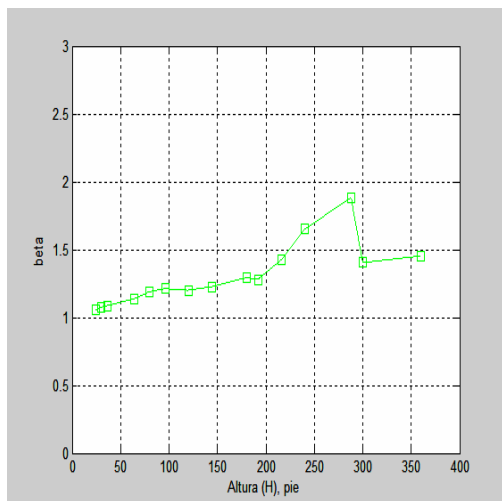
(h)

Figura 5.118. Registro de Mayagüez/Ponce. Valores de α . (a) 0% de área de pared; (b) 0.25 % de área de pared; (c) 0.50% de área de pared; (d) 1 % de área de pared; (e) 1.5% de área de pared; (f) 2 % de área de pared; (g) 3% de área de pared; (h) 5 % de área de pared

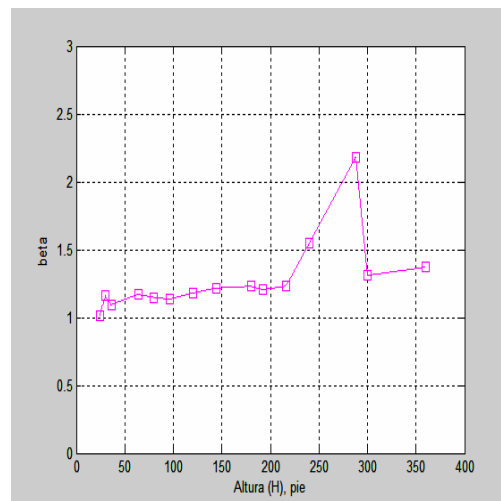
Tabla 5.47 Registro de Mayagüez/Ponce Resumen valores de β .

# pisos	H	3	H	8	H	12	H	18	H	24	H	30
	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β
W (%)	(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)	
0	24	1.37	64	0.00	96	1.49	144	1.56	192	2.01	240	1.55
0.25	24	1.14	64	0.00	96	1.40	144	1.46	192	1.85	240	1.52
0.5	24	1.07	64	0.00	96	1.19	144	1.21	192	1.38	240	1.37
1	24	1.08	64	0.00	96	1.20	144	1.21	192	1.30	240	1.39
1.5	24	1.06	64	0.00	96	1.20	144	1.27	192	1.39	240	1.39
2	24	1.05	64	0.00	96	1.20	144	1.24	192	1.45	240	1.36
3	24	1.10	64	0.00	96	1.20	144	1.23	192	1.28	240	1.36
5	24	1.32	64	0.00	96	1.13	144	1.20	192	1.21	240	1.27
0	30	1.39	80	0.00	120	1.75	180	2.13	240	1.69	300	1.66
0.25	30	1.18	80	0.00	120	1.38	180	1.46	240	1.76	300	1.61
0.5	30	1.08	80	0.00	120	1.22	180	1.25	240	1.77	300	1.56
1	30	1.09	80	0.00	120	1.22	180	1.29	240	1.96	300	1.78
1.5	30	1.08	80	0.00	120	1.25	180	1.37	240	2.12	300	1.60
2	30	1.07	80	0.00	120	1.23	180	1.32	240	1.83	300	1.55
3	30	1.08	80	0.00	120	1.20	180	1.29	240	1.94	300	1.40
5	30	1.16	80	0.00	120	1.18	180	1.23	240	1.82	300	1.31
0	36	1.46	96	0.00	144	2.21	216	1.68	288	1.94	360	2.63
0.25	36	1.18	96	0.00	144	1.33	216	1.61	288	1.92	360	2.20
0.5	36	1.10	96	0.00	144	1.29	216	1.38	288	1.93	360	1.57
1	36	1.12	96	0.00	144	1.21	216	1.24	288	1.88	360	1.34
1.5	36	1.09	96	0.00	144	1.24	216	1.31	288	2.26	360	1.70
2	36	1.08	96	0.00	144	1.23	216	1.31	288	1.99	360	1.38
3	36	1.09	96	0.00	144	1.23	216	1.42	288	1.88	360	1.45
5	36	1.09	96	0.00	144	1.23	216	1.23	288	2.18	360	1.37





(g)

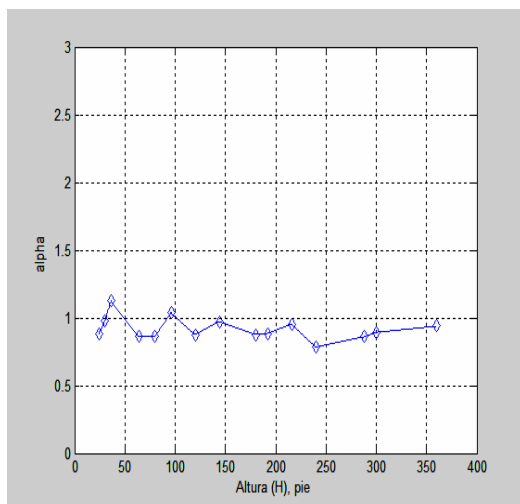


(h)

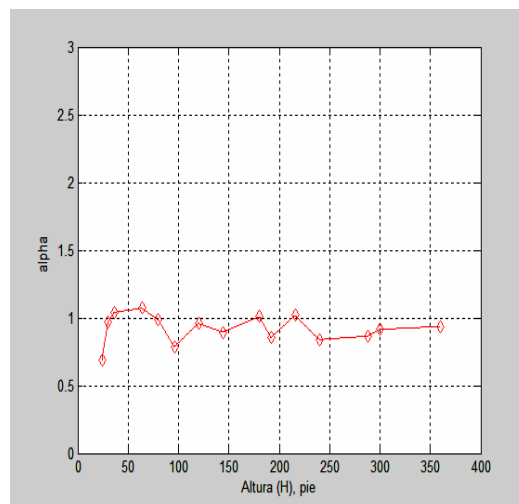
Figura 5.119. Registro de Mayagüez/Ponce. Valores de β . (a) 0% de área de pared; (b) 0.25 % de área de pared; (c) 0.50% de área de pared; (d) 1 % de área de pared; (e) 1.5% de área de pared; (f) 2 % de área de pared; (g) 3% de área de pared; (h) 5 % de área de pared

Tabla 5.48 Registro de San Juan. Resumen valores de α .

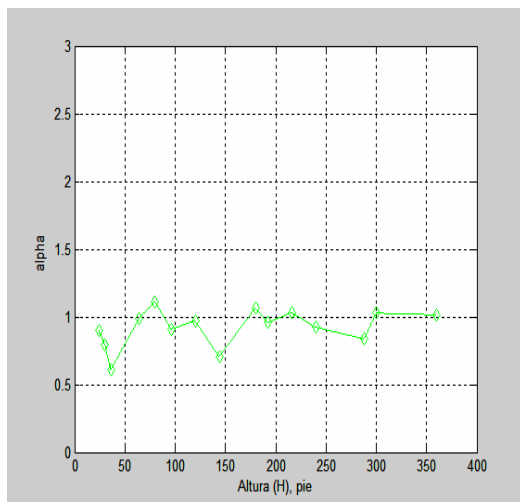
# pisos	H	3	H	8	H	12	H	18	H	24	H	30
	(ft)	α	(ft)	α	(ft)	α	(ft)	α	(ft)	α	(ft)	α
W (%)	(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)	
0	24	0.88	64	0.86	96	0.97	144	0.86	192	0.88	240	0.75
0.25	24	0.69	64	1.07	96	0.93	144	0.90	192	0.85	240	0.85
0.5	24	0.90	64	0.99	96	0.98	144	0.72	192	0.96	240	1.04
1	24	0.90	64	0.79	96	0.99	144	1.04	192	1.07	240	1.06
1.5	24	0.88	64	0.80	96	1.09	144	1.08	192	1.03	240	1.36
2	24	1.12	64	0.97	96	0.97	144	1.22	192	1.21	240	1.02
3	24	1.26	64	0.70	96	0.94	144	1.06	192	1.09	240	1.08
5	24	1.20	64	0.51	96	0.62	144	1.07	192	0.78	240	0.90
0	30	0.97	80	0.86	120	0.88	180	0.88	240	0.82	300	0.89
0.25	30	0.97	80	0.99	120	0.96	180	1.01	240	0.83	300	0.92
0.5	30	0.80	80	1.11	120	0.97	180	1.07	240	0.80	300	1.03
1	30	0.67	80	0.95	120	1.07	180	1.12	240	0.80	300	1.09
1.5	30	0.64	80	0.82	120	0.91	180	1.27	240	0.83	300	1.12
2	30	0.73	80	0.83	120	1.10	180	1.18	240	0.74	300	1.11
3	30	0.81	80	0.87	120	1.02	180	1.12	240	0.74	300	1.13
5	30	0.58	80	0.48	120	0.77	180	0.79	240	0.63	300	1.33
0	36	1.12	96	1.11	144	1.09	216	0.95	288	0.86	360	0.94
0.25	36	1.04	96	0.64	144	0.89	216	1.02	288	0.87	360	0.94
0.5	36	0.61	96	0.84	144	0.68	216	1.03	288	0.84	360	1.01
1	36	0.67	96	0.76	144	1.01	216	1.10	288	0.83	360	1.02
1.5	36	0.47	96	0.65	144	0.64	216	1.09	288	0.76	360	1.05
2	36	0.58	96	0.62	144	0.84	216	0.99	288	0.75	360	1.06
3	36	0.65	96	0.60	144	0.84	216	1.10	288	0.77	360	1.08
5	36	0.59	96	0.32	144	0.91	216	0.89	288	0.91	360	0.71



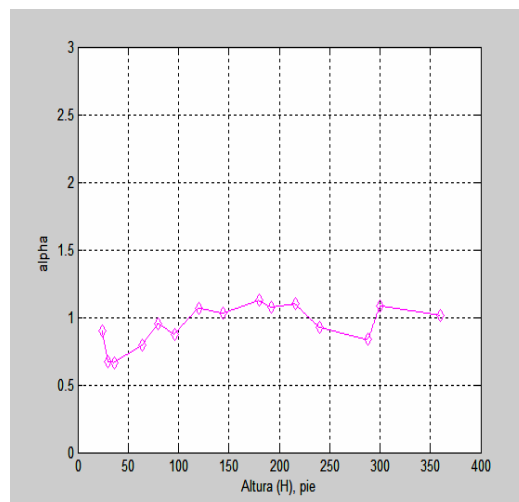
(a)



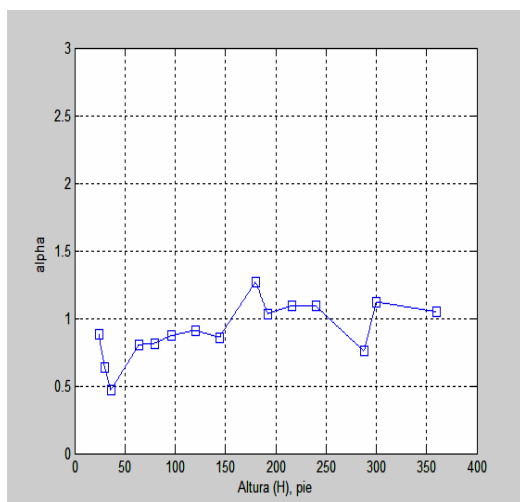
(b)



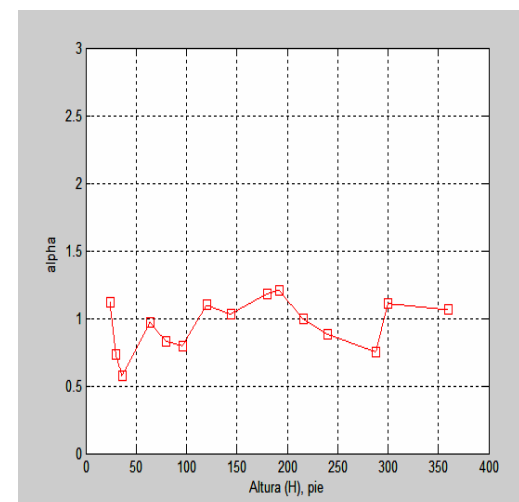
(c)



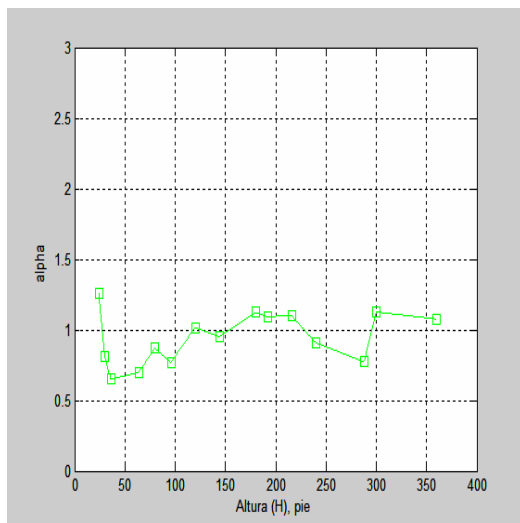
(d)



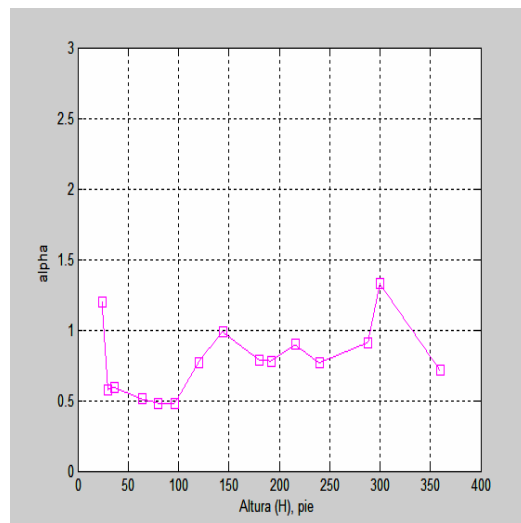
(e)



(f)



(g)

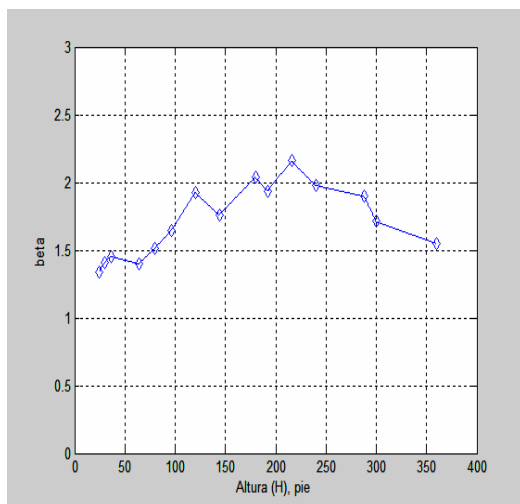


(h)

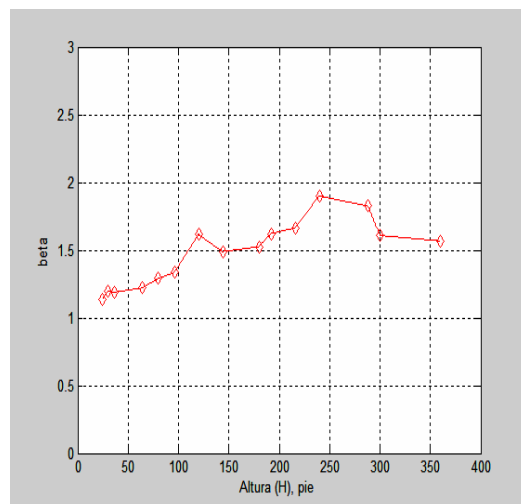
Figura 5.120. Registro de San Juan. Valores de α . (a) 0% de área de pared; (b) 0.25 % de área de pared; (c) 0.50% de área de pared; (d) 1 % de área de pared; (e) 1.5% de área de pared; (f) 2 % de área de pared; (g) 3% de área de pared; (h) 5 % de área de pared

Tabla 5.49 Registro de San Juan. Resumen valores de β .

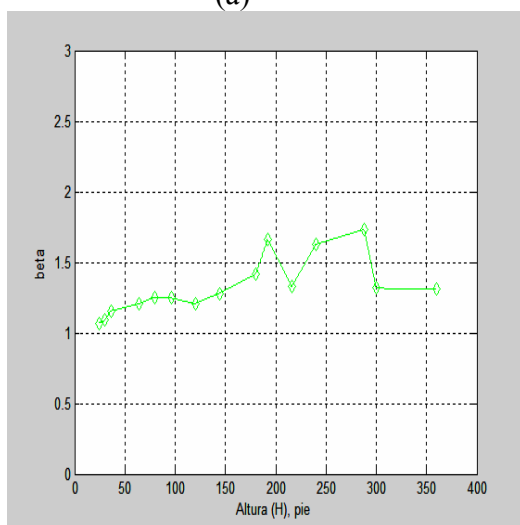
# pisos	H	3	H	8	H	12	H	18	H	24	H	30
	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β	(ft)	β
W (%)	(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)		(pies)	
0	24	1.34	64	1.40	96	1.50	144	2.01	192	1.94	240	1.97
0.25	24	1.14	64	1.22	96	1.38	144	1.80	192	1.62	240	1.83
0.5	24	1.07	64	1.21	96	1.24	144	1.34	192	1.67	240	1.43
1	24	1.08	64	1.20	96	1.25	144	1.34	192	1.41	240	1.35
1.5	24	1.06	64	1.14	96	1.20	144	1.28	192	1.47	240	1.50
2	24	1.05	64	1.14	96	1.20	144	1.23	192	1.40	240	1.61
3	24	1.06	64	1.18	96	1.20	144	1.25	192	1.34	240	1.32
5	24	1.28	64	1.15	96	1.13	144	1.20	192	1.20	240	1.24
0	30	1.41	80	1.51	120	1.93	180	2.04	240	1.99	300	1.71
0.25	30	1.20	80	1.29	120	1.62	180	1.53	240	1.98	300	1.61
0.5	30	1.09	80	1.25	120	1.21	180	1.41	240	1.82	300	1.32
1	30	1.09	80	1.31	120	1.29	180	1.46	240	1.81	300	1.32
1.5	30	1.08	80	1.20	120	1.29	180	1.39	240	2.56	300	1.36
2	30	1.07	80	1.21	120	1.31	180	1.31	240	2.05	300	1.40
3	30	1.07	80	1.21	120	1.35	180	1.27	240	2.00	300	1.49
5	30	1.16	80	1.13	120	1.18	180	1.27	240	1.78	300	1.36
0	36	1.45	96	1.79	144	1.51	216	2.16	288	1.90	360	1.55
0.25	36	1.19	96	1.29	144	1.18	216	1.66	288	1.83	360	1.57
0.5	36	1.16	96	1.25	144	1.22	216	1.33	288	1.73	360	1.31
1	36	1.14	96	1.31	144	1.28	216	1.34	288	1.75	360	1.32
1.5	36	1.08	96	1.20	144	1.26	216	1.44	288	2.11	360	1.36
2	36	1.08	96	1.21	144	1.26	216	1.28	288	2.15	360	1.39
3	36	1.09	96	1.21	144	1.30	216	1.49	288	2.11	360	1.35
5	36	1.09	96	1.13	144	1.18	216	1.24	288	2.00	360	1.61



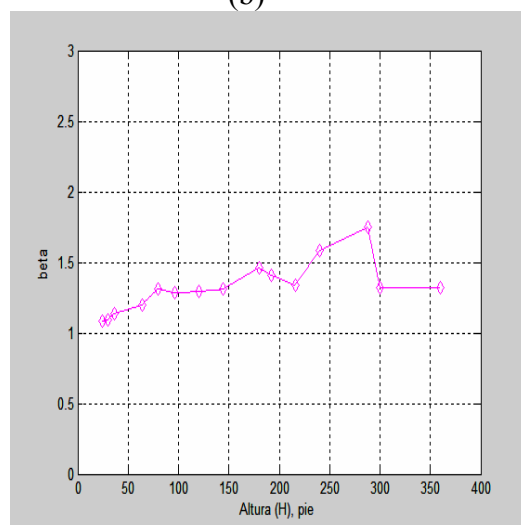
(a)



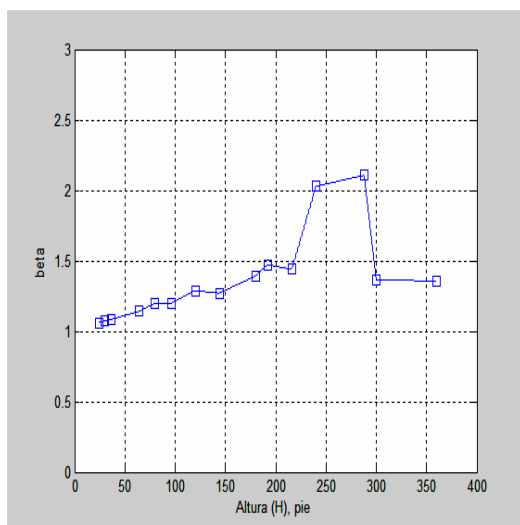
(b)



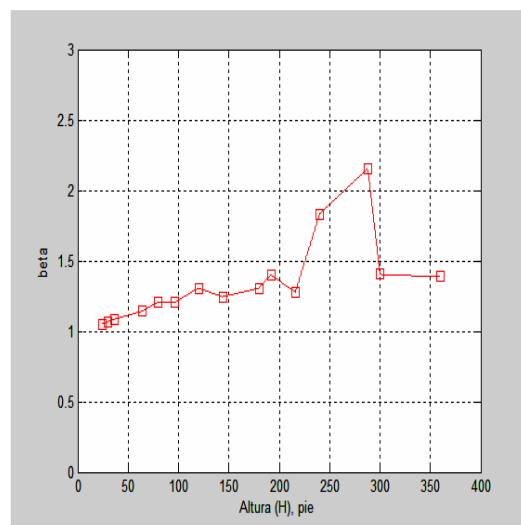
(c)



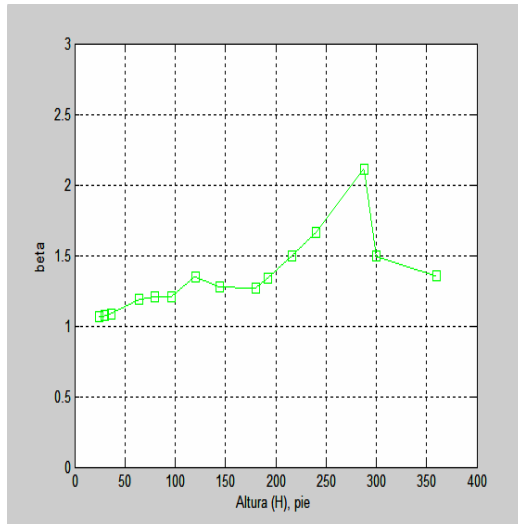
(d)



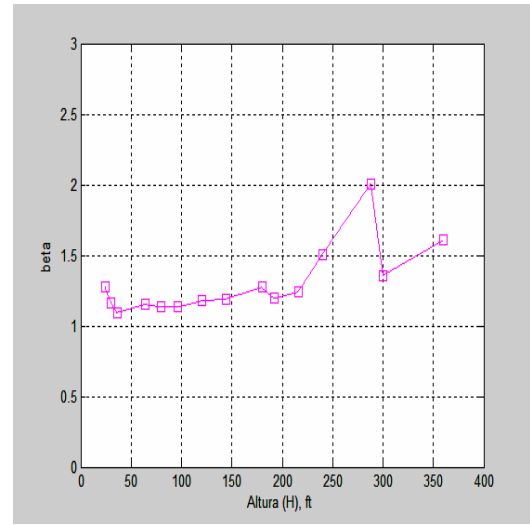
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 5.121. Registro de San Juan. Valores de β . (a) 0% de área de pared; (b) 0.25 % de área de pared; (c) 0.50% de área de pared; (d) 1 % de área de pared; (e) 1.5% de área de pared; (f) 2 % de área de pared; (g) 3% de área de pared; (h) 5 % de área de pared

5.4. Resultados Finales

Finalmente se resumen los resultados para todos los casos en las Tablas 5.50 a la 5.55. Los resultados que se han obtenido mediante las ecuaciones encontradas son: el periodo fundamental de vibración (T_{ec}) y el máximo desplazamiento de entrepiso ($Drift_{\max(ec)}$).

Tabla 5.50 Resultados para el edificio de 3 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error
24	0.00	0.423	0.436	3.080	1.046	1.046	0.000	0.399	0.399	0.000
24	0.25	0.196	0.209	6.668	0.220	0.220	0.000	0.090	0.090	0.000
24	0.50	0.119	0.124	4.477	0.069	0.069	0.000	0.032	0.032	0.000
24	1.00	0.088	0.086	-2.477	0.034	0.034	0.000	0.017	0.017	0.000
24	1.50	0.061	0.062	0.997	0.014	0.014	0.000	0.008	0.008	0.000
24	2.00	0.055	0.053	-4.224	0.009	0.009	0.000	0.007	0.007	0.000
24	3.00	0.048	0.044	-7.830	0.007	0.007	0.000	0.005	0.005	0.000
24	5.00	0.039	0.040	1.050	0.004	0.004	0.000	0.002	0.002	0.000
30	0.00	0.582	0.490	-15.789	1.618	1.618	0.000	0.351	0.351	0.000
30	0.25	0.262	0.268	2.173	0.353	0.353	0.000	0.161	0.161	0.000
30	0.50	0.154	0.174	13.500	0.090	0.090	0.000	0.050	0.050	0.000
30	1.00	0.115	0.130	13.333	0.053	0.053	0.000	0.024	0.024	0.000
30	1.50	0.077	0.090	16.534	0.018	0.018	0.000	0.009	0.009	0.000
30	2.00	0.070	0.078	12.261	0.016	0.016	0.000	0.007	0.007	0.000
30	3.00	0.061	0.067	9.065	0.012	0.012	0.000	0.006	0.006	0.000
30	5.00	0.055	0.059	7.634	0.006	0.006	0.000	0.004	0.004	0.000
36	0.00	0.761	0.545	-28.349	2.717	2.717	0.000	0.376	0.376	0.000
36	0.25	0.337	0.327	-2.830	0.456	0.456	0.000	0.187	0.187	0.000
36	0.50	0.193	0.226	17.031	0.133	0.133	0.000	0.063	0.063	0.000
36	1.00	0.145	0.175	20.884	0.076	0.076	0.000	0.037	0.037	0.000
36	1.50	0.095	0.119	25.394	0.026	0.026	0.000	0.011	0.011	0.000
36	2.00	0.086	0.105	21.803	0.022	0.022	0.000	0.011	0.011	0.000
36	3.00	0.076	0.090	18.731	0.016	0.016	0.000	0.008	0.008	0.000
36	5.00	0.068	0.079	15.078	0.008	0.008	0.000	0.005	0.005	0.000

Tabla 5.51 Resultados para el edificio de 8 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error
64	0.00	0.817	0.817	0.024	1.188	1.188	0.000	0.230	0.230	0.000
64	0.25	0.594	0.617	3.917	0.770	0.774	0.000	0.168	0.168	0.000
64	0.50	0.430	0.478	11.263	0.423	0.420	0.000	0.162	0.162	0.000
64	1.00	0.353	0.401	13.514	0.271	0.271	0.000	0.117	0.117	0.000
64	1.50	0.240	0.272	13.587	0.144	0.142	0.000	0.058	0.057	0.000
64	2.00	0.218	0.246	12.791	0.129	0.131	0.000	0.056	0.056	0.000
64	3.00	0.192	0.216	12.465	0.080	0.079	0.000	0.039	0.039	0.000
64	5.00	0.157	0.182	15.802	0.033	0.034	0.000	0.017	0.017	0.000
80	0.00	0.954	0.982	2.957	2.614	2.614	0.000	0.275	0.275	0.000
80	0.25	0.791	0.792	0.019	1.213	1.213	0.000	0.169	0.169	0.000
80	0.50	0.603	0.632	4.751	0.645	0.644	0.000	0.141	0.141	0.000
80	1.00	0.460	0.540	17.414	0.453	0.453	0.000	0.128	0.128	0.000
80	1.50	0.324	0.372	14.922	0.215	0.215	0.000	0.082	0.082	0.000
80	2.00	0.297	0.339	13.981	0.193	0.193	0.000	0.077	0.077	0.000
80	3.00	0.265	0.299	13.003	0.152	0.152	0.000	0.067	0.067	0.000
80	5.00	0.221	0.249	12.911	0.046	0.046	0.000	0.024	0.024	0.000
96	0.00	1.214	1.155	-4.903	0.836	0.857	2.566	0.326	0.281	-13.811
96	0.25	1.011	0.973	-3.715	0.970	1.009	4.008	0.141	0.180	27.346
96	0.50	0.746	0.792	6.228	0.910	0.952	4.654	0.117	0.126	7.394
96	1.00	0.632	0.686	8.558	0.592	0.657	11.052	0.107	0.120	12.025
96	1.50	0.421	0.482	14.633	0.271	0.301	11.366	0.068	0.092	34.262
96	2.00	0.389	0.441	13.457	0.246	0.261	5.994	0.064	0.082	27.948
96	3.00	0.349	0.391	11.855	0.186	0.210	12.997	0.056	0.071	27.327
96	5.00	0.294	0.323	9.834	0.095	0.094	-1.326	0.020	0.030	45.758

Tabla 5.52 Resultados para el edificio de 12 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error
96	0.00	1.098	1.155	5.191	0.865	0.857	-0.932	0.239	0.281	17.439
96	0.25	0.964	0.973	0.977	1.048	1.009	-3.727	0.221	0.180	-18.518
96	0.50	0.771	0.792	2.760	0.994	0.952	-4.243	0.134	0.126	-6.359
96	1.00	0.667	0.686	2.834	0.719	0.657	-8.547	0.132	0.120	-9.161
96	1.50	0.457	0.482	5.484	0.326	0.301	-7.501	0.115	0.092	-20.307
96	2.00	0.418	0.441	5.411	0.267	0.261	-2.335	0.100	0.082	-17.805
96	3.00	0.371	0.391	5.367	0.234	0.210	-10.231	0.087	0.071	-17.569
96	5.00	0.300	0.323	7.613	0.092	0.048	-47.615	0.039	0.030	-23.830
120	0.00	1.461	1.427	-2.322	1.031	1.031	0.000	0.327	0.327	0.000
120	0.25	1.287	1.258	-2.235	0.621	0.621	0.000	0.278	0.278	0.000
120	0.50	1.088	1.046	-3.808	0.625	0.625	0.000	0.178	0.178	0.000
120	1.00	0.912	0.920	0.890	0.764	0.764	0.000	0.164	0.164	0.000
120	1.50	0.628	0.664	5.727	0.476	0.476	0.000	0.093	0.093	0.000
120	2.00	0.579	0.610	5.426	0.419	0.419	0.000	0.100	0.100	0.000
120	3.00	0.518	0.543	4.764	0.187	0.187	0.000	0.094	0.094	0.000
120	5.00	0.448	0.444	-0.732	0.144	0.144	0.000	0.062	0.062	0.000
144	0.00	1.862	1.716	-7.850	1.529	1.346	-11.992	0.224	0.234	4.517
144	0.25	1.642	1.558	-5.123	0.998	0.957	-4.060	0.150	0.191	27.264
144	0.50	1.331	1.315	-1.158	0.585	0.527	-9.956	0.139	0.149	7.863
144	1.00	1.184	1.170	-1.217	0.465	0.469	1.053	0.149	0.155	3.937
144	1.50	0.826	0.867	5.029	0.741	0.701	-5.314	0.084	0.113	34.725
144	2.00	0.767	0.800	4.365	0.706	0.724	2.610	0.081	0.097	20.601
144	3.00	0.693	0.714	3.017	0.510	0.547	7.290	0.083	0.093	11.377
144	5.00	0.576	0.579	0.595	0.207	0.123	-40.638	0.063	0.069	9.387

Tabla 5.53 Resultados para edificio de 18 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error
144	0.00	1.631	1.716	5.212	1.165	1.346	15.516	0.240	0.234	-2.342
144	0.25	1.537	1.558	1.367	0.909	0.957	5.304	0.232	0.191	-17.896
144	0.50	1.302	1.315	1.023	0.474	0.527	11.119	0.161	0.149	-7.011
144	1.00	1.173	1.170	-0.258	0.474	0.469	-1.025	0.161	0.155	-3.714
144	1.50	0.847	0.867	2.448	0.661	0.701	6.106	0.142	0.113	-20.690
144	2.00	0.786	0.800	1.743	0.743	0.724	-2.499	0.113	0.097	-14.281
144	3.00	0.711	0.714	0.368	0.585	0.547	-6.374	0.102	0.093	-8.944
144	5.00	0.574	0.579	0.919	0.235	0.222	0.000	0.075	0.069	-7.961
180	0.00	2.181	2.179	-0.091	1.016	1.016	0.000	0.353	0.353	0.000
180	0.25	2.053	2.037	-0.802	0.727	0.727	0.000	0.241	0.241	0.000
180	0.50	1.747	1.747	0.041	0.754	0.754	0.000	0.163	0.163	0.000
180	1.00	1.574	1.577	0.221	0.771	0.771	0.000	0.187	0.187	0.000
180	1.50	1.219	1.211	-0.594	0.419	0.419	0.000	0.179	0.179	0.000
180	2.00	1.127	1.122	-0.399	0.432	0.432	0.000	0.126	0.126	0.000
180	3.00	1.011	1.005	-0.639	0.539	0.539	0.000	0.139	0.139	0.000
180	5.00	0.817	0.808	-1.126	0.343	0.343	0.000	0.064	0.064	0.000
216	0.00	2.781	2.678	-3.677	1.110	1.110	0.000	0.385	0.385	-0.002
216	0.25	2.621	2.550	-2.730	0.832	0.832	0.000	0.290	0.290	-0.001
216	0.50	2.239	2.214	-1.118	0.742	0.742	0.000	0.231	0.231	0.000
216	1.00	2.058	2.022	-1.787	0.634	0.634	0.000	0.183	0.183	0.002
216	1.50	1.598	1.603	0.308	0.722	0.722	0.000	0.148	0.148	-0.002
216	2.00	1.490	1.490	-0.030	0.476	0.476	0.000	0.132	0.132	0.000
216	3.00	1.351	1.337	-1.073	0.503	0.503	0.000	0.183	0.183	0.002
216	5.00	1.096	1.066	-2.734	0.464	0.464	0.000	0.092	0.092	-0.003

Tabla 5.54 Resultados para el edificio de 24 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(ec)}$	% error
192	0.00	2.247	2.341	4.172	0.956	0.956	0.000	0.331	0.331	0.000
192	0.25	2.108	2.204	4.552	0.849	0.849	0.000	0.262	0.262	0.000
192	0.50	1.900	1.899	-0.026	0.770	0.770	0.000	0.169	0.169	0.000
192	1.00	1.743	1.721	-1.260	0.743	0.743	0.000	0.155	0.155	0.000
192	1.50	1.400	1.337	-4.550	0.561	0.561	0.000	0.190	0.190	0.000
192	2.00	1.285	1.240	-3.476	0.467	0.467	0.000	0.179	0.179	0.000
192	3.00	1.141	1.111	-2.615	0.385	0.385	0.000	0.118	0.118	0.000
192	5.00	0.898	0.890	-0.884	0.368	0.370	0.000	0.072	0.072	0.000
240	0.00	3.015	3.032	0.550	1.084	1.078	-0.508	0.417	0.398	0.000
240	0.25	2.919	2.911	-0.263	1.045	1.035	-1.024	0.368	0.357	-2.947
240	0.50	2.562	2.545	-0.658	0.730	0.752	3.016	0.225	0.231	2.625
240	1.00	2.370	2.339	-1.298	0.751	0.745	-0.705	0.223	0.227	1.756
240	1.50	1.934	1.890	-2.292	0.711	0.739	3.972	0.176	0.184	4.461
240	2.00	1.793	1.760	-1.811	0.583	0.622	6.805	0.123	0.130	5.925
240	3.00	1.611	1.582	-1.808	0.669	0.711	6.284	0.126	0.129	2.108
240	5.00	1.274	1.256	-1.472	0.413	0.429	3.702	0.100	0.103	3.256
288	0.00	3.868	3.787	-2.094	0.983	0.983	0.000	0.574	0.574	0.000
288	0.25	3.743	3.679	-1.723	1.074	1.074	0.000	0.521	0.521	0.000
288	0.50	3.298	3.252	-1.412	1.045	1.045	0.000	0.382	0.382	0.000
288	1.00	3.071	3.024	-1.520	0.966	0.966	0.000	0.309	0.309	0.000
288	1.50	2.527	2.527	-0.001	0.713	0.713	0.000	0.203	0.203	0.000
288	2.00	2.411	2.361	-2.065	0.610	0.610	0.000	0.208	0.208	0.000
288	3.00	2.147	2.126	-0.973	0.483	0.483	0.000	0.190	0.190	0.000
288	5.00	1.705	1.675	-1.762	0.363	0.364	0.000	0.124	0.124	0.000

Tabla 5.55 Resultados para el edificio de 30 pisos.

H (pies)	% W	T (seg.)	Tec (seg.)	% error	Mayaguez/Ponce			San Juan		
					$Drift_{max}$	$Drift_{max(sec)}$	% error	$Drift_{max}$	$Drift_{max(sec)}$	% error
240	0.00	2.910	3.032	4.185	1.070	1.078	0.813	0.380	0.398	4.901
240	0.25	2.852	2.911	2.053	1.015	1.035	1.903	0.346	0.357	3.196
240	0.50	2.543	2.545	0.079	0.748	0.752	0.517	0.230	0.231	0.494
240	1.00	2.357	2.339	-0.763	0.704	0.745	5.872	0.221	0.227	2.365
240	1.50	1.985	1.890	-4.790	0.704	0.739	5.010	0.169	0.184	9.073
240	2.00	1.822	1.760	-3.418	0.629	0.622	-1.020	0.132	0.130	-1.724
240	3.00	1.619	1.582	-2.327	0.704	0.711	1.102	0.122	0.129	6.058
240	5.00	1.257	1.256	-0.119	0.417	0.429	2.689	0.099	0.103	3.386
300	0.00	3.926	3.986	1.527	0.939	0.939	0.000	0.567	0.567	0.000
300	0.25	3.847	3.880	0.855	0.518	0.518	0.000	0.518	0.518	0.000
300	0.50	3.444	3.438	-0.155	0.983	0.983	0.000	0.391	0.391	0.000
300	1.00	3.213	3.206	-0.222	1.025	1.025	0.000	0.348	0.348	0.000
300	1.50	2.733	2.699	-1.236	0.786	0.786	0.000	0.211	0.211	0.000
300	2.00	2.537	2.524	-0.501	0.679	0.679	0.000	0.190	0.190	0.000
300	3.00	2.280	2.274	-0.289	0.575	0.575	0.000	0.209	0.209	0.000
300	5.00	1.779	1.788	0.529	0.348	0.346	0.000	0.113	0.113	0.000
360	0.00	5.071	5.042	-0.569	0.807	0.807	0.000	0.443	0.443	-0.001
360	0.25	4.960	4.944	-0.333	0.703	0.703	0.000	0.476	0.476	0.000
360	0.50	4.382	4.428	1.044	0.602	0.602	0.000	0.460	0.460	0.000
360	1.00	4.111	4.177	1.605	0.599	0.599	0.000	0.442	0.442	-0.001
360	1.50	3.560	3.640	2.245	1.161	1.161	0.000	0.371	0.371	-0.001
360	2.00	3.336	3.413	2.320	0.852	0.852	0.000	0.350	0.350	0.001
360	3.00	3.032	3.081	1.633	0.860	0.860	0.000	0.262	0.262	0.000
360	5.00	2.376	2.406	1.265	0.467	0.467	0.000	0.117	0.117	0.003

Finalmente, se puede estimar el periodo de vibración para edificios con alturas y porcentos de área de pared diferentes que los incluidos en este estudio, interpolando los resultados. De igual manera se puede hacer para estimar el desplazamiento máximo de entrepiso.

5.4.2. Desplazamiento Lateral para Estructuras de Periodos Cortos

Para los edificios dentro de la región de periodos intermedios grandes, periodos mayores de 0.5 segundos, el desplazamiento que se obtenga del análisis elástico será muy similar al desplazamiento inelástico. Para edificios dentro de la región de periodos de vibración cortos los desplazamientos inelásticos serán significativamente mayores que los desplazamientos elásticos [23]. Por lo tanto se debe relacionar el desplazamiento inelástico y el elástico para edificios dentro de la región de periodos cortos (ver Apéndice D). Un terremoto muy probablemente inducirá a la estructura en el rango no lineal. Por lo tanto, la estructura seguirá deformándose inelásticamente hasta alcanzar su desplazamiento máximo ($\delta_{\max}$).

5.5. Fórmula del UBC

El código UBC 97 considera la siguiente fórmula aproximada para determinar el periodo fundamental de vibración.

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (5.12)$$

Donde h_n es la altura del edificio en pies, $C_t = 0.030$ para pórticos resistentes a momento de hormigón, para cualquier otro tipo de edificio $C_t = 0.020$. Como otra alternativa el valor de C_t para paredes de concreto o mampostería puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}} \quad (5.13)$$

Donde el valor de A_c se determina con la siguiente fórmula:

$$A_c = \sum A_e \left[0.2 + \left(\frac{D_e}{h_n} \right)^2 \right] \quad (5.14)$$

Donde A_e es el área seccional mínima en cualquier plano horizontal de una pared de corte en el primer piso en pies cuadrados, D_e es el largo en pies de una pared de corte en el primer piso en la dirección paralela a las fuerzas aplicadas.

La Tabla 5.56 y la Figura 5.122 compara el periodo fundamental de vibración obtenido con la fórmula del UBC usando un C_t igual a 0.030 con los resultados de este estudio. La Tabla 5.56 presenta el caso de un edificio de pórtico sin paredes estructurales. Podemos observar en este caso la fórmula del UBC provee un estimado muy por debajo del obtenido con el programa o el calculado con la fórmula desarrollada en este estudio. Las Tablas 5.57 a 5.63 y las Figuras 5.123 a 5.129 comparan el periodo fundamental de vibración obtenido con la fórmula del UBC con un C_t igual a 0.020 y C_t calculado con la fórmula 5.13 con los resultados de este estudio. Para estos casos la fórmula de periodo del UBC considerando C_t igual a 0.020 es la misma ya que esta no considera un incremento en el porcentaje de área de pared, por lo tanto el coeficiente C_t es el mismo en cada caso. De estos casos podemos observar que a medida que aumenta el porcentaje de área de pared, la fórmula del UBC estima por encima el periodo fundamental de vibración. Mientras más aumenta el porcentaje de área de pared el estimado se va por encima para edificios con más altura. Esto era de esperarse, ya que se había observado que a medida que aumenta el porcentaje de área de pared en los edificios el periodo fundamental de vibración disminuye significativamente.

Tabla 5.56 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 0 % área de pared.

% W	0%				
H (pies)	T (seg.)	Tec (seg)	% error	T(UBC) (seg)	% error
24	0.423	0.436	3.08	0.325	-23.05
30	0.582	0.490	-15.79	0.385	-33.92
36	0.761	0.545	-28.35	0.441	-42.08
64	0.717	0.817	13.93	0.679	-5.37
80	0.954	0.982	2.96	0.802	-15.90
96	1.214	1.155	-4.90	0.920	-24.24
96	1.098	1.155	5.19	0.920	-16.20
120	1.461	1.427	-2.32	1.088	-25.55
144	1.862	1.716	-7.85	1.247	-33.02
144	1.631	1.716	5.21	1.247	-23.52
180	2.181	2.179	-0.09	1.474	-32.39
192	2.247	2.341	4.17	1.547	-31.15
216	2.781	2.678	-3.68	1.690	-39.21
240	3.015	3.032	0.55	1.829	-39.33
240	2.910	3.032	4.19	1.829	-37.14
288	3.868	3.787	-2.09	2.097	-45.78
300	3.926	3.986	1.53	2.163	-44.92
360	5.071	5.042	-0.57	2.479	-51.11

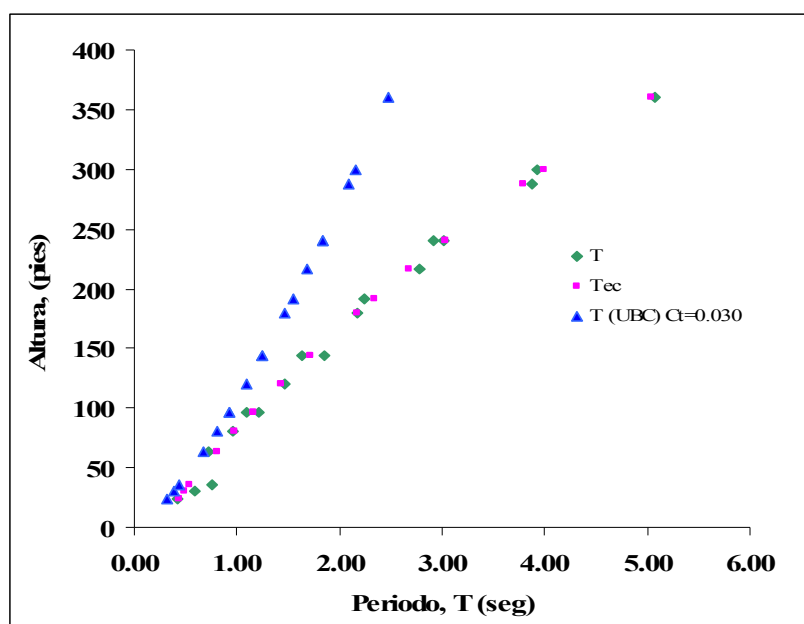


Figura 5.122. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 0 % de área de pared

Tabla 5.57 Comparación fórmulas del periodo fundamental de vibración. 0.25 % de área pared.

% W	0.25%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.196	0.210	6.68	0.217	10.43	0.053	-73.15
30	0.262	0.268	2.18	0.256	-2.22	0.076	-71.19
36	0.337	0.327	-2.84	0.294	-12.72	0.100	-70.21
64	0.594	0.617	3.91	0.453	-23.76	0.225	-62.02
80	0.791	0.792	0.02	0.535	-32.40	0.296	-62.62
96	1.011	0.973	-3.72	0.613	-39.31	0.363	-64.10
96	0.964	0.973	0.98	0.613	-36.35	0.363	-62.35
120	1.287	1.258	-2.24	0.725	-43.65	0.457	-64.50
144	1.537	1.558	1.37	0.831	-45.92	0.544	-64.62
144	1.642	1.558	-5.12	0.831	-49.38	0.544	-66.88
180	2.053	2.037	-0.80	0.983	-52.14	0.665	-67.63
192	2.108	2.204	4.55	1.032	-51.07	0.703	-66.66
216	2.621	2.550	-2.73	1.127	-57.01	0.777	-70.37
240	2.852	2.911	2.05	1.220	-57.24	0.848	-70.28
240	2.852	2.911	2.05	1.220	-57.24	0.848	-70.28
288	3.743	3.679	-1.72	1.398	-62.64	0.983	-73.74
300	3.847	3.880	0.85	1.442	-62.52	1.015	-73.61
360	4.960	4.944	-0.33	1.653	-66.68	1.173	-76.36

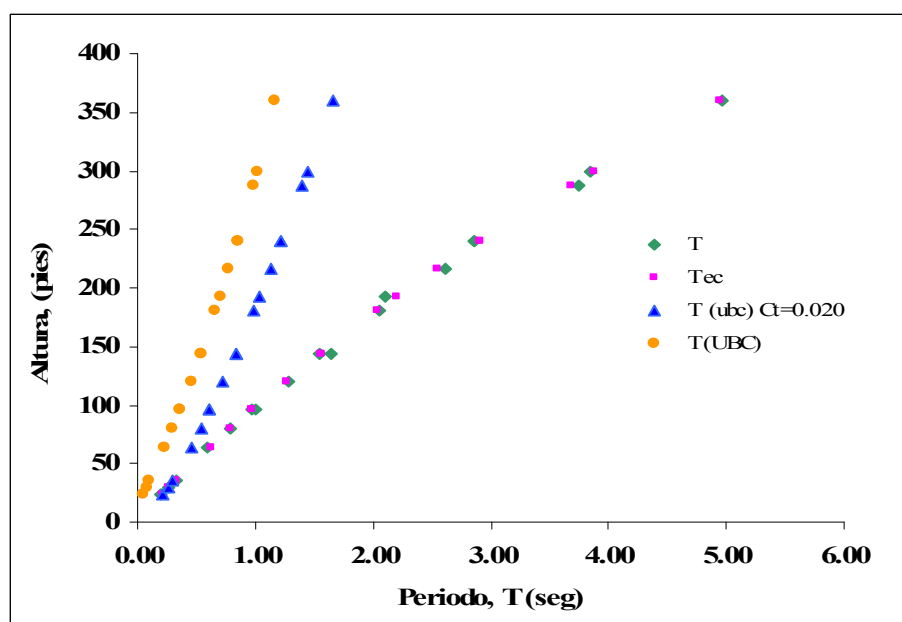


Figura 5.123. Fórmula Periodo UBC vs. Resultados. 0.25 % de área de pared

Tabla 5.58 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 0.50 % de área pared.

% W	0.50%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.119	0.124	4.52	0.217	82.80	0.019	-83.57
30	0.154	0.174	13.51	0.256	66.87	0.029	-81.42
36	0.193	0.226	17.05	0.294	52.37	0.039	-79.85
64	0.430	0.478	11.27	0.453	5.28	0.099	-76.87
80	0.603	0.632	4.76	0.535	-11.32	0.140	-76.82
96	0.746	0.793	6.23	0.613	-17.78	0.182	-75.58
96	0.771	0.793	2.76	0.613	-20.46	0.182	-76.38
120	1.088	1.046	-3.81	0.725	-33.32	0.247	-77.32
144	1.331	1.315	-1.16	0.831	-37.51	0.310	-76.67
144	1.302	1.315	1.02	0.831	-36.13	0.310	-76.15
180	1.747	1.747	0.04	0.983	-43.73	0.402	-76.98
192	1.900	1.899	-0.03	1.032	-45.69	0.432	-77.28
216	2.239	2.214	-1.12	1.127	-49.68	0.488	-78.19
240	2.562	2.545	-0.66	1.220	-52.39	0.543	-78.79
240	2.543	2.545	0.08	1.220	-52.04	0.543	-78.64
288	3.298	3.252	-1.41	1.398	-57.61	0.647	-80.39
300	3.444	3.438	-0.15	1.442	-58.13	0.672	-80.50
360	4.382	4.428	1.04	1.653	-62.28	0.790	-81.96

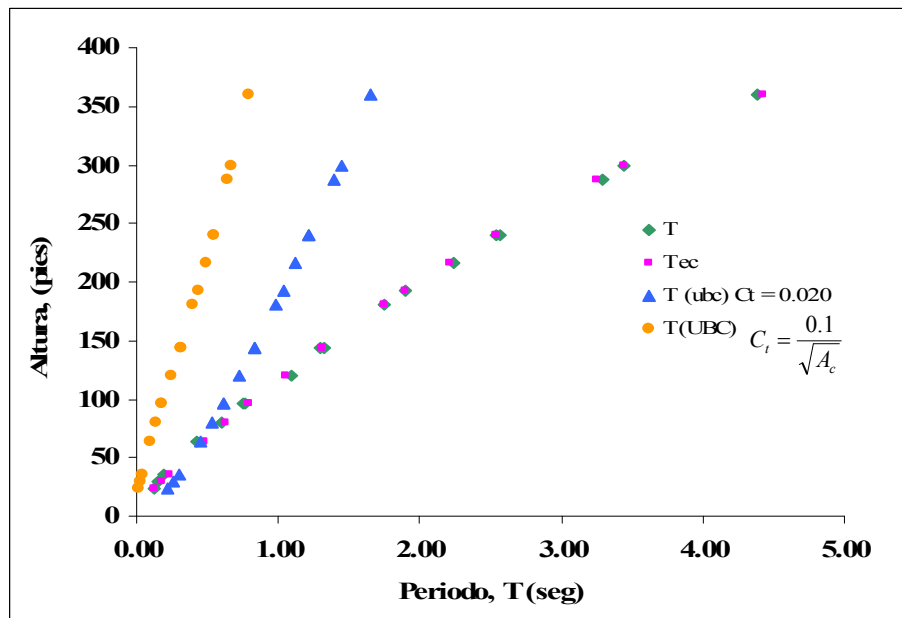


Figura 5.124. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 0.50 % de área de pared

Tabla 5.59 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 1 % de área pared.

% W	1.00%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.088	0.086	-2.49	0.217	146.17	0.014	-84.36
30	0.115	0.130	13.36	0.256	123.21	0.020	-82.42
36	0.145	0.176	20.90	0.294	102.50	0.027	-81.06
64	0.353	0.401	13.50	0.453	28.19	0.070	-80.08
80	0.460	0.540	17.41	0.535	16.39	0.099	-78.49
96	0.632	0.686	8.56	0.613	-2.95	0.129	-79.62
96	0.667	0.686	2.83	0.613	-8.07	0.129	-80.70
120	0.912	0.920	0.89	0.725	-20.45	0.174	-80.86
144	1.184	1.170	-1.22	0.831	-29.81	0.219	-81.47
144	1.173	1.170	-0.26	0.831	-29.13	0.219	-81.29
180	1.574	1.577	0.22	0.983	-37.54	0.284	-81.93
192	1.743	1.721	-1.26	1.032	-40.81	0.305	-82.49
216	2.058	2.022	-1.79	1.127	-45.26	0.345	-83.22
240	2.370	2.339	-1.30	1.220	-48.54	0.384	-83.79
240	2.357	2.339	-0.76	1.220	-48.26	0.384	-83.70
288	3.071	3.024	-1.52	1.398	-54.47	0.457	-85.11
300	3.213	3.206	-0.22	1.442	-55.13	0.475	-85.22
360	4.111	4.177	1.61	1.653	-59.80	0.559	-86.41

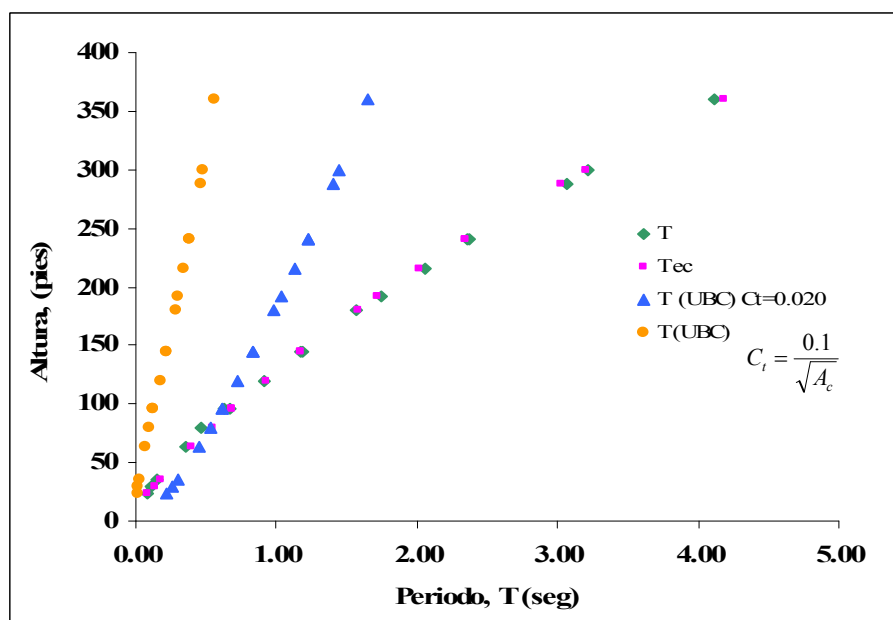


Figura 5.125. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1 % de área de pared

Tabla 5.60 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 1.5 % de área pared.

% W	1.50%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.061	0.062	1.05	0.217	254.04	0.003	-95.34
30	0.077	0.090	16.56	0.256	233.15	0.004	-94.52
36	0.095	0.119	25.39	0.294	210.26	0.006	-93.88
64	0.240	0.272	13.60	0.453	88.94	0.016	-93.41
80	0.324	0.373	14.93	0.535	65.06	0.023	-92.83
96	0.421	0.482	14.63	0.613	45.81	0.032	-92.44
96	0.457	0.482	5.48	0.613	34.18	0.032	-93.04
120	0.628	0.664	5.72	0.725	15.40	0.047	-92.58
144	0.826	0.867	5.03	0.831	0.67	0.063	-92.31
144	0.847	0.867	2.45	0.831	-1.81	0.063	-92.50
180	1.219	1.211	-0.59	0.983	-19.35	0.092	-92.44
192	1.400	1.337	-4.55	1.032	-26.33	0.102	-92.69
216	1.598	1.603	0.31	1.127	-29.47	0.124	-92.24
240	1.934	1.890	-2.29	1.220	-36.94	0.147	-92.42
240	1.985	1.890	-4.79	1.220	-38.56	0.147	-92.61
288	2.527	2.527	0.00	1.398	-44.66	0.195	-92.29
300	2.733	2.699	-1.24	1.442	-47.25	0.207	-92.42
360	3.560	3.640	2.24	1.653	-53.57	0.271	-92.38

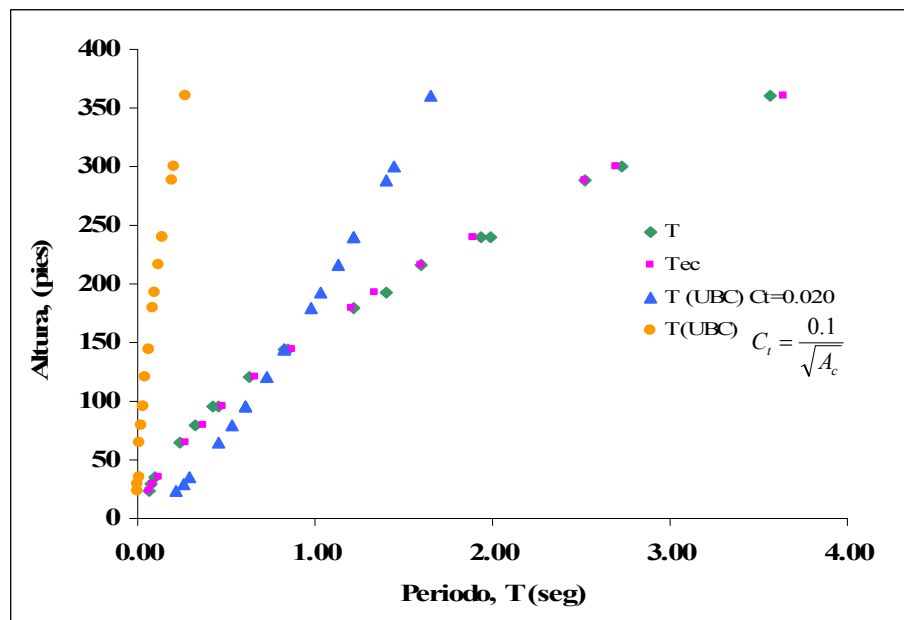


Figura 5.126. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1.5 % de área de pared.

Tabla 5.61 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 2 % de área pared.

% W	2.00%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.055	0.053	-4.18	0.217	292.83	0.002	-95.52
30	0.070	0.078	12.28	0.256	267.63	0.004	-94.76
36	0.086	0.105	21.85	0.294	241.11	0.005	-94.17
64	0.218	0.246	12.81	0.453	107.45	0.014	-93.73
80	0.297	0.339	13.99	0.535	79.89	0.020	-93.23
96	0.418	0.441	5.40	0.613	46.67	0.028	-93.41
96	0.389	0.441	13.44	0.613	57.86	0.028	-92.91
120	0.579	0.610	5.42	0.725	25.24	0.040	-93.03
144	0.767	0.800	4.36	0.831	8.44	0.055	-92.83
144	0.786	0.800	1.74	0.831	5.72	0.055	-93.01
180	1.127	1.122	-0.40	0.983	-12.78	0.080	-92.92
192	1.285	1.240	-3.48	1.032	-19.69	0.089	-93.10
216	1.490	1.490	-0.03	1.127	-24.39	0.107	-92.80
240	1.793	1.760	-1.81	1.220	-31.97	0.127	-92.91
240	1.822	1.760	-3.42	1.220	-33.08	0.127	-93.03
288	2.411	2.361	-2.06	1.398	-42.00	0.169	-93.00
300	2.537	2.524	-0.50	1.442	-43.16	0.179	-92.92
360	3.336	3.413	2.32	1.653	-50.45	0.235	-92.96

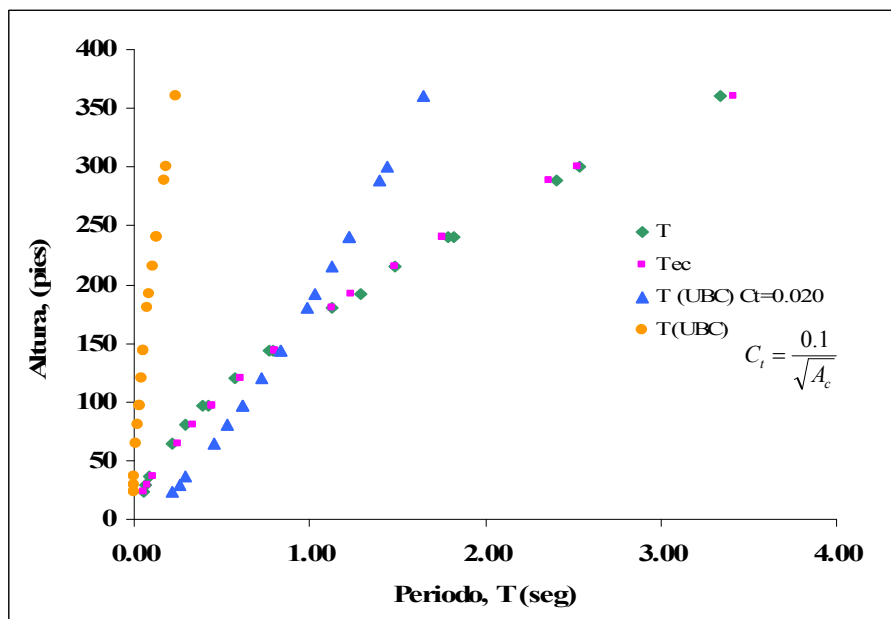


Figura 5.127. Fórmula de Periodo UBC vs. Resultados. 1.5 % de área de pared

Tabla 5.62 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 3 % de área pared.

% W	3.00%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.048	0.044	-7.91	0.217	351.83	0.002	-95.79
30	0.061	0.067	9.14	0.256	318.87	0.003	-95.13
36	0.076	0.090	18.70	0.294	285.97	0.004	-94.62
64	0.192	0.216	12.45	0.453	135.50	0.011	-94.19
80	0.265	0.299	12.99	0.535	102.04	0.016	-93.79
96	0.349	0.391	11.84	0.613	75.68	0.023	-93.56
96	0.371	0.391	5.36	0.613	65.49	0.023	-93.93
120	0.518	0.543	4.77	0.725	39.93	0.033	-93.64
144	0.711	0.714	0.37	0.831	16.92	0.045	-93.69
144	0.693	0.714	3.02	0.831	20.01	0.045	-93.52
180	1.011	1.005	-0.64	0.983	-2.78	0.065	-93.56
192	1.141	1.111	-2.61	1.032	-9.55	0.072	-93.65
216	1.351	1.337	-1.07	1.127	-16.61	0.088	-93.51
240	1.619	1.582	-2.33	1.220	-24.68	0.104	-93.59
240	1.611	1.582	-1.81	1.220	-24.28	0.104	-93.56
288	2.147	2.126	-0.97	1.398	-34.88	0.138	-93.58
300	2.280	2.274	-0.29	1.442	-36.78	0.147	-93.57
360	3.032	3.081	1.63	1.653	-45.48	0.192	-93.67

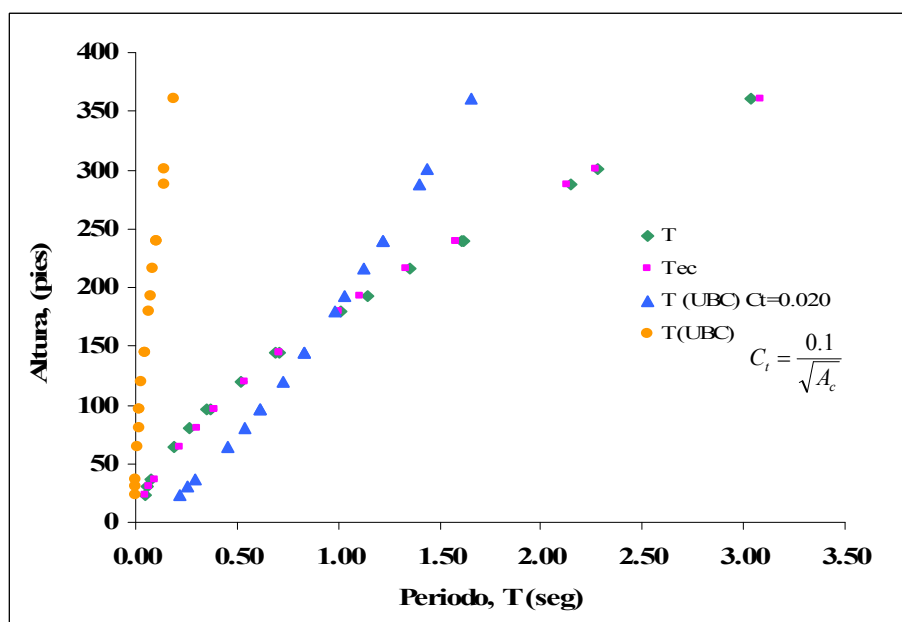


Figura 5.128. Fórmula de Periodo del UBC vs. Resultados. 3 % de área de pared

Tabla 5.63 Comparación fórmulas de periodo fundamental de vibración. 5 % de área pared.

% W	5.00%						
H (pies)	T (seg.)	T_{ec} (seg)	% error	T(UBC) $C_t = 0.02$	% error	T(UBC) (seg) $C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_c}}$	% error
24	0.039	0.040	0.97	0.217	450.18	0.00	-96.83
30	0.055	0.059	7.72	0.256	369.67	0.00	-96.61
36	0.068	0.079	15.05	0.294	330.78	0.00	-96.27
64	0.157	0.182	15.80	0.453	187.94	0.01	-95.59
80	0.221	0.249	12.90	0.535	142.19	0.01	-95.37
96	0.294	0.323	9.84	0.613	108.66	0.01	-95.23
96	0.300	0.323	7.62	0.613	104.44	0.01	-95.33
120	0.448	0.444	-0.73	0.725	61.98	0.02	-95.40
144	0.576	0.580	0.60	0.831	44.33	0.03	-95.11
144	0.574	0.580	0.93	0.831	44.80	0.03	-95.10
180	0.817	0.808	-1.13	0.983	20.34	0.04	-94.97
192	0.898	0.890	-0.89	1.032	14.84	0.05	-94.90
216	1.096	1.066	-2.73	1.127	2.81	0.06	-94.91
240	1.257	1.256	-0.12	1.220	-2.98	0.07	-94.73
240	1.274	1.256	-1.47	1.220	-4.30	0.07	-94.80
288	1.705	1.675	-1.76	1.398	-17.99	0.09	-94.78
300	1.779	1.788	0.53	1.442	-18.96	0.09	-94.66
360	2.376	2.406	1.27	1.653	-30.43	0.13	-94.69

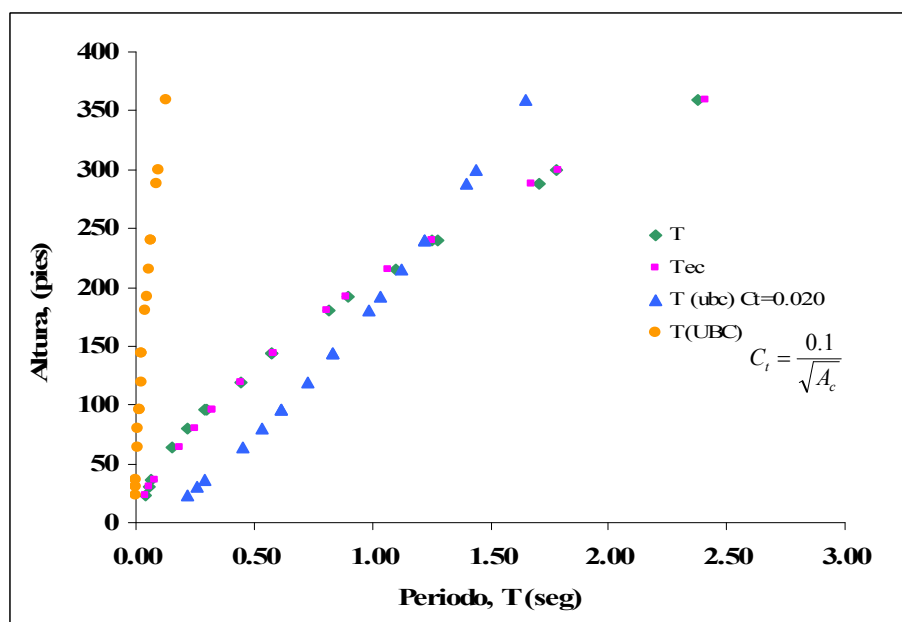


Figura 5.129. Fórmula Periodo del UBC vs. Resultados. 5 % de área de pared

5.6. Edificio El Castillo

El edificio El Castillo se encuentra localizado en el Km. 0.4 de la PR102 en Mayagüez, Puerto Rico. El edificio fue construido en el 1992. El Castillo tiene 21 pisos. La altura total del edificio, desde el sótano hasta el techo de la estructura es de 209 pies aproximadamente.

Se obtuvo el porcentaje de área de pared por piso. Para determinar el porcentaje de área de pared se calculó un promedio pesado. Ver Tabla 5.64. Se utilizó 1.5 porcentaje de área de pared por dirección (W) por piso y una altura total (H) de 209 pies.

Tabla 5.64 Porcentaje de área de pared para el edificio El Castillo

Piso	Pared de corte largo en dirección X (pies)	Pared de Corte área/área piso (%)	
sótano	346.48	4.14	1434.43
1	346.48	3.94	466.102
2	118.3	1.11	120.213
3	108.3	1.05	113.715
4	108.3	1.05	113.715
5	108.3	1.05	113.715
6	108.3	1.05	113.715
7	108.3	1.05	113.715
8	108.3	1.05	113.715
9	108.3	1.05	113.715
10	108.3	1.05	113.715
11	108.3	1.05	113.715
12	108.3	1.05	113.715
13	108.3	1.05	113.715
14	108.3	1.05	113.715
15	108.3	1.05	113.715
16	108.3	1.05	113.715
17	108.3	1.05	113.715
18	108.3	0.93	100.719
19	79.64	0.72	57.3408
techo	79.64	0.72	57.3408

$$\Sigma = \boxed{2703.34} \quad \boxed{3941.87}$$

$$\% W = \frac{3941.87}{2703.34} = \boxed{1.5}$$

La fórmula determinada para 1.5 % de área de pared es igual a:

$$T = 0.0000182 * H^2 + 0.003652 * H - 0.0362 \quad (5.15)$$

Con esta fórmula se obtuvo un periodo de vibración igual a 1.52 segundos. Leonardo Cano, estudiante graduado, preparó un modelo de El Castillo con el programa de análisis estructural ETABS. Obtuvo un periodo fundamental de vibración del edificio igual a 1.54 segundos. Esto equivale a un porcentaje de error de 1.32 por ciento. En el Apéndice E se encuentran los resultados del análisis modal.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Resumen

Se tiene conocimiento de grandes destrucciones ocasionadas por terremotos, alrededor del mundo. La Isla de Puerto Rico ha sido afectado por al menos 4 terremotos fuertes desde la colonización. Entre estos, el terremoto fuerte mas reciente que afectó la Isla fue el 11 de octubre del 1918.

La peligrosidad sísmica para Puerto Rico aumenta de este a oeste. Existen fallas cerca de los pueblos de Mayagüez y Ponce y por lo tanto estos pueblos y los alrededores están expuestos a un alto peligro sísmico. No obstante el riesgo en la Zona Metropolitana es mayor ya que esta área contiene mayor infraestructura. Aunque en general toda la Isla esta expuesta al peligro se espera que las áreas más afectadas sean las del suroeste. Como si fuera poco, hoy día los daños que produciría un terremoto como los que se han ocurrido en el pasado son mayores que nunca. Ya que tanto la población como las estructuras han aumentado significativamente.

El estudio que se realizó en esta tesis, surge debido a una gran preocupación de parte del Comisionado de Seguros de Puerto Rico en poder establecer la Perdida Máxima Probable ante el terremoto esperado. Se realizó un estudio paramétrico el cual permite estimar con parámetros estructurales simples el máximo desplazamiento de entrepiso que edificios simétricos de hormigón armado puedan experimentar. Ya que se puede relacionar el daño que la estructura sufre durante un terremoto con el desplazamiento de entrepiso máximo. El enfoque principal en

esta tesis se baso en la relación que existe entre los desplazamientos de entrepiso, el periodo de la estructura y el porcentaje de área de paredes de la estructura.

Se seleccionaron una serie de edificios con diferente número de pisos (3, 8, 12, 18, 24 y 30), altura de entrepiso (8', 10' y 12') y porciento de área de pared por dirección (0, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 y 5). Se crearon modelos tridimensionales los cuales fueron sometidos a los registros de aceleración sugeridos para Mayagüez/Ponce y San Juan y estos fueron analizados con el programa de análisis estructural [19].

6.2. Conclusiones

Se obtuvo el periodo fundamental de vibración para cada edificio. Finalmente, se pudo estimar el periodo fundamental de vibración con las fórmulas determinadas. Con este dato se desarrolló un programa de computadora el cual busca en el espectro de desplazamiento correspondiente el desplazamiento espectral para cada periodo de vibración. Esto permitió encontrar un desplazamiento en el techo debido a una relación lineal para posteriormente encontrar un valor α . Este valor corresponde a la razón entre el desplazamiento en el techo real y el desplazamiento en el techo obtenido por medio de la relación lineal. El desplazamiento en el techo obtenido por medio de la relación lineal, la altura efectiva y el desplazamiento espectral se pueden determinar sin la necesidad de crear un modelo tridimensional con un programa de análisis estructural. Por lo tanto, una vez establecido el valor de α se puede ahora estimar el desplazamiento en el techo sin la necesidad de crear un modelo computacional, lo cual involucra mucho tiempo y trabajo. Con el desplazamiento en el techo se puede calcular el desplazamiento promedio. Finalmente se calculó un valor β el cual relaciona el valor del máximo

desplazamiento de entrepiso con el desplazamiento de entrepiso promedio. Dado que se puede calcular el desplazamiento de entrepiso promedio con el paso anterior y el valor de β podemos estimar el máximo desplazamiento de entrepiso.

En general, se observó que los periodos disminuyen significativamente a medida que aumenta el porcentaje de área de pared por dirección. Por otra parte, el periodo aumenta a medida que aumenta la altura del edificio. De las gráficas se obtuvo una regresión para cada caso. Las fórmulas que mejor representaban los puntos originales corresponden a un polinomio de grado 2. De los resultados podemos observar que el porcentaje de error fue bastante bajo al compararlos con los periodos de vibración obtenido con el programa de análisis estructural Sap 2000 [19]. Al comparar los resultados con la fórmula del UBC, se nota que para edificios de pórticos el UBC estima muy por debajo el periodo de vibración. Mientras que para edificios con porcentaje de área de pared el estimado con el UBC se va muy por encima.

En cuanto a los desplazamientos se nota que estos son mayores para el registro de Mayagüez/Ponce. Esto debido que el registro de Mayagüez/Ponce es mucho más severo que el de San Juan. Note que la aceleración máxima del suelo (peak ground acceleration, *PGA*) para el registro de Mayagüez/Ponce es de 0.46g y para San Juan es de 0.18g. Por otra parte, se observa que el desplazamiento disminuye significativamente al aumentar el porcentaje de área de pared en los edificios. No obstante, se nota que en algunos casos el desplazamiento lateral es mayor para edificios con más porcentaje de área de pared que para edificios con menos porcentaje de área de pared. Primordialmente esto ocurre en los pisos superiores y para edificios con 12 pisos o más. Este comportamiento es más evidente para los resultados del registro de aceleración de

Mayagüez/Ponce. Aunque se espera que los desplazamientos laterales disminuyan con un aumento en el porcentaje de área de pared, ya que las paredes estructurales hacen la estructura más rígida, esto no tiene que ocurrir necesariamente. Esto ocurre posiblemente debido a las características de los contenidos de frecuencia de los registros y las características dinámicas de los edificios. Por otra parte al aumentar el porcentaje de área de pared, la estructura también se hace mucho mas pesada y por lo tanto la fuerza sísmica transmitida a la estructura será mayor también. A su vez esta fuerza aumenta con la altura del edificio. De manera que en los pisos superiores la fuerza será mayor aun. A mayor fuerza también se obtiene mayor desplazamiento. Es de esperarse que en algunos casos, entonces, sea contraproducente colocar tanto porcentaje de área de pared en edificios con alturas considerables, 12 pisos o más, ya que esto aumenta significativamente los desplazamientos laterales. Al menos seria recomendable reducir el porcentaje de área de pared o eliminarlas en los pisos superiores. Ya que por otra parte también se debe evitar cambios drásticos en rigidez de un piso a otro, lo que a su vez puede dar lugar a otros problemas estructurales.

6.3. Recomendaciones

Al concluir este estudio se puede comparar el periodo fundamental de vibración con la fórmula del UBC. Sin embargo, no se obtuvo resultados del periodo de vibración fundamental de edificios debidamente instrumentados. Por lo que no fue posible comparar los resultados. Solamente se obtuvo el periodo fundamental de vibración para el edificio de El Castillo, localizado en Mayagüez, Puerto Rico. No obstante, los resultados fueron obtenidos mediante la creación del modelo a un programa de análisis estructural. Seria necesario buscar más datos de

edificios instrumentados y que los mismos tengan características similares a los edificios analizados en este estudio, con el fin de comparar más detalladamente.

REFERENCIAS

1. Matamoros, A., Browning J. and Luft M.. [2003] "Evaluation of Simple Methods for Estimating Drift of Reinforced Concrete Buildings Subject to Earthquakes." *Earthquake Spectra* 19 (4), 839-861
2. ATC (1995) "Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", ATC 33.03, Applied Technology Council, Redwood City California.
3. Moghadam, A.S. and Tso, W.T. [2000] "3-D Pushover Analysis for Damage Assessment of Buildings," *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 2 (3), 23-31.
4. American Concrete Institute. [2002] Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
5. Applied Technology Council (ATC), 1997, NEHRP *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, prepared for the Buildings Seismic Safety Council, published by the Federal Management Agency, *FEMA 273*, Washington, D.C.
6. Chopra, A. K. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall. 522 pp.

7. Godoy, L. A. y Sosa, E. M. [2005] “ Relevamiento de Edificios de Seis o Mas Pisos en el Área Metropolitana de San Juan, Puerto Rico”, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R..
8. Censo de Puerto Rico. “Población de Puerto Rico por Municipios: 1930-1920”
<http://www.linktopr.com/censo.html>
9. Chopra, A. K. and Goel, R. K. [2000] “Buildings Period Formulas for Estimating Seismic Displacement,” *Earthquake Spectra*, 16(2), 533-536.
10. Goel, R. K and Chopra, A. K. [1997] “Period Formulas for Moment - Resisting Frames Buildings,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 123(1), 1454-1461.
11. International Conference of Buildings Officials.[1997]. Uniform Building Code Volume 2: Structural Engineering Design Provisions. International Conference Buildings Officials, Whittier, California.
12. Hassan, A. F., and Sozen, M.A., [1997]. Seismic Vulnerability Assessment of Low Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes, *American Concrete Institute Structural Journal*. 94(1), 31-39.

13. Hong, L. and Hwang, W [2000] “Empirical Formula for Fundamental Vibrations Periods of Reinforced Concrete Buildings in Taiwan,” Earthquake Engineering and Structural Dynamics 29, 327-337.
14. Irizarry Padilla, J.[1999] Design Earthquakes and Design Spectra for Puerto Rico’s Main Cities Based on Worldwide Strong Motions Records, Master of Science in Civil Engineering. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R.
15. Lepage, A., [1997]. A Method for Drift-Control in Earthquake- Resistant Design Of Reinforced Concrete Buildings Structures, Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
16. Montejo Valencia, L. [2004]. Generation and Analysis of Spectrum-Compatible Earthquake Time-Histories Using Wavelets, Master of Science in Civil Engineering. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R.
17. National Earthquake Information Center. Earthquake History of Puerto Rico. http://www.neic.usgs.gov/neis/states/puerto_rico/puerto_rico_history.html.
18. Newmark, N.M.,[1970] “Current Trends in the Seismic Analysis and Design of High-Rise Structures,” Chapter 16 in Earthquake Engineering, R.L. Wiegel, Editor, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.,

19. SAP2000. Static and Dynamic Finite Element Analysis for Structures Nonlinear Version 7.21. Computers and Structures, Inc, Berkeley, California,
20. Structural Engineering Institute. [1998]. ASCE Standard. Minimum Design Loads for Buildings and other Structures. Structural Engineering Institute.
21. H. Crowley and R. Pinho. [2004] “Period-Height Relationship for Existing European Reinforced Concrete buildings,” *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 8, Special Issue 1, pp. 93-119.
22. USGS-NEHRP. Puerto Rico Sea Grant. <http://comp.uark.edu/~pjansma/research-prvi.htm>.
23. Veletsos AS, Newmark NM. [1960] Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions. *Proceedings of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering*, Japan, vol. 2, 895–912.
24. Veletsos AS, Newmark NM, and Chelapati CV[1965] Deformation Spectra for Elastic and Elastoplastic Systems Subjected to Ground Shock and Earthquake Motions. *Proceedings of the 3rd World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand, Vol. II; 663–682.

APENDICE A:

Población de Puerto Rico por Municipios: 1930-2000

Población de Puerto Rico por Municipios: 1930-2000

Municipio	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Adjuntas	18,075	22,556	22,424	19,658	18,691	18,786	19,451	19,143
Aguada	14,670	17,923	20,743	23,234	25,658	31,567	35,911	42,042
Aguadilla	28,319	34,956	44,357	47,864	51,355	54,606	59,335	64,685
Aguas Buenas	12,885	14,671	15,565	17,034	18,600	22,429	25,424	29,032
Aibonito	16,361	16,819	18,191	18,360	20,044	22,167	24,971	26,493
Añasco	14,276	15,701	17,235	17,200	19,416	23,274	25,234	28,348
Arecibo	56,525	69,192	75,361	69,879	73,468	86,766	93,385	100,131
Arroyo	8,199	10,746	12,936	13,315	13,033	17,014	18,910	19,117
Barceloneta	15,751	18,545	19,897	19,334	20,792	18,942	20,947	22,322
Barranquitas	14,901	17,096	17,605	18,978	20,118	21,639	25,605	28,909
Bayamón	29,524	37,190	48,000	72,221	156,192	196,206	220,262	224,044
Cabo Rojo	23,792	28,586	29,546	24,868	26,060	34,045	38,521	46,911
Caguas	47,728	53,356	60,132	65,098	95,661	117,959	133,447	140,502
Camuy	16,149	18,922	20,886	19,739	19,922	24,884	28,917	35,244
Canóvanas	-	-	-	-	-	31,880	36,816	43,335
Carolina	18,751	24,046	29,224	40,923	107,643	165,954	177,806	186,076
Cataño	8,504	9,719	19,865	25,208	26,459	26,243	34,587	30,071
Cayey	28,797	31,391	36,656	38,061	38,432	41,099	46,553	47,370
Ceiba	7,275	7,021	9,199	9,075	10,312	14,944	17,145	18,004
Ciales	20,492	22,906	19,464	18,106	15,595	16,211	18,084	19,811
Cidra	19,662	20,392	20,491	21,891	23,892	28,365	35,601	42,753
Coamo	18,125	22,772	26,485	26,082	26,468	30,822	33,837	37,597
Comerio	16,715	18,539	17,966	18,583	18,819	18,212	20,265	20,002
Corozal	16,454	20,458	23,087	23,570	24,545	28,221	33,095	36,867
Culebra	847	860	887	573	732	1,265	1,542	1,868
Dorado	7,579	9,481	11,749	13,460	17,388	25,511	30,759	34,017
Fajardo	16,321	20,405	22,116	18,321	23,032	32,087	36,882	40,712
Florida	-	-	-	-	-	7,232	8,689	12,367
Guánica	10,238	12,685	15,630	13,767	14,889	18,799	19,984	21,888
Guayama	23,624	30,511	32,807	33,678	36,249	40,183	41,588	44,301
Guayanilla	13,121	15,577	17,402	17,396	18,144	21,050	21,581	23,072
Guaynabo	13,502	18,319	29,120	39,718	67,042	80,742	92,886	100,053
Gurabo	15,095	15,870	16,395	16,603	18,289	23,574	28,737	36,743
Hatillo	16,168	18,322	20,877	20,238	21,913	28,958	32,703	38,925
Hormigueros	4,872	6,098	6,916	7,153	10,827	14,030	15,212	16,614
Humacao	25,466	29,833	34,853	33,381	36,023	46,134	55,203	59,035
Isabela	23,068	25,842	29,113	28,754	30,430	37,435	39,147	44,444
Jayuya	12,223	14,589	15,113	14,633	13,588	14,722	15,527	17,318

Juana Díaz	19,516	23,396	27,697	30,043	36,270	43,505	45,198	50,531
Juncos	17,469	19,464	21,654	21,496	21,814	25,397	30,612	36,452
Lajas	12,454	14,736	16,326	15,375	16,545	21,236	23,271	26,261
Lares	27,351	29,914	29,951	26,922	25,263	26,743	29,015	34,415
Las Marías	8,881	9,626	10,807	9,237	7,841	8,747	9,306	11,061
Las Piedras	12,907	15,389	16,208	17,047	18,112	22,412	27,896	34,485
Loíza	18,762	22,145	24,755	28,131	39,062	20,867	29,307	32,537
Luquillo	7,799	8,851	9,967	8,582	10,390	14,895	18,100	19,817
Manatí	24,838	29,366	30,449	29,354	30,559	36,562	38,692	45,409
Maricao	6,463	7,724	7,403	6,990	5,991	6,737	6,206	6,449
Maunabo	9,084	10,792	11,758	10,785	10,792	11,813	12,347	12,741
Mayagüez	58,270	76,487	87,307	83,850	85,857	96,193	100,371	98,434
Moca	17,089	19,716	21,614	21,990	22,361	29,185	32,926	39,697
Morovis	17,332	19,167	19,291	18,094	19,059	21,142	25,288	29,965
Naguabo	18,212	19,180	21,019	17,195	17,996	20,617	22,620	23,753
Naranjito	11,645	13,954	15,927	17,319	19,913	23,633	27,914	29,709
Orocovis	16,115	19,770	21,181	20,362	20,201	19,332	21,158	23,844
Patillas	14,178	17,319	18,851	17,106	17,828	17,774	19,633	20,152
Peñuelas	13,278	14,789	14,931	14,887	15,973	19,116	22,515	26,719
Ponce	87,604	105,116	126,810	145,586	158,981	189,046	187,749	186,475
Quebradillas	10,190	11,494	13,712	13,075	15,582	19,728	21,425	25,450
Rincón	8,178	9,256	9,888	8,706	9,094	11,788	12,213	14,767
Río Grande	14,085	16,116	16,651	17,233	22,032	34,283	45,648	52,362
Río Piedras	40,853	68,290	143,989	-	-	-	-	-
Sabana Grande	11,881	14,146	16,097	15,910	16,343	20,207	22,843	25,935
Salinas	15,446	19,400	23,435	23,133	21,837	26,438	28,335	31,113
San Germán	23,768	26,473	29,553	27,667	27,990	32,922	34,962	37,105
San Juan	114,715	169,247	224,767	451,658	463,242	434,849	437,745	434,374
San Lorenzo	23,479	26,627	29,248	27,950	27,755	32,428	35,163	40,997
San Sebastián	25,691	30,266	35,376	33,451	30,157	35,690	38,799	44,204
Santa Isabel	8,886	11,468	13,478	14,542	16,056	19,854	19,318	21,665
Toa Alta	11,696	13,371	14,155	15,711	18,964	31,910	44,101	63,929
Toa Baja	9,865	11,410	15,761	19,698	46,384	78,246	89,454	94,085
Trujillo Alto	9,576	11,726	13,605	18,251	30,669	51,389	61,120	75,728
Utua	37,434	42,531	46,625	40,449	35,494	34,505	34,980	35,336
Vega Alta	12,333	14,329	16,521	17,603	22,810	28,696	34,559	37,910
Vega Baja	20,406	23,105	28,925	30,189	35,327	47,115	55,997	61,929
Vieques	10,582	10,362	9,228	7,210	7,767	7,662	8,602	9,106
Villalba	11,847	12,871	14,972	16,239	18,733	20,734	23,559	27,913
Yabucoa	21,914	27,438	28,810	29,782	30,165	31,425	36,483	39,246

Yauco	27,787	30,533	33,708	34,780	35,103	37,742	42,058	46,384
Total, Puerto Rico	1,543,913	1,869,255	2,210,703	2,349,544	2,712,033	3,196,520	3,522,037	3,808,610

APENDICE B:

Selección del Tamaño de las Columnas

Tabla B.1 Selección tamaño columnas

pisos	ρ	Pn/Po	Pu k	Pn k	Po k	Ag in ²		Usar columna
1	0.015	0.2	33.0	50.8	253.8	59.74	7.7	
1	0.02	0.3	33.0	50.8	169.2	37.34	6.1	12X12
1	0.03	0.4	33.0	50.8	126.9	24.90	5.0	
3	0.015	0.2	112.4	173.0	864.8	203.53	14.3	
3	0.02	0.3	112.4	173.0	576.5	127.22	11.3	12x12
3	0.03	0.4	112.4	173.0	432.4	84.82	9.2	
8	0.015	0.2	311.0	478.4	2392.2	563.01	23.7	
8	0.015	0.3	311.0	478.4	1594.8	375.34	19.4	20X20
8	0.03	0.4	311.0	478.4	1196.1	234.62	15.3	
12	0.015	0.2	469.8	722.8	3614.1	850.58	29.2	
12	0.02	0.3	469.8	722.8	2409.4	531.65	23.1	
12	0.02	0.4	469.8	722.8	1807.1	398.74	20.0	20X20
18	0.015	0.2	708.1	1089.4	5447.0	1281.95	35.8	
18	0.02	0.3	708.1	1089.4	3631.3	801.27	28.3	
18	0.025	0.4	708.1	1089.4	2723.5	565.63	23.8	24X24
24	0.015	0.2	946.4	1456.0	7279.9	1713.32	41.4	
24	0.02	0.3	946.4	1456.0	4853.3	1070.89	32.7	
24	0.025	0.4	946.4	1456.0	3640.0	755.96	27.5	28X28
30	0.015	0.2	1184.7	1822.6	9112.8	2144.69	46.3	
30	0.02	0.3	1184.7	1822.6	6075.2	1340.51	36.6	
30	0.03	0.4	1184.7	1822.6	4556.4	893.76	29.9	30X30

APENDICE C:

Regresiones

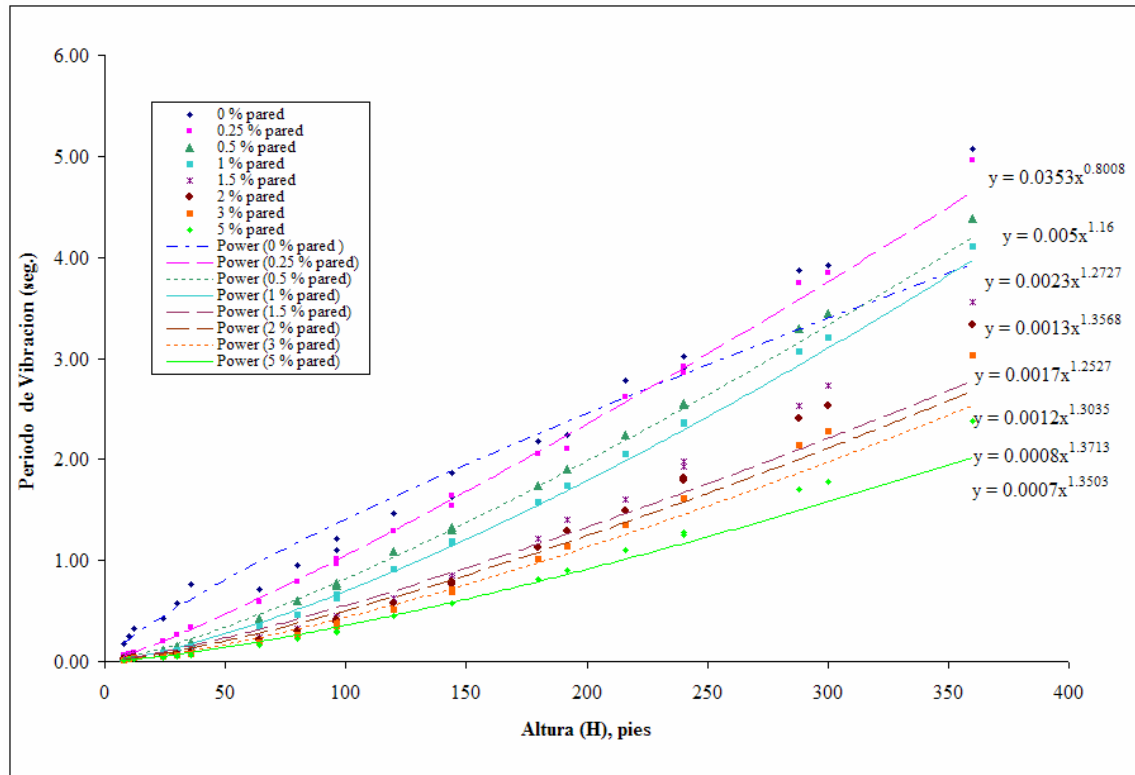


Figura C.1 Período de vibración vs. Altura: Regresión potencial

Tabla C.1 Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: Regresión Potencial

H (pies)	0% pared			0.25% pared			0.50% pared			1% pared					
	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.179	0.187	0.0001	0.060	0.056	0.0000	0.040	0.032	0.0001	0.029	0.022	0.0000			
10	0.248	0.223	0.0006	0.073	0.072	0.0000	0.048	0.043	0.0000	0.034	0.030	0.0000			
12	0.326	0.258	0.0046	0.088	0.089	0.0000	0.057	0.054	0.0000	0.040	0.038	0.0000			
24	0.423	0.450	0.0007	0.196	0.199	0.0000	0.119	0.131	0.0002	0.088	0.097	0.0001			
30	0.582	0.538	0.0019	0.262	0.258	0.0000	0.154	0.174	0.0004	0.115	0.131	0.0003			
36	0.761	0.622	0.0193	0.337	0.318	0.0003	0.193	0.220	0.0007	0.145	0.168	0.0005			
64	0.717	0.987	0.0725	0.594	0.620	0.0007	0.430	0.458	0.0008	0.353	0.367	0.0002			
80	0.954	1.180	0.0508	0.791	0.803	0.0001	0.603	0.608	0.0000	0.460	0.497	0.0014			
96	1.214	1.365	0.0227	1.011	0.992	0.0003	0.746	0.767	0.0004	0.667	0.636	0.0010			
96	1.098	1.365	0.0714	0.964	0.992	0.0008	0.771	0.767	0.0000	0.632	0.636	0.0000			
120	1.461	1.632	0.0293	1.287	1.285	0.0000	1.088	1.018	0.0048	0.912	0.861	0.0026			
144	1.631	1.889	0.0667	1.537	1.588	0.0025	1.302	1.284	0.0003	1.173	1.103	0.0050			
144	1.862	1.889	0.0007	1.642	1.588	0.0030	1.331	1.284	0.0021	1.184	1.103	0.0067			
180	2.181	2.258	0.0060	2.053	2.056	0.0000	1.747	1.706	0.0016	1.574	1.492	0.0066			
192	2.247	2.378	0.0171	2.108	2.216	0.0116	1.900	1.852	0.0022	1.743	1.629	0.0130			
216	2.781	2.613	0.0279	2.621	2.540	0.0066	2.239	2.152	0.0077	2.058	1.911	0.0216			
240	3.015	2.843	0.0295	2.852	2.870	0.0003	2.562	2.460	0.0102	2.370	2.205	0.0271			
240	2.910	2.843	0.0044	2.852	2.870	0.0003	2.543	2.460	0.0068	2.357	2.205	0.0231			
288	3.868	3.290	0.3338	3.743	3.545	0.0391	3.298	3.103	0.0381	3.071	2.824	0.0610			
300	3.926	3.400	0.2772	3.847	3.717	0.0169	3.444	3.269	0.0306	3.213	2.985	0.0521			
360	5.071	3.934	1.2926	4.960	4.592	0.1359	4.382	4.122	0.0675	4.111	3.822	0.0835			
$\sum$			2.3300	$\sum$			0.2187	$\sum$			0.1746	$\sum$			0.3056
varianza=			0.1226	varianza=			0.0115	varianza=			0.0092	varianza=			0.0146
std.dev =			0.3502	std.dev =			0.1073	std.dev =			0.0959	std.dev =			0.1206

Tabla C.2 Casos 5, 6, 7 y 8. Desviación estándar: Regresión Potencial

	1.5% pared			2% pared			3% pared			5% pared				
H (pies)	Periodo (T)	Tc	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²		
8	0.032	0.023	0.0001	0.024	0.018	0.0000	0.017	0.014	0.0000	0.013	0.012	0.0000		
10	0.049	0.030	0.0003	0.037	0.024	0.0002	0.025	0.019	0.0000	0.025	0.016	0.0001		
12	0.069	0.038	0.0010	0.053	0.031	0.0005	0.035	0.024	0.0001	0.027	0.020	0.0000		
24	0.061	0.091	0.0009	0.055	0.076	0.0004	0.048	0.062	0.0002	0.039	0.051	0.0001		
30	0.077	0.120	0.0019	0.070	0.101	0.0010	0.061	0.085	0.0006	0.055	0.069	0.0002		
36	0.095	0.151	0.0032	0.086	0.128	0.0018	0.076	0.109	0.0011	0.068	0.088	0.0004		
64	0.240	0.311	0.0051	0.218	0.271	0.0028	0.192	0.240	0.0023	0.157	0.192	0.0012		
80	0.324	0.412	0.0076	0.297	0.363	0.0043	0.265	0.326	0.0037	0.221	0.260	0.0015		
96	0.421	0.517	0.0093	0.418	0.460	0.0018	0.349	0.418	0.0048	0.294	0.332	0.0015		
96	0.457	0.517	0.0036	0.389	0.460	0.0052	0.371	0.418	0.0023	0.300	0.332	0.0011		
120	0.628	0.684	0.0031	0.579	0.616	0.0013	0.518	0.568	0.0025	0.448	0.449	0.0000		
144	0.826	0.859	0.0011	0.786	0.781	0.0000	0.693	0.729	0.0013	0.574	0.575	0.0000		
144	0.847	0.859	0.0002	0.767	0.781	0.0002	0.711	0.729	0.0003	0.576	0.575	0.0000		
180	1.219	1.137	0.0067	1.127	1.045	0.0068	1.011	0.990	0.0004	0.817	0.777	0.0016		
192	1.400	1.232	0.0282	1.285	1.136	0.0220	1.141	1.082	0.0034	0.898	0.848	0.0026		
216	1.598	1.428	0.0287	1.490	1.325	0.0274	1.351	1.272	0.0064	1.096	0.994	0.0105		
240	1.934	1.630	0.0925	1.793	1.520	0.0745	1.619	1.469	0.0225	1.257	1.146	0.0124		
240	1.985	1.630	0.1260	1.822	1.520	0.0916	1.611	1.469	0.0200	1.274	1.146	0.0165		
288	2.527	2.048	0.2292	2.411	1.928	0.2335	2.147	1.886	0.0679	1.705	1.466	0.0573		
300	2.733	2.155	0.3334	2.537	2.033	0.2537	2.280	1.995	0.0814	1.779	1.549	0.0530		
360	3.560	2.709	0.7249	3.336	2.578	0.5738	3.032	2.562	0.2210	2.376	1.981	0.1559		
Σ			1.6071	Σ			1.3028	Σ			0.4421	Σ		0.3159
varianza=			0.0846	varianza=			0.0686	varianza=			0.0233	varianza=		0.0166
std.dev =			0.2908	std.dev =			0.2619	std.dev =			0.1525	std.dev =		0.1289

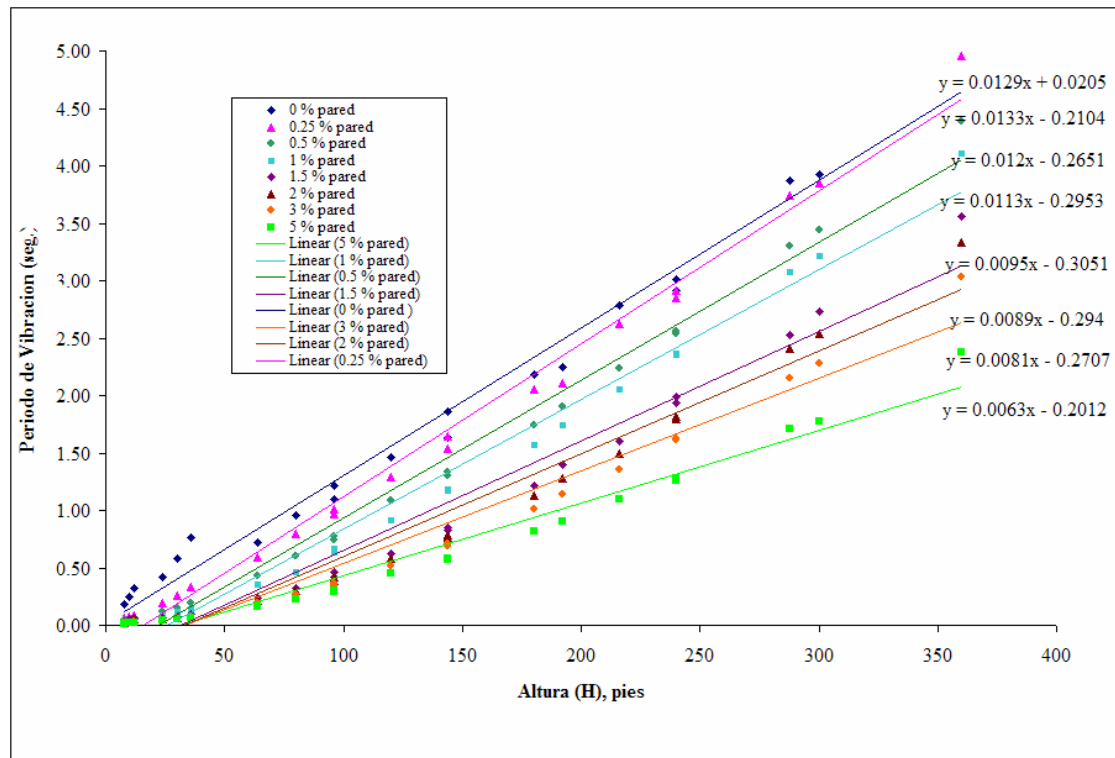


Figura C.2 Periodo vs. Altura: Regresión lineal

Tabla C.3 Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: Regresión Lineal

H (pies)	0% pared			0.25% pared			0.50% pared			1% pared					
	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.179	0.083	0.0092	0.060	-0.199	0.0668	0.040	-0.169	0.0438	0.029	-0.205	0.0546			
10	0.248	0.109	0.0195	0.073	-0.196	0.0724	0.048	-0.145	0.0373	0.034	-0.182	0.0470			
12	0.326	0.134	0.0367	0.088	-0.193	0.0791	0.057	-0.121	0.0315	0.040	-0.160	0.0400			
24	0.423	0.289	0.0179	0.196	-0.177	0.1398	0.119	0.023	0.0092	0.088	-0.024	0.0126			
30	0.582	0.367	0.0464	0.262	-0.170	0.1864	0.154	0.095	0.0035	0.115	0.044	0.0051			
36	0.761	0.444	0.1007	0.337	-0.162	0.2483	0.193	0.167	0.0007	0.145	0.112	0.0011			
64	0.717	0.805	0.0077	0.594	-0.124	0.5153	0.430	0.503	0.0053	0.353	0.428	0.0056			
80	0.954	1.012	0.0033	0.791	-0.103	0.8000	0.603	0.695	0.0084	0.460	0.609	0.0222			
96	1.214	1.218	0.0000	1.011	-0.082	1.1933	0.746	0.887	0.0198	0.667	0.790	0.0150			
96	1.098	1.218	0.0144	0.964	-0.082	1.0929	0.771	0.887	0.0134	0.632	0.790	0.0248			
120	1.461	1.528	0.0044	1.287	-0.050	1.7867	1.088	1.175	0.0076	0.912	1.061	0.0222			
144	1.631	1.837	0.0426	1.537	-0.018	2.4182	1.302	1.463	0.0260	1.173	1.332	0.0252			
144	1.862	1.837	0.0006	1.642	-0.018	2.7563	1.331	1.463	0.0175	1.184	1.332	0.0218			
180	2.181	2.302	0.0146	2.053	0.030	4.0944	1.747	1.895	0.0220	1.574	1.739	0.0273			
192	2.247	2.456	0.0436	2.108	0.046	4.2530	1.900	2.039	0.0194	1.743	1.874	0.0173			
216	2.781	2.766	0.0002	2.621	0.078	6.4699	2.239	2.327	0.0077	2.058	2.146	0.0076			
240	3.015	3.076	0.0036	2.852	0.110	7.5215	2.562	2.615	0.0028	2.370	2.417	0.0022			
240	2.910	3.076	0.0274	2.852	0.110	7.5215	2.543	2.615	0.0052	2.357	2.417	0.0036			
288	3.868	3.695	0.0301	3.743	0.174	12.7402	3.298	3.191	0.0115	3.071	2.959	0.0125			
300	3.926	3.850	0.0059	3.847	0.190	13.3768	3.444	3.335	0.0118	3.213	3.095	0.0140			
360	5.071	4.624	0.2004	4.960	0.269	22.0058	4.382	4.055	0.1070	4.111	3.773	0.1146			
Σ			0.6293	Σ			89.3384	Σ			4.4115	Σ		0.4961	
varianza=			0.0331	varianza=			4.7020	varianza=			0.0217	varianza=			0.0236
std.dev =			0.1820	std.dev =			2.1684	std.dev =			0.1472	std.dev =			0.1537

Tabla C.4 Casos 5, 6, 7 y 8. Desviación estándar: Regresión Lineal

	1.5% pared			2% pared			3% pared			5% pared					
H (pies)	Periodo (T)	Tc	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.032	-0.229	0.0681	0.024	-0.223	0.0611	0.017	-0.206	0.0497	0.013	-0.151	0.0269			
10	0.049	-0.210	0.0670	0.037	-0.205	0.0586	0.025	-0.190	0.0460	0.025	-0.138	0.0265			
12	0.069	-0.191	0.0678	0.053	-0.187	0.0575	0.035	-0.174	0.0435	0.027	-0.126	0.0231			
24	0.061	-0.077	0.0191	0.055	-0.080	0.0184	0.048	-0.076	0.0154	0.039	-0.050	0.0080			
30	0.077	-0.020	0.0094	0.070	-0.027	0.0094	0.061	-0.028	0.0079	0.055	-0.012	0.0045			
36	0.095	0.037	0.0033	0.086	0.026	0.0036	0.076	0.021	0.0031	0.068	0.026	0.0018			
64	0.240	0.303	0.0040	0.218	0.276	0.0033	0.192	0.248	0.0031	0.157	0.202	0.0020			
80	0.324	0.455	0.0171	0.297	0.418	0.0145	0.265	0.377	0.0127	0.221	0.303	0.0067			
96	0.421	0.607	0.0347	0.418	0.560	0.0202	0.349	0.507	0.0249	0.294	0.404	0.0120			
96	0.457	0.607	0.0224	0.389	0.560	0.0295	0.371	0.507	0.0186	0.300	0.404	0.0107			
120	0.628	0.835	0.0427	0.579	0.774	0.0380	0.518	0.701	0.0335	0.448	0.555	0.0115			
144	0.826	1.063	0.0562	0.786	0.988	0.0405	0.693	0.896	0.0412	0.574	0.706	0.0174			
144	0.847	1.063	0.0468	0.767	0.988	0.0488	0.711	0.896	0.0341	0.576	0.706	0.0169			
180	1.219	1.405	0.0347	1.127	1.308	0.0328	1.011	1.187	0.0311	0.817	0.933	0.0135			
192	1.400	1.519	0.0141	1.285	1.415	0.0170	1.141	1.285	0.0207	0.898	1.008	0.0121			
216	1.598	1.747	0.0223	1.490	1.628	0.0190	1.351	1.479	0.0163	1.096	1.160	0.0040			
240	1.934	1.975	0.0017	1.793	1.842	0.0024	1.619	1.673	0.0029	1.257	1.311	0.0029			
240	1.985	1.975	0.0001	1.822	1.842	0.0004	1.611	1.673	0.0039	1.274	1.311	0.0013			
288	2.527	2.431	0.0092	2.411	2.269	0.0200	2.147	2.062	0.0072	1.705	1.613	0.0084			
300	2.733	2.545	0.0353	2.537	2.376	0.0258	2.280	2.159	0.0147	1.779	1.689	0.0081			
360	3.560	3.115	0.1980	3.336	2.910	0.1812	3.032	2.645	0.1494	2.376	2.067	0.0955			
Σ			0.7741	Σ			0.7020	Σ			0.5800	Σ		0.3140	
varianza=			0.0407	varianza=			0.0369	varianza=			0.0305	varianza=			0.0165
std.dev =			0.2018	std.dev =			0.1922	std.dev =			0.1747	std.dev =			0.1286

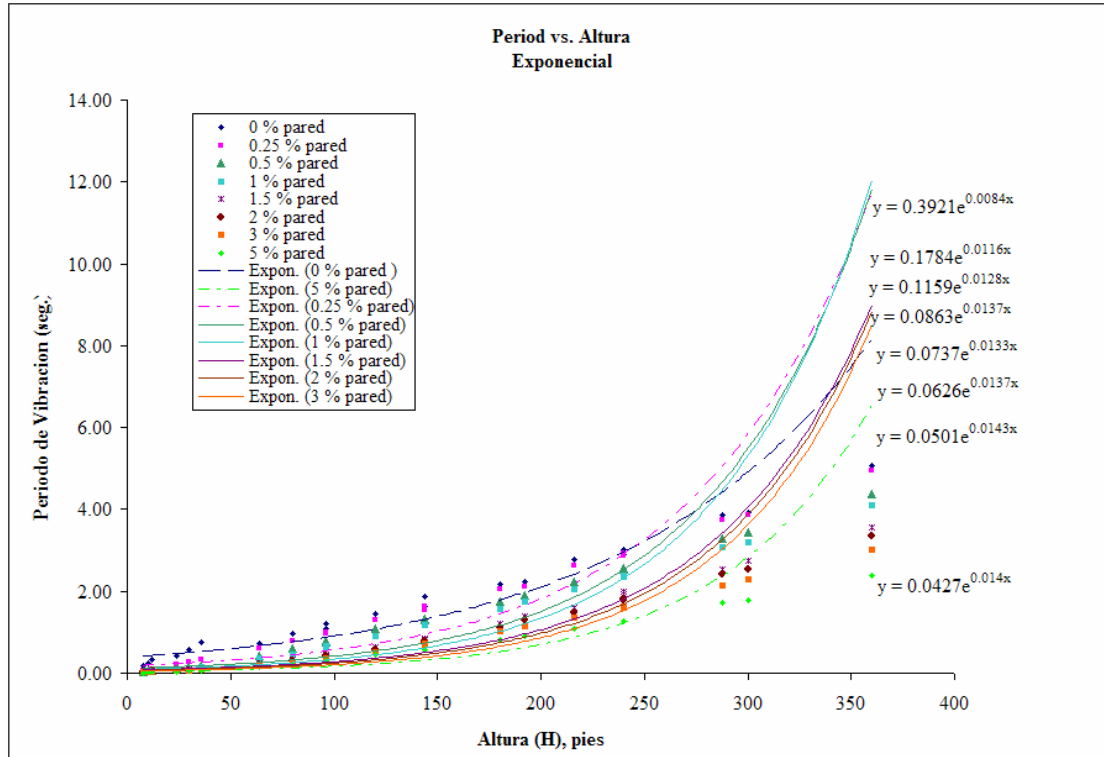


Figura C.3 Periodo de Vibración vs. Altura: Regresión Exponencial

Tabla C.5 Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: Regresión Exponencial

H (ft)	0% pared			0.25% pared			0.50% pared			1% pared					
	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.179	0.419	0.0579	0.060	0.192	0.0175	0.040	0.128	0.0078	0.029	0.096	0.0046			
10	0.248	0.426	0.0318	0.073	0.196	0.0152	0.048	0.132	0.0070	0.034	0.099	0.0042			
12	0.326	0.434	0.0116	0.088	0.201	0.0128	0.057	0.135	0.0062	0.040	0.102	0.0038			
24	0.423	0.480	0.0032	0.196	0.231	0.0012	0.119	0.158	0.0015	0.088	0.120	0.0010			
30	0.582	0.504	0.0060	0.262	0.248	0.0002	0.154	0.170	0.0003	0.115	0.130	0.0002			
36	0.761	0.531	0.0532	0.337	0.265	0.0051	0.193	0.184	0.0001	0.145	0.141	0.0000			
64	0.717	0.671	0.0021	0.594	0.367	0.0512	0.430	0.263	0.0279	0.353	0.207	0.0212			
80	0.954	0.768	0.0348	0.791	0.442	0.1220	0.603	0.323	0.0787	0.460	0.258	0.0406			
96	1.214	0.878	0.1130	1.011	0.532	0.2288	0.746	0.396	0.1225	0.667	0.322	0.1195			
96	1.098	0.878	0.0483	0.964	0.532	0.1861	0.771	0.396	0.1407	0.632	0.322	0.0964			
120	1.461	1.074	0.1495	1.287	0.703	0.3407	1.088	0.538	0.3015	0.912	0.447	0.2161			
144	1.631	1.314	0.1000	1.537	0.929	0.3700	1.302	0.732	0.3245	1.173	0.621	0.3052			
144	1.862	1.314	0.2996	1.642	0.929	0.5089	1.331	0.732	0.3581	1.184	0.621	0.3179			
180	2.181	1.778	0.1618	2.053	1.410	0.4135	1.747	1.161	0.3434	1.574	1.016	0.3106			
192	2.247	1.967	0.0786	2.108	1.621	0.2373	1.900	1.353	0.2984	1.743	1.198	0.2972			
216	2.781	2.406	0.1399	2.621	2.141	0.2304	2.239	1.840	0.1594	2.058	1.664	0.1555			
240	3.015	2.944	0.0051	2.852	2.829	0.0005	2.562	2.502	0.0036	2.370	2.312	0.0033			
240	2.910	2.944	0.0012	2.852	2.829	0.0005	2.543	2.502	0.0017	2.357	2.312	0.0020			
288	3.868	4.406	0.2892	3.743	4.937	1.4248	3.298	4.625	1.7587	3.071	4.462	1.9365			
300	3.926	4.873	0.8966	3.847	5.674	3.3377	3.444	5.392	3.7977	3.213	5.260	4.1893			
360	5.071	8.067	8.9740	4.960	11.380	41.2151	4.382	11.623	52.4294	4.111	11.966	61.6973			
$\sum$			11.4575	$\sum$			48.7197	$\sum$			60.1690	$\sum$			69.7225
varianza=			0.6030	varianza=			2.5642	varianza=			3.1668	varianza=			3.3201
std.dev =			0.7765	std.dev =			1.6013	std.dev =			1.7795	std.dev =			1.8221

Tabla C.6 Casos 5, 6 y 7. Desviación estándar: Regresión Exponencial

	1.5% pared			2% pared			3% pared			5% pared					
H (ft)	Periodo (T)	Tc	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.032	0.082	0.0025	0.024	0.070	0.0021	0.017	0.056	0.0015	0.013	0.048	0.0012			
10	0.049	0.084	0.0013	0.037	0.072	0.0012	0.025	0.058	0.0011	0.025	0.049	0.0006			
12	0.069	0.086	0.0003	0.053	0.074	0.0004	0.035	0.059	0.0006	0.027	0.051	0.0006			
24	0.061	0.101	0.0016	0.055	0.087	0.0010	0.048	0.071	0.0005	0.039	0.060	0.0004			
30	0.077	0.110	0.0011	0.070	0.094	0.0006	0.061	0.077	0.0002	0.055	0.065	0.0001			
36	0.095	0.119	0.0006	0.086	0.103	0.0003	0.076	0.084	0.0001	0.068	0.071	0.0000			
64	0.240	0.173	0.0045	0.218	0.150	0.0046	0.192	0.125	0.0045	0.157	0.105	0.0028			
80	0.324	0.214	0.0122	0.297	0.187	0.0121	0.265	0.157	0.0116	0.221	0.131	0.0081			
96	0.421	0.264	0.0245	0.418	0.233	0.0342	0.349	0.198	0.0229	0.294	0.164	0.0170			
96	0.457	0.264	0.0372	0.389	0.233	0.0241	0.371	0.198	0.0299	0.300	0.164	0.0186			
120	0.628	0.364	0.0701	0.579	0.324	0.0650	0.518	0.279	0.0574	0.448	0.229	0.0478			
144	0.826	0.500	0.1060	0.786	0.450	0.1131	0.693	0.393	0.0900	0.574	0.321	0.0643			
144	0.847	0.500	0.1200	0.767	0.450	0.1002	0.711	0.393	0.1013	0.576	0.321	0.0652			
180	1.219	0.808	0.1690	1.127	0.737	0.1519	1.011	0.657	0.1251	0.817	0.531	0.0818			
192	1.400	0.947	0.2052	1.285	0.869	0.1728	1.141	0.780	0.1298	0.898	0.628	0.0732			
216	1.598	1.303	0.0865	1.490	1.207	0.0803	1.351	1.100	0.0633	1.096	0.878	0.0473			
240	1.934	1.794	0.0197	1.793	1.677	0.0134	1.619	1.550	0.0048	1.257	1.229	0.0008			
240	1.985	1.794	0.0365	1.822	1.677	0.0212	1.611	1.550	0.0037	1.274	1.229	0.0020			
288	2.527	3.396	0.7559	2.411	3.237	0.6824	2.147	3.079	0.8690	1.705	2.407	0.4931			
300	2.733	3.984	1.5649	2.537	3.815	1.6352	2.280	3.656	1.8913	1.779	2.848	1.1419			
360	3.560	8.848	27.9694	3.336	8.680	28.5605	3.032	8.622	31.2445	2.376	6.596	17.8087			
Σ			31.1890	Σ			31.6767	Σ			34.6530	Σ			19.8754
varianza=			1.6415	varianza=			1.6672	varianza=			1.8238	varianza=			1.0461
std.dev =			1.2812	std.dev =			1.2912	std.dev =			1.3505	std.dev =			1.0228

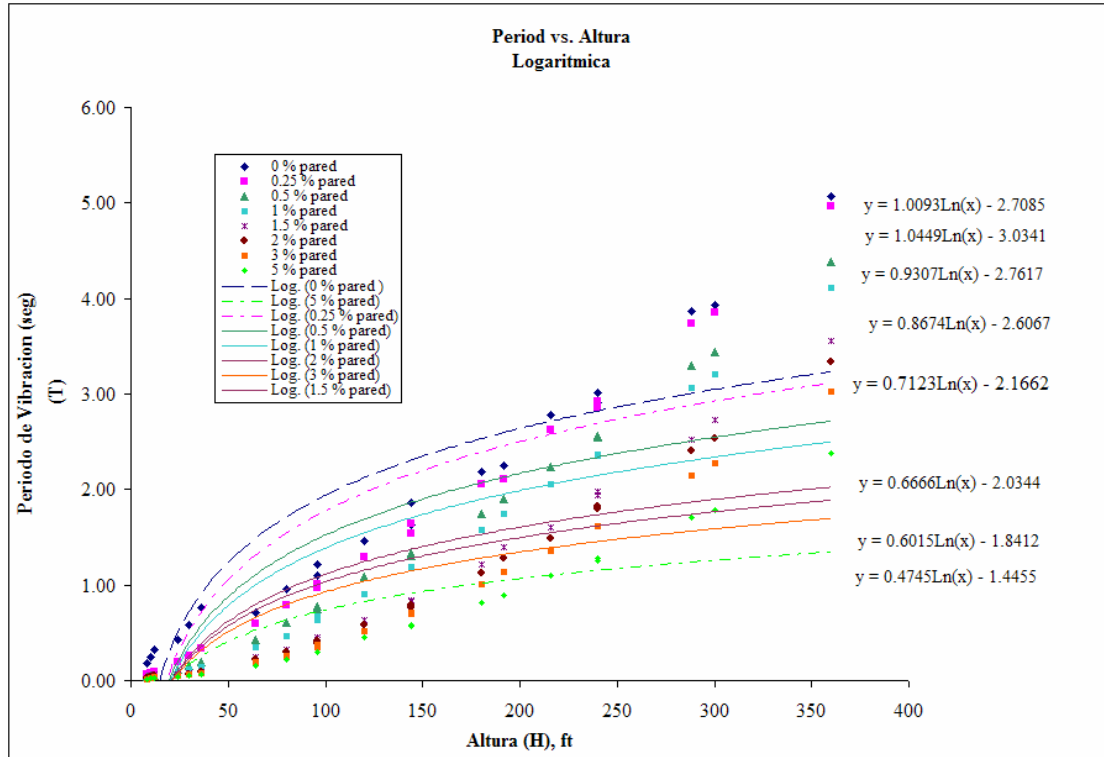


Figura C.4 Periodo de Vibración vs. Altura: Regresión Logarítmico

Tabla C.7 Casos 1, 2, 3 y 4. Desviación estándar: Regresión Logarítmica

H (pies)	0% pared			0.25% pared			0.50% pared			1% pared					
	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.179	-0.610	0.6216	0.060	-0.859	0.8433	0.040	-0.828	0.7534	0.029	-0.362	0.1531			
10	0.248	-0.385	0.4003	0.073	-0.626	0.4887	0.048	-0.620	0.4467	0.034	-0.169	0.0413			
12	0.326	-0.200	0.2769	0.088	-0.436	0.2744	0.057	-0.451	0.2573	0.040	-0.011	0.0026			
24	0.423	0.499	0.0058	0.196	0.287	0.0081	0.119	0.194	0.0057	0.088	0.590	0.2524			
30	0.582	0.724	0.0203	0.262	0.519	0.0660	0.154	0.401	0.0614	0.115	0.784	0.4478			
36	0.761	0.908	0.0216	0.337	0.709	0.1387	0.193	0.571	0.1429	0.145	0.942	0.6352			
64	0.717	1.489	0.5955	0.594	1.309	0.5117	0.430	1.106	0.4573	0.353	1.441	1.1841			
80	0.954	1.714	0.5776	0.791	1.542	0.5626	0.603	1.314	0.5045	0.460	1.635	1.3809			
96	1.214	1.898	0.4677	1.011	1.732	0.5197	0.746	1.483	0.5434	0.667	1.793	1.2672			
96	1.098	1.898	0.6406	0.964	1.732	0.5896	0.771	1.483	0.5069	0.632	1.793	1.3477			
120	1.461	2.124	0.4389	1.287	1.964	0.4588	1.088	1.691	0.3638	0.912	1.986	1.1554			
144	1.631	2.308	0.4582	1.537	2.154	0.3807	1.302	1.860	0.3119	1.173	2.145	0.9440			
144	1.862	2.308	0.1987	1.642	2.154	0.2620	1.331	1.860	0.2806	1.184	2.145	0.9220			
180	2.181	2.533	0.1240	2.053	2.387	0.1111	1.747	2.068	0.1031	1.574	2.338	0.5847			
192	2.247	2.598	0.1228	2.108	2.454	0.1196	1.900	2.128	0.0521	1.743	2.394	0.4241			
216	2.781	2.717	0.0041	2.621	2.577	0.0020	2.239	2.237	0.0000	2.058	2.496	0.1918			
240	3.015	2.823	0.0369	2.852	2.687	0.0274	2.562	2.335	0.0512	2.370	2.588	0.0475			
240	2.910	2.823	0.0075	2.852	2.687	0.0274	2.543	2.335	0.0430	2.357	2.588	0.0532			
288	3.868	3.007	0.7414	3.743	2.877	0.7503	3.298	2.505	0.6297	3.071	2.746	0.1056			
300	3.926	3.048	0.7709	3.847	2.919	0.8606	3.444	2.543	0.8113	3.213	2.781	0.1863			
360	5.071	3.232	3.3813	4.960	3.109	3.4264	4.382	2.712	2.7877	4.111	2.939	1.3733			
Σ			9.9127	Σ			10.4295	Σ			9.1136	Σ		12.7001	
varianza=			0.5217	varianza=			0.5489	varianza=			0.4797	varianza=			0.6048
std.dev =			0.7223	std.dev =			0.7409	std.dev =			0.6926	std.dev =			0.7777

Tabla C.8 Casos 5, 6, 7 y 8. Desviación estándar: Regresión Logarítmica

	1.5% pared			2% pared			3% pared			5% pared					
H (pies)	Periodo (T)	Tc	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²	Periodo (T)	Tec	(T-Tec) ²			
8	0.032	-0.685	0.5140	0.024	-0.648	0.4523	0.017	-0.590	0.3691	0.013	-0.459	0.2229			
10	0.049	-0.526	0.3305	0.037	-0.499	0.2879	0.025	-0.456	0.2314	0.025	-0.353	0.1426			
12	0.069	-0.396	0.2168	0.053	-0.378	0.1854	0.035	-0.347	0.1456	0.027	-0.266	0.0858			
24	0.061	0.098	0.0013	0.055	0.084	0.0008	0.048	0.070	0.0005	0.039	0.062	0.0005			
30	0.077	0.256	0.0322	0.070	0.233	0.0266	0.061	0.205	0.0206	0.055	0.168	0.0129			
36	0.095	0.386	0.0850	0.086	0.354	0.0719	0.076	0.314	0.0567	0.068	0.255	0.0348			
64	0.240	0.796	0.3099	0.218	0.738	0.2702	0.192	0.660	0.2192	0.157	0.528	0.1374			
80	0.324	0.955	0.3982	0.297	0.887	0.3472	0.265	0.795	0.2807	0.221	0.634	0.1705			
96	0.421	1.085	0.4413	0.418	1.008	0.3481	0.349	0.904	0.3081	0.294	0.720	0.1817			
96	0.457	1.085	0.3942	0.389	1.008	0.3839	0.371	0.904	0.2847	0.300	0.720	0.1766			
120	0.628	1.244	0.3790	0.579	1.157	0.3340	0.518	1.038	0.2707	0.448	0.826	0.1433			
144	0.826	1.374	0.3002	0.786	1.278	0.2421	0.693	1.148	0.2073	0.574	0.913	0.1146			
144	0.847	1.374	0.2779	0.767	1.278	0.2620	0.711	1.148	0.1910	0.576	0.913	0.1133			
180	1.219	1.533	0.0987	1.127	1.427	0.0902	1.011	1.282	0.0737	0.817	1.019	0.0407			
192	1.400	1.579	0.0318	1.285	1.470	0.0345	1.141	1.321	0.0326	0.898	1.049	0.0228			
216	1.598	1.663	0.0042	1.490	1.549	0.0034	1.351	1.392	0.0017	1.096	1.105	0.0001			
240	1.934	1.738	0.0386	1.793	1.619	0.0302	1.619	1.455	0.0268	1.257	1.155	0.0104			
240	1.985	1.738	0.0611	1.822	1.619	0.0414	1.611	1.455	0.0241	1.274	1.155	0.0142			
288	2.527	1.868	0.4346	2.411	1.741	0.4492	2.147	1.565	0.3386	1.705	1.242	0.2147			
300	2.733	1.897	0.6994	2.537	1.768	0.5910	2.280	1.590	0.4771	1.779	1.261	0.2683			
360	3.560	2.026	2.3514	3.336	1.889	2.0921	3.032	1.699	1.7758	2.376	1.347	1.0576			
Σ			7.3999	Σ			6.5445	Σ			5.3362	Σ		3.1658	
varianza=			0.3895	varianza=			0.3444	varianza=			0.2809	varianza=			0.1666
std.dev =			0.6241	std.dev =			0.5869	std.dev =			0.5300	std.dev =			0.4082

APENDICE D:

Desplazamiento Lateral Para Estructuras de Periodos Cortos

En la Figura D.1 se observa un gráfico de resistencia vs. desplazamiento lateral (δ). Donde R_y es la resistencia de cedencia, R_e es la resistencia elástica, δ_y es el desplazamiento de cedencia, δ_e es el desplazamiento elástico y $\delta_{\max}$ es el desplazamiento máximo. Mediante relación de triángulos se puede establecer la siguiente relación:

$$\frac{R_e}{R_y} = \frac{\delta_e}{\delta_y} = w \quad (1.)$$

donde w es el factor de reducción por ductilidad. Este factor w toma en consideración el comportamiento de la estructura durante terremotos severos. El valor de w fluctúa entre 8.5 y 2.2 y este valor depende del sistema estructural de la estructura.

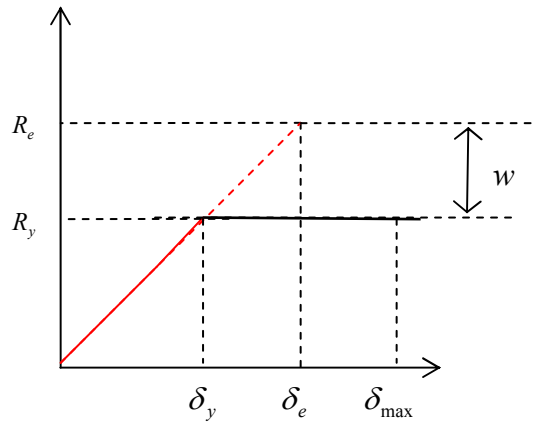


Figura D.1 Resistencia vs. Desplazamiento lateral

Dado que durante este estudio se obtuvo el desplazamiento elástico se relacionará el desplazamiento máximo o inelástico ($\delta_{\max}$) con el desplazamiento elástico de la siguiente manera. Se puede definir el área bajo la curva de la Figura 5.123 como:

$$A_1 = \frac{1}{2} R_e \delta_e \quad (2.)$$

$$\begin{aligned}
A_2 &= R_y \delta_{\max} - \frac{1}{2} R_y \delta_y \\
A_2 &= R_y (\delta_u - \delta_y / 2)
\end{aligned} \tag{3.}$$

De la ecuación 33 tenemos que:

$$R_e = R_y \frac{\delta_e}{\delta_y} \quad \therefore \delta_e = \frac{R_e}{R_y} \delta_y \tag{4.}$$

Sustituyendo la ecuación 36 en la 34:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left[R_y \frac{\delta_e}{\delta_y} \right] \delta_e = \frac{R_y}{2} \frac{\delta_e^2}{\delta_y} \tag{5.}$$

Igualando la ecuación 37 con la ecuación 37:

$$\begin{aligned}
A_1 &= A_2 \\
\frac{R_y}{2} \frac{\delta_e^2}{\delta_y} &= R_y (\delta_{\max} - \delta_y / 2) \\
\left[\frac{\delta_e^2}{2\delta_y} = \delta_{\max} - \delta_y / 2 \right] * \frac{2}{\delta_e} \\
\frac{\delta_e}{\delta_y} &= \frac{2}{\delta_e} (\delta_{\max} - \delta_y / 2) = \frac{2\delta_{\max}}{\delta_e} - \frac{\delta_y}{\delta_e}
\end{aligned} \tag{6.}$$

Sustituyendo la ecuación 33 en 38:

$$\begin{aligned}
w + \frac{\delta_y}{\delta_e} &= \frac{2\delta_{\max}}{\delta_e} \\
\frac{1}{2} \left[w + \frac{1}{w} \right] &= \frac{\delta_{\max}}{\delta_e} \\
\frac{\delta_{\max}}{\delta_e} &= \frac{1}{2} \left(\frac{w^2 + 1}{w} \right) \\
\delta_{\max} &= \frac{\delta_e}{2w} (w^2 + 1)
\end{aligned} \tag{7.}$$

Con esta relación se puede estimar el desplazamiento inelástico, solo es necesario asignar un valor de w . Se puede relacionar el valor de w con el la razón de ductilidad μ como:

$$w = \sqrt{2\mu - 1} \quad (8.)$$

Se pueden recomendar valores de μ entre 1 a 6.

APENDICE E:

Resultados Análisis Modal: Edificio el Castillo

Tabla E.2 Periodo de vibración, frecuencias y sus factores de participación.

Mode	Period Sec	Period Hz	UX %	UY %	UZ %	SumUX %	SumUY %	SumUZ %	RX %	RY %	RZ %	SumRX %	SumRY %	SumRZ %
1	1.54	0.65	55.97	0.00	0.00	55.97	0.00	0.00	0.00	76.29	6.32	0.00	76.29	6.32
2	1.41	0.71	0.01	59.45	0.02	55.98	59.45	0.02	95.88	0.01	0.01	95.89	76.31	6.33
3	1.15	0.87	7.26	0.02	0.00	63.24	59.47	0.02	0.04	9.82	53.23	95.93	86.13	59.56
4	0.42	2.36	12.58	0.00	0.00	75.82	59.47	0.02	0.00	0.38	0.96	95.93	86.51	60.52
5	0.36	2.75	0.00	17.88	0.16	75.82	77.36	0.17	1.80	0.00	0.01	97.72	86.51	60.53
6	0.31	3.20	0.63	0.00	0.00	76.45	77.36	0.17	0.00	0.05	15.09	97.72	86.56	75.61
7	0.22	4.59	0.72	0.10	12.31	77.17	77.45	12.48	0.01	3.78	0.03	97.74	90.34	75.65
8	0.21	4.70	4.75	0.04	3.93	81.92	77.49	16.41	0.00	0.45	0.29	97.74	90.60	75.94
9	0.21	4.78	0.10	0.20	8.44	82.02	77.69	24.85	0.01	2.29	0.48	97.75	93.09	76.42
10	0.19	5.20	0.00	0.00	38.48	82.02	77.69	63.33	0.02	0.01	0.00	97.77	93.10	76.42
11	0.19	5.26	0.05	0.00	0.50	82.07	77.69	63.83	0.00	1.64	0.00	97.77	94.74	76.42
12	0.18	5.45	0.01	0.25	0.31	82.08	77.94	64.14	0.04	0.07	0.05	97.81	94.81	76.47
13	0.18	5.63	0.00	3.48	2.81	82.08	81.42	66.95	0.49	0.02	0.01	98.30	94.83	76.48
14	0.18	5.70	0.05	0.33	0.54	82.13	81.75	67.49	0.05	0.31	0.17	98.35	95.14	76.64
15	0.17	5.77	0.07	0.18	0.01	82.20	81.93	67.50	0.02	0.64	0.50	98.37	95.78	77.14
16	0.17	5.84	0.06	0.12	0.16	82.26	82.05	67.67	0.02	0.30	0.32	98.39	96.08	77.46
17	0.16	6.10	0.01	0.18	1.08	82.27	82.23	68.75	0.01	0.10	0.05	98.40	96.18	77.51
18	0.16	6.11	0.00	2.79	1.34	82.27	85.01	70.09	0.09	0.01	0.47	98.50	96.19	77.99
19	0.16	6.36	0.00	0.85	0.60	82.28	85.86	70.69	0.34	0.00	0.16	98.84	96.19	78.15
20	0.15	6.50	0.00	0.10	4.11	82.28	85.96	74.80	0.22	0.00	0.00	99.06	96.19	78.15
21	0.15	6.67	0.14	0.24	0.38	82.42	86.20	75.18	0.00	0.10	3.05	99.06	96.29	81.19